

INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL COM APLICAÇÃO DA CINZA DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

KAREN LOPES LIMA

Rio Verde, GO

2020

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL COM APLICAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA
CANA-DE-AÇÚCAR**

KAREN LOPES LIMA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime
Coorientadora: Prof. Me. Lorena Araújo Silva

Rio Verde - GO
Fevereiro, 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

LL732e Lima, Karen Lopes
Estudo da viabilidade técnica do concreto autoadensável com aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar / Karen Lopes Lima; orientador Dr Bacus de Oliveira Nahime; co-orientadora Me. Lorena Araújo Silva. -- Rio Verde, 2020.
60 p.

Monografia (em Engenharia Civil) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Controle tecnológico. 2. Ensaios mecânicos. 3. Resíduo sucroenergético. I. Nahime, Dr Bacus de Oliveira, orient. II. Silva, Me. Lorena Araújo, co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), 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 IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Karen Lopes Lima

Matrícula: 2015.20.2200840033

Título do Trabalho: Estudo da viabilidade técnica do concreto autoadensável com a aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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


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


Rio Verde 14/02/2020
Local Data

Karen Lopes Lima

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do orientador


Assinatura da coordenadora

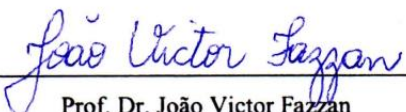
KAREN LOPES LIMA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO
AUTOADENSÁVEL COM A APLICAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA
CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 12 de FEVEREIRO de 2020,
pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Me. Fausto Arantes Lobo
Universidade de Rio Verde - UniRV



Prof. Dr. João Victor Fazzan
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho- UNESP



Prof. Me. Fernando Luiz de Souza Prado
Universidade de Rio Verde - UniRV



Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime
Orientador
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde



Prof. Me. Lorena Araújo Silva
Coorientadora
Universidade de Rio Verde - UniRV

Rio Verde – GO

Fevereiro, 2020

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia, primeiramente, à Deus pelo dom da vida e por ter me permitido chegado até aqui.

A você que de alguma forma me incentivou, que nunca me deixou desistir mesmo nos momentos de maiores dificuldades e por acreditar sempre em mim!

AGRADECIMENTOS

À Deus, com sua infinita sabedoria me concedeu saúde, força e disposição para cumprir mais esta caminhada. Obrigada pelas as bênçãos sobre mim e por nunca me permitir desistir.

Aos meu pais, Katia e Edmilton, por todas as orações, por muitas vezes terem se abdicado de seus sonhos para sonharem o meu, por acreditarem no meu potencial e por todas as lutas que tiveram para me ajudar a chegar a este momento. Eu amo vocês!

Aos meus irmãos, Iara e Pedro, por sempre terem me apoiado, incentivado e por toda a força que me manteve aqui todo esse tempo. Obrigada por compartilharem deste sonho comigo, pela amizade e por todo carinho. A você, minha irmã, por toda gratidão, por ser meu espelho de perseverança, que mesmo com Transtorno de Déficit de Atenção (TDH) foi guerreira vencendo cada etapa da sua formação e conquistando cada degrau de seus sonhos.

As minhas avós, Maria e Lizontina, por sempre estarem presente em minha vida, por cuidarem de mim e me dar forças nos momentos em que eu mais precisei. Obrigada pelas palavras de carinho e conforto.

Ao meu avô, Ernestino (in memoriam), dedico este projeto final. Você foi uma pessoa integra, cheio de amor e carinho que sempre me incentivou a realizar meus sonhos. Em cada etapa em que eu pensava em desistir me lembrava dos teus conselhos e me renovava para conquista-las. Sei que onde estiver estará sempre me protegendo e torcendo por mim assim como tantas outras vezes. A você, vô, gratidão eterna!

Ao meu companheiro, Júlio César, por ter me acolhido e me incentivado ao longo desta caminhada. Obrigada por todo carinho, amor, paciência e por toda compreensão da minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos e ao projeto de pesquisa. Obrigada por estar sempre comigo e por ser meu porto seguro.

À toda a minha família, tios, primos, cunhados e também em especial as minhas madrinhas e padrinhos que sempre se fizeram presentes e me incentivando no decorrer do curso.

Aos meus amigos Lethicia Mota, Luiz Henrique Araújo, Osmar Amaro, Igor Soares, Juliana Nobre, Arthur Henrique, Rhener Brito e Guilherme Gomes, onde pude ter a honra de trilhar meu caminho ao lado de vocês no Instituto Federal Goiano, o meu muito obrigada pelos momentos compartilhados juntos, por nunca me deixarem desistir e estarem sempre me incentivando a vencer cada etapa. Obrigada pelo carinho e por toda amizade.

Aos meus amigos Letícia Queiroz, Alessandra Rios, Lorena Araújo, Andressa Sena, Paulo Henrique Cabral, Isabella Eduarda, Willian Mandacari, Lucas Dionízio e Alex Rios que a vida se encarregou de me apresentar e tive a honra de tê-los ao meu lado, o meu muito obrigada por se colocaram sempre à disposição para compartilharem cada etapa deste projeto final, todas minha tristezas, alegrias e momentos inesquecíveis. Obrigada por estarem sempre próximos a mim fazendo a vida valer apenas.

À minha terapeuta, Katia Furquim, por se dispor sempre a me ouvir e conseguir me fazer enxergar outras perspectivas. Obrigada por todo o carisma, por todo cuidado e por sempre me impulsionar a buscar novos caminhos na minha vida e na minha formação profissional.

Aos meu orientador, Prof. Doutor Bacus de Oliveira Nahime, e minha Coorientadora Prof^a. Mestre Lorena Araújo e o meu muito obrigada por apesar da intensa rotina acadêmica não mediram esforços ao aceitarem meu convite. Obrigada pela paciência e dedicação na correção deste projeto final, por todo o encorajamento para que cada etapa fosse concluída e por todos os ensinamentos que contribuíram na minha formação acadêmica e profissional.

Aos membros da banca, Prof. Dr. João Victor Fazzan e Prof. Me. Fausto Arantes Lobo, também o meu muito obrigado ao membro suplente da banca Me. Fernando Luiz de Souza Prado, pela imensa honra na contribuição deste projeto final, bem como, para com a minha formação.

Ao Instituto Federal Goiano (campus Rio Verde), por toda infraestrutura, pelos auxílios e por todas as oportunidades que contribuíram na minha formação. Em especial a todos os professores, Mestres e Doutores, que de alguma forma me auxiliaram e impulsionaram ao longo destes 5 anos.

À empresa ADITIBRAS, a Usina São Francisco e ao Laboratório de FURNAS, por não medirem esforços na colaboração desta pesquisa. À Universidade de Rio Verde (UniRV) o meu muito obrigada por me conceder a oportunidade em utilizar o Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil para que cada etapa desta pesquisa fosse satisfatória.

A todos que direta ou indiretamente me incentivaram e fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

LIMA, Karen Lopes. **ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM APLICAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**. 2020. 60 p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

Embora o desenvolvimento do país esteja correlacionado ao avanço da indústria da construção civil, esta atividade provoca impactos ambientais, devido ao aumento na produção do cimento. Uma medida mitigatória é a substituição do cimento Portland por materiais alternativos. Portanto, este trabalho tem como objetivo estudar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar da Usina Bioenergética, como substituto parcial do cimento Portland na elaboração do concreto autoadensável. O procedimento experimental foi realizado a partir do traço referência 1: 2,15: 2,12: 0,38 obtido experimentalmente por meio da dosagem de Nan Su et. al. (2001), com adição de 0,7% de aditivo superplastificante e com a resistência requerida de 40MPa. Analisou-se a reutilização do resíduo por meio dos ensaios de Índice de atividade pozolânica e Fluorescência de Raio-X, posteriormente foi confeccionado o traço referência e o traço com resíduo nas porcentagens de 10%, 20% e 30%, e conseguinte, foi realizado o controle tecnológico no estado fresco e o comportamento mecânico. O resultado obtido por meio dos ensaios de Fluorescência de Raio-X e Índice de atividade pozolânica confirmam a reatividade da cinza, comprovando sua empregabilidade como material pozolânico no âmbito da construção civil. O estudo realizado no estado fresco apresentou trabalhabilidade e estabilidade visual adequado dentro dos padrões do controle tecnológico, viabilizando a reutilização do resíduo dentro das mais diversas aplicações. Mediante a avaliação do comportamento mecânico ambas porcentagens de substituição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar apresentaram eficácias, porém, o traço com substituição de 10% da cinza obteve um melhor desempenho ao longo do tempo.

Palavras-chave: Controle tecnológico; Ensaios mecânicos; Resíduo sucoenergético.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Revisão Bibliografia de análises de (FRX) da cinza de bagaço da cana-de-açúcar.	22
Tabela 2 – Parâmetros do Cimento Portland CP V ARI	27
Tabela 3 – Propriedades dos Agregados.....	28
Tabela 4 - Exigências Normativa.	30
Tabela 5 - Quantitativo de Materiais para a Dosagem do (IAP).	31
Tabela 6 - Traço Unitário (continua)	34
Tabela 6 – Continuação.	35
Tabela 7 – Composição Química, em %, da (CBC).....	44
Tabela 8 - Resistência à compressão das Argamassas.....	45
Tabela 9 - Comparação entre o cimento e a (CBC).....	47
Tabela 10 – Análise dos Ensaio no Estado Fresco.....	48
Tabela 11 - Resultados do Ensaio no Estado Fresco.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características Técnicas do ADI-SUPER H50	29
Quadro 2 - Classe de espalhamento do (CAA) em função de sua aplicação.	36
Quadro 3 - Classe de viscosidade plástica aparente do (CAA) em função de sua aplicação..	36
Quadro 4 - Classes de habilidade passante do (CAA) em função da sua aplicação.	38
Quadro 5 - Classe de Resistência à segregação do (CAA) em função de sua aplicação.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bagaço de cana-de-açúcar e cinzas: A) bagaço de cana; B) cinza com alto teor de carbono; C) cinza com menor teor de carbono; D) cinza após combustão completa.....	22
Figura 2 - Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar.	26
Figura 3 – Gráficos Granulométricos dos Agregados Miúdo e Graúdo.....	28
Figura 4 -Fluxograma das etapas de metodologia.....	29
Figura 5 - Realização do ensaio de (IAP). A) Materiais para a Argamassa A; B) Complemento dos materiais para a Argamassa B; C) homogeneização dos materiais na elaboração das argamassas; D e E) Ensaio de índice de consistência; F) Moldagem dos (CP).	32
Figura 6 - Ensaio de Compressão Direta.	33
Figura 7 - Ensaio do Tronco de Abrams. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio de espalhamento.	35
Figura 8 - Análise de Índice de Estabilidade Visual.	37
Figura 9 - Ensaio do Anel J. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio.	38
Figura 10 - Ensaio da Coluna de Segregação. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio.	39
Figura 11 - Ensaio no estado fresco. A) Ar incorporado; B) Massa específica do (CAA).	41
Figura 12 - Ensaio de Compressão Direta.	42
Figura 13 - Ensaio de Tração na Compressão Diametral. A) Aplicação da carga; B) Ruptura do (CP).....	43
Figura 14 – Gráfico do Ensaio de Granulometria à Laser.....	46
Figura 15 – Percentual de cinza reaproveitada.....	47
Figura 16 – Índice de Instabilidade visual. A) (CAA) Referência; B) (CAA) com 10% (CBC); C) (CAA) com 20% (CBC); D) (CAA) com 30% de (CBC).	50
Figura 17 – Gráfico: Compressão direta.	53
Figura 18 - Gráfico: Tração na compressão diametral.	54

LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS OU SIMBOLOS

%	Por cento
° C	Grau Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al ₂ O ₃	xido de Alumínio
CAA	Concreto Autoadensável
CaO	xido de Cálcio
CBC	Cinza do Bagaço da Cana-de -açúcar
Cl	Cloro
cm ³	Centímetros Cúbico
CO ₂	Gás Carbnico
Co ₃ O ₄	xido de Cobalto
CP	Corpo-de-prova
CPV ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
Cr ₂ O ₃	xido de Cromo
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
FAPESP	Fundação de Amparo  Pesquisa do Estado de São Paulo
F _{ck}	Resistência Característica aos 28 dias
Fe ₂ O ₃	xido de Ferro
FRX	Fluorescência de Raios X
GO	Goiás
g	Gramas
IAP	ndice de Atividade Pozolânica
kg	Quilograma
K ₂ O	xido de Potássio

MF	Módulo de Finura
MgO	Óxido de magnésio
mm	Milímetros
µm	Micrometro
MnO	Óxido de Manganês
MPa	Megapascal
Na ₂ O	Óxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NIST	Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fosforo
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de vinil
s	Segundos
SiO ₂	Dióxido de Silício
SNIC	Sindicato Nacional de Cimento
SO ₃	Anidro Sulfídrico
SrO	Óxido de Estrêncio
T ₅₀₀	Tempo de Espalhamento
TiO	Óxido de Titânio
UNICA	União da Industria da Cana-de-açúcar
ZrO ₂	Óxido de Zircônio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivo Geral	18
1.2 Objetivos Específicos	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Concreto Autoadensável (CAA).....	19
2.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 Materiais	25
3.1.1 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar.....	25
3.1.2 Cimento Portland.....	27
3.1.3 Agregados.....	27
3.1.4 Aditivo.....	29
3.2 Métodos	29
3.2.1 Ensaio de Caracterização da (CBC).....	30
3.2.2 Estudo de dosagem do (CAA).....	33
3.2.3 Caracterização no Estado Fresco do (CAA).....	35
3.2.4 Caracterização no Estado Endurecido do (CAA).....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Caracterização da (CBC).....	44
4.2 Caracterização no Estado Fresco.....	48
4.2.1 Espalhamento, tempo de escoamento e estabilidade visual	48
4.2.2 Habilidade Passante.....	51
4.2.3 Resistência à Segregação.....	51
4.2.3 Massa específica e Ar incorporado.....	52
4.3 Caracterização no Estado Endurecido	52
4.3.1 Resistência à compressão	52

4.3.1 Resistência à tração na compressão diametral.....	54
5 CONCLUSÃO.....	55
5.1 Considerações Finais	55
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do país está diretamente relacionado com a indústria da construção civil, visto que o crescimento deste setor influencia diretamente na economia. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil alavancou no ano 2019, obtendo alta de 2% e esperam para 2020 um avanço de 3%, variando entre reformas, infraestrutura, serviços especializados para obras e edificações.

Com o avanço do setor da construção civil aliada ao desenvolvimento de novas tecnologia, desperta para a utilização do concreto autoadensável (CAA). Um concreto que têm atraído cada vez mais o interesse do Brasil por proporcionar maior agilidade para as obras, dessa forma, o (CAA) tem sido utilizado por indústrias de pré-moldados.

Este progresso promove o aumento da produção do cimento, um dos constituintes de suma importância na confecção do concreto, destacado como o material da construção civil mais utilizado do mundo. De acordo com Sindicato Nacional de Cimento (SNIC, 2019), a produção nacional do cimento totalizou no ano de 2019 cerca de 54,5 milhões de toneladas.

Por outro lado, o desempenho dessa atividade gera impactos ambientais negativos ao meio ambiente, uma vez que as indústrias cimenteiras na confecção do cimento consomem grande quantidade de recursos naturais e na produção do clínquer, o qual é um dos componentes do cimento portland, que gera a liberação de gás poluente. Castaldelli (2013), menciona que nas etapas de produção do cimento ocorrem reações químicas nas quais cerca de 44% da matéria-prima se perde em forma de liberação de gás carbônico diretamente na atmosfera.

Mediante a problemática, surge a necessidade de desenvolver tecnologias mais sustentáveis. Uma medida mitigatória para diminuir o efeito na fabricação do cimento Portland é a substituição do cimento por materiais alternativos. À vista disso, o Brasil é um dos maiores produtores de açúcar e etanol, e possui um grande domínio sobre a tecnologia dessa produção agroindustrial, que por sua vez, gera resíduos que podem prejudicar o meio ambiente, caso seja descartado de forma inadequada. Entretanto, alguns dos resíduos gerados na produção de etanol e açúcar, como por exemplo a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) pode ser reutilizado como fonte alternativa de matéria-prima sustentável para o desenvolvimento de novos materiais na construção civil.

Conforme a União da Indústria da Cana-de-açúcar (UNICA, 2019), a moagem de cana-de-açúcar no Brasil vem ampliando de forma expressiva, com 620.832 milhões de toneladas na safra nacional de 2018/2019 para a produção de etanol, açúcar e energia. Assim, o estado de

Goiás se destaca como o segundo maior produtor com 70 milhões de toneladas.

A produção em larga escala da cana-de-açúcar no setor agroindustrial, gera um volume significativo de resíduo onde a maior parte é a (CBC). Esta cinza residual é proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar em caldeiras para a geração de energia térmica que pode ser usada pelas próprias usinas ou transformada em energia elétrica. Segundo a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2015), para cada tonelada de cana-de-açúcar processada para a extração desses subprodutos são gerados cerca de 25 kg de cinza residual.

Dessa forma, estudos revelam que esse resíduo pode apresentar em sua composição química alguns componentes, tais como: a sílica e a alumina que podem ter propriedade pozolânica agregando a esse resíduo um grande potencial para ser utilizado em novos produtos no setor da construção civil.

A elaboração desse trabalho se justifica pela abundância deste resíduo na região do sudoeste de Goiás. No caso em questão, o resíduo estudado, resulta do processo produtivo de uma Usina Bioenergética, considerada uma das maiores empresas do estado de Goiás no setor sucroenergético, produzindo etanol, açúcar e energia, que processou aproximadamente 1,35 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar na safra de 2019.

Mediante ao exposto, essa pesquisa visa desenvolver a dosagem adequada de CAA com substituição parcial do cimento Portland pela (CBC), onde será importante obter a partir deste estudo a resistência e eficiência da aplicabilidade deste novo material, bem como, aliado a temática da sustentabilidade atribuir um novo valor a este resíduo que posteriormente poderá se transformar em um sub-produto.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo estudar o resíduo da Usina Bioenergética, a (CBC), como substituto parcial em massa do cimento Portland na confecção do (CAA), nas porcentagens de 10%, 20% e 30%. Com o intuito de realizar a caracterização do resíduo e o controle tecnológico no estado fresco e endurecido do (CAA).

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a (CBC);
- Realizar o controle tecnológico do (CAA) com substituição parcial em massa do cimento Portland pela (CBC) no estado fresco;
- Analisar a influência da substituição da (CBC) no (CAA) no comportamento mecânico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico aborda temáticas que colaboraram para o desenvolvimento das etapas decorrentes do trabalho. Desse modo, o texto a seguir apresentará sobre o concreto autoadensável e as propriedades da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, os quais nortearam estudo.

2.1 Concreto Autoadensável (CAA)

Com o objetivo de elucidar problemas relacionados a concretagem de estruturas com muitas ferragens e formas complexas, em meados dos anos 80 o concreto (CAA) foi desenvolvido na Universidade de Tóquio, no Japão pelo professor Hajime Okamura. Desde então, a demanda desse produto é crescente na construção civil e pesquisas sobre sua aplicabilidade foram intensificadas. (COUTINHO, 2011).

De acordo com Okamura e Ouchi (2003) verificou-se que para produzir o (CAA) necessitava de materiais com um menor granulometria, devido o bloqueio do fluxo que ocorria pelo contato entre os agregados e as armações de aço ou espaços confinados. Tal fato foi observado e mediante isso necessitava de um concreto que tivesse um alto espalhamento, alta viscosidade da pasta, baixa granulometria, de forma a evitar o bloqueio do agregado no lançamento do concreto, através de obstáculos, ou seja um mecanismo que o concreto preenchesse todos os espaços sem a necessidade de vibração.

Dessa forma, o concreto (CAA) é caracterizado por apresentar fluidez, característica passante, resistência a segregação entre outras propriedades, onde esse material é capaz de preencher formas passando por armaduras. Possuindo a capacidade de permanecer com sua composição homogênea durante as etapas de transporte e lançamento (ABNT NBR 15823, 2017).

Conforme Tutikian e Molin (2008) e Calado et. al. (2015), a fluidez é a propriedade que permite que o (CAA) consiga fluir dentro da forma e preencher todos os espaços vazios. A habilidade passante possibilita a mistura de escoar passando pelas armaduras de aço sem que ocorra a segregação dos constituintes. A resistência à segregação é a propriedade que mantém o (CAA) coeso ao fluir dentro da forma, ou seja, sem a presença de segregação ou exsudação, passando ou não por armaduras.

Os materiais utilizados na confecção do (CAA) são os mesmos utilizados no concreto

convencional, bem como, cimento, agregados, adições, aditivos e água. Portanto, para que o (CAA) atenda todas as suas especificações, na confecção requer menor teor de agregado graúdo e maior teor de fino, como adições minerais e filers. Eventualmente também são utilizados aditivos modificadores de viscosidade. Contudo, este concreto necessita da capacidade de se movimentar ao longo de maiores distâncias horizontais, por isso necessitam de maiores teores de finos, cerca de aproximadamente 30% a mais do que os concretos convencionais. (COUTINHO, 2011)

A performance do (CAA) é voltada para as características no estado fresco, porém, no estado endurecido alguns parâmetros podem influenciar na resistência à compressão, como a proporção de adição mineral e a relação água/finos, uma vez que a resistência é provida pela boa aglomeração do agregado envolvida pela pasta no estado endurecido. Muitas vezes os valores da resistência são elevados devido a utilização do aditivo superplastificante, ao qual provoca a redução no consumo de água e das próprias adições minerais, afetando diretamente no processo de hidratação do cimento, e a quantidade de poros provocado pelo excesso de água. (NAN SU et al, 2001; MORAES, 2010)

O (CAA) proporciona muitas vantagens em relação ao concreto convencional, como por exemplo a redução de mão de obra, agilidade, redução de acidentes, diminuição da poluição sonora devido o mesmo dispensar a compactação ou vibração de qualquer natureza. No entanto, o ponto principal na produção do (CAA) são as proporções da mistura, requerendo um alto teor de cimento para obter um concreto altamente fluído, o qual se torna uma desvantagem devido ao alto custo comparado ao concreto convencional. (TUTIKIAN, 2004; SUA-IAM e MAKUL, 2017).

Segundo Calado et. al. (2015), a trabalhabilidade do concreto depende das necessidades de operações de concretagem, bem como, construção, métodos adotados de lançamento, complexidade das formas e detalhes de projeto que podem resultar na obstrução da passagem do concreto pelas altas taxas de armaduras. No entanto, o (CAA) surge para driblar esse efeito visto como negativo, pois quando há excesso de armadura o (CAA) destaca-se por se autoadensar pelo seu peso próprio possibilitando o melhor envolvimento com as armaduras.

Segundo Tutikian (2008), o (CAA) está atraindo cada vez mais interesse Brasil, e tem sido utilizado por indústrias de pré-moldados e em obras correntes e especiais, assim como moldado *in loco*. Estudos se intensificam nas propriedades mecânicas, na durabilidade e na possibilidade da utilização de materiais extraídos do local de aplicação, devido a dosagem ser um dos aspectos mais importantes desse concreto.

2.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019), o Brasil se destaca como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, onde no ano de 2019 foi cultivados cerca de 8,59 milhões de hectares. A região centro-oeste do Brasil, evidencia uma produtividade de 136,8 milhões de toneladas em produção de cana-de-açúcar, onde esta é consumida principalmente pelas agroindústrias sucroenergética.

A cana-de-açúcar consumida pelas agroindústrias sucroenergética, é capaz de produzir açúcar e biocombustível, depois dessa produção é obtido o bagaço da cana-de-açúcar, cujo o seu destino é a geração de energia térmica pelas caldeiras. O bagaço de cana-de-açúcar é considerado uma das grandes alternativas de cogeração de energia nas indústrias sucroalcooleiras, contribuindo para a sustentabilidade. Ao final deste processo, se obtém, todos os dias, grande quantidade de resíduo queimado, que popularmente são chamados de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (SILVEIRA, 2010).

Segundo Lima et. al. (2011), cada tonelada de bagaço gera um subproduto de 25 kg de cinza residual, o qual a destinação é um problema enfrentado pelos administradores das indústrias, uma vez que este resíduo não apresenta nutrientes suficientes para a utilização como adubo nas lavouras.

No processo da queima em caldeiras que dá origem a (CBC) raramente possui um controle operacional das indústrias, podendo originar uma (CBC) não reativa ou pozolânica dependendo da temperatura de queima. Ferreira (2015) menciona que as características físicas e químicas das cinzas são influenciadas diretamente na temperatura e no tempo de queima, uma vez que são fatores característicos da amorficidade e finura da cinza.

Conforme Vasconcelos (2013), o resíduo gerado é um material que pode ter diferentes tons de cinza, devido a temperatura de trabalho das caldeiras, tipo de caldeira e também pelo teor de umidade do bagaço que é utilizado. As caldeiras operam geralmente em temperatura de 300 °C a 1.000 °C, que usualmente não há um controle durante a essa combustão. Por isso, com o grau de temperatura menor as cinzas têm maior concentração de carbono e cor escura e com grau de temperatura maior, é menor a quantidade matéria orgânica e a cor da cinza é clara.

Cordeiro (2006), também cita que a coloração da cinza é devido a temperatura e o tempo de exposição ao calor do bagaço de cana. Assim a cinza de cor escura (preta) tem alto teor de carbono e os tons mais claros obteve uma queima completa, que é possível verificar a coloração da cinza conforme a Figura 1.



Figura 1 – Bagaço de cana-de-açúcar e cinzas: A) bagaço de cana; B) cinza com alto teor de carbono; C) cinza com menor teor de carbono; D) cinza após combustão completa.

Fonte: Adaptada de Cordeiro (2006).

Segundo Vasconcelos (2013), outros fatores que influenciam nas características físicas e químicas da cinza podem ser: espécie botânica da cana, tipo de solo, condições climáticas, processo de colheita e moagem, safra e região do país em que foi colhida. Na Tabela 1 foi feita uma revisão bibliográfica das análises de (FRX) do bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes pesquisadores e local.

Tabela 1 – Revisão Bibliografia de análises de (FRX) da cinza de bagaço da cana-de-açúcar.

Composição química do CBC (%)	Berenguer et al., (2020)	Sua-iam e Makul (2013)	Câmara et al., (2016)	Sampaio et al., (2014)	Joshaghani e Moeini (2017)	Lima (2020)
	Estado/País					
	Pernambuco, Brasil	Singburi, Tailândia	Paraná, Brasil	Rio Grande do Norte, Brasil	Tehran, Irã	Goiás, Brasil
SiO ₂	84,86	65,26	76,55	50,01	55,7	30,58
K ₂ O	1,38	1,99	1,32	14,83	6,10	1,51
Fe ₂ O ₃	3,83	3,65	2,59	1,96	3,51	26,62
CaO	2,96	4,01	1,20	5,92	15,34	1,43
Al ₂ O ₃	1,91	6,91	2,53	8,30	2,86	10,67
Na ₂ O	0,47	0,33	0,09	-	0,37	-
TiO ₂	0,76	-	0,53	0,58	-	10,30
SO ₃	0,39	0,21	0,40	5,52	-	-
MgO	2,54	1,10	1,63	5,55	4,08	2,08
ZnO	0,03	-	-	0,05	-	0,09
MnO	0,19	-	0,008	0,23	-	0,34
ZrO ₂	0,20	-	0,015	0,04	-	-
P ₂ O ₅	0,38	-	0,69	2,46	-	1,86
Cr ₂ O ₃	0,05	-	-	-	-	0,12
SrO	0,03	-	0,005	-	-	-
Cl	-	-	0,027	-	-	-
Co ₃ O ₄	-	-	0,115	-	-	-

Fonte: Autor (2020).

Pode-se observar na Tabela 1 que a composição química da cinza influenciou de acordo com a região, uma vez que o clima entre regiões se difere em cada país. O cultivo é propício de acordo com alguns climas durante o ano, sendo que, algumas regiões são cultivadas o ano todo e outras só em determinadas épocas do ano (SILVEIRA, 2010).

Pelas composições químicas apresentadas na Tabela 1, verifica-se que a (CBC) é composta por uma grande quantidade de (SiO_2), um composto químico importante encontrado no cimento que auxilia na formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), ocasionando uma contribuição nas propriedades mecânicas do concreto, argamassa e pasta. Para formar essa fase um dos requisitos é que (SiO_2) esteja no estado amorfo, porém, dependendo da temperatura de queima nas caldeiras esse componente da cinza pode estar no estado cristalino (VASCONCELOS, 2013).

Para que a (CBC) tenha um valor suplementar no cimento, é preciso que o resíduo tenha componentes sílicos ou sílico-aluminosos, pois é um dos fatores imprescindíveis para que ocorra a reação pozolânica na argamassa e no concreto. A reação pozolânica consiste em uma reação ácido-base, entre o hidróxido de cálcio e o óxido de silício. Outros fatores que influenciam a ocorrência da reação é o tamanho da partícula (área superficial específica) e o estado amorfo da (SiO_2) (fase não cristalina). A quantidade de sílica é maior quando o resíduo é calcinado, havendo a retirada da fração orgânica do material. (ROSELLÓ *et al.*, 2017).

A NBR 12653 (ABNT, 2015), menciona que atividade pozolânica é quando o material reage com o hidróxido de cálcio em presença de água e forma compostos com propriedades cimentícias. Dessa forma, a norma classifica esses materiais em três classes:

- Classe N: Pozolanas naturais e artificiais, que podem ser materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas;
- Classe C: Cinzas volantes, que são produzidas através da queima do carvão mineral em usinas termoelétricas;
- Classe E: Qualquer material que apresenta atividade pozolânica que não estão citados nas classes N e C, que obedeçam aos requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2015).

Segundo Berenguer *et al.* (2020), a (CBC) atende aos requisitos dessa (NBR), ainda ressalta que o material pode estar em conformidade quanto aos requisitos químicos da norma, mas se o composto não tiver uma porcentagem suficiente de material amorfo, não ocorrerá a atividade pozolânica e não atenderá as classes mencionadas anteriormente.

Berenguer et. al. (2020) e Fairbairn et. al. (2010), menciona que a (CBC) ao substituir o cimento Portland contribui na redução da emissão do gás carbônico (CO_2), que é liberado pelas indústrias na fabricação do cimento. Dessa maneira a (CBC) quando considerada reativa como material pozolânico pode substituir parcialmente o clínquer na produção do cimento, reduzindo as emissões de (CO_2) na atmosfera.

Segundo Lima et. al. (2011), a (CBC) que não apresenta reatividade pode ser utilizada como material de carga inerte, sendo utilizado como substituto do agregado miúdo em matrizes cimentícias. Uma vez que a (CBC) apresenta reatividade, estudos evidenciam a importância da utilização deste resíduo para a produção de concretos, argamassa e pastas. Pereira et. al. (2016), menciona que o resíduo pode apresentar propriedades pozolânicas, assim, possui a capacidade de reagir com hidróxido de cálcio na hidratação do cimento, formando compostos estáveis e de capacidade aglomerante, isso uma vez que o componente predominante da (CBC) é a sílica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise da viabilidade técnica de concretos autoadensáveis com a substituição parcial do cimento Portland pela (CBC) desenvolveu-se a partir da adoção de uma metodologia experimental composta por estudos de dosagens e ensaio de caracterização nos estados fresco e endurecido.

Os procedimentos adotados foram determinados em função dos objetivos mencionados nos capítulos anteriores, com o intuito de obter informações qualitativas e quantitativas das misturas de concreto produzidas e, a partir de fundamentações com a bibliografia, determinar a viabilidade do reaproveitamento do resíduos na produção de (CAA).

Neste capítulo, são apresentados os materiais e métodos empregados nesta pesquisa, conforme as normativas que estão descritas de forma sucinta. A fase experimental deste trabalho foi realizado no Laboratório de Materiais do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde (GO) e também em parceria com o Laboratório de Materiais da Universidade de Rio Verde (UniRV) e também com o Laboratório de FURNAS em Goiânia (GO).

3.1 Materiais

3.1.1 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A (CBC) utilizada neste trabalho origina-se da queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras com temperatura à 800 °C, resultando na geração de energia térmica da Usina Bioenergética, ocasionando em produção de aproximadamente 2000 toneladas de cinza residual por dia (Dados da empresa). A Figura 2 mostra a disposição da cinza nos canaviais, onde atualmente é empregada em misturas de adubos e aplicadas no solo da região.

Cordeiro (2006) e Soares (2010), referencia que ainda não há estudos que certificam a temperatura de queima ideal, porém, a (CBC) pode ser calcina a temperaturas de 400 °C a 900 °C, no entanto, estudos mostram que a partir de 600 °C possibilita a geração de uma cinza reativa (amorfa). Entretanto, o emprego da (CBC) a temperatura de 800 °C possibilita uma cinza com alta atividade pozolânica, devido obter o máximo valor de ativação nesta temperatura, onde poderá obter uma estrutura amorfa.

A cinza utilizada neste estudo apresenta temperatura de queima dentro das condições literárias, dessa forma, apresenta coloração após a secagem de cor cinza escura e obteve uma

humidade máxima de 80%.



Figura 2 - Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar.
Fonte: Autor (2020).

A cinza residual coletada para o desenvolvimento da pesquisa foi escolhida aleatoriamente, diante do amplo local de descarte. A amostra foi levada para o laboratório, conforme os procedimentos adotados por Castellani et. al. (2016), Vasconcelos (2013) e Nascimento (2016). A (CBC) não necessitou de requeima e nem de moagem, neste estudo suas propriedades e características foram avaliadas a partir do estado *in natura*. A utilização da cinza residual nesta condição é uma forma de minimizar custos com preparos, assim, foram somente secas e peneiradas para a retirada de materiais não requeimados.

Dessa forma, foram colocadas em bandejas metálicas e seca em estufa por 24h, logo após armazenados em sacos plásticos a fim de evitar qualquer tipo de impurezas. Em seguida, foram peneiradas de modo a obter a finura da (CBC) próxima a finura do cimento, portanto, para a amostra coletada deste local utilizou-se a peneira com abertura de malha de 150 μm , posteriormente foi realizado um tratamento granulométrico do resíduo por meio da Granulometria à Laser para verificar o tamanho dos grãos. Os materiais passantes nesta peneira foram utilizados na substituição parcial em massa do cimento Portland nas porcentagens de 10%, 20% e 30%.

3.1.2 Cimento Portland

A produção do (CAA) foi realizada empregando cimento Portland CP V ARI, um aglomerante hidráulico que possui alta resistência inicial. Segundo Bauer (2008), este cimento se destaca por ser um composto de diferentes teores de calcário e argila na produção do clínquer e por possuir maior superfície específica com relação ao tamanho dos grãos.

O CP V ARI foi caracterizado quanto ao índice de finura por meio da peneira 75 μm e massa específica pelo método do frasco volumétrico de Le Chatelier, de acordo com as prescrições da NBR 11579 (ABNT, 2012) e NBR 16605 (ABNT, 2017), respectivamente. A Tabela 2 apresenta os requisitos de desempenho do CP V ARI estabelecidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018) e os dados de caracterização do produto utilizado na pesquisa.

Tabela 2 – Parâmetros do Cimento Portland CP V ARI

	Resíduo na peneira 75 μm (%)	Massa específica (g/cm^3)
CP V ARI – Requisitos (ABNT NBR 16697)	≤ 6	≤ 3.13
CP V ARI – Dados Experimentais	0,86	3,06

Fonte: Autor (2020).

3.1.3 Agregados

A fim de obter dados para o desenvolvimento do traço na confecção dos concretos, os agregados foram submetidos primeiramente ao ensaio de granulometria, regido pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). Sendo utilizado neste estudo areia natural como agregado miúdo e brita de origem basáltica como agregado graúdo.

Segundo Tutikian (2008), quanto menor a granulometria dos agregados, mais adequado para a produção do (CAA) uma vez que é possível obter um concreto com maior coesão e proporcionar que o mesmo passe por todos os obstáculos durante o lançamento, reduzindo a tendência à segregação. Dessa forma, para este estudo adotou-se o módulo de finura (MF) do agregado miúdo entre 1,6 a 1,9.

A Figura 3 apresenta os gráficos granulométricos dos agregados mencionados, onde possibilitou a classificação e o controle do tamanho dos grãos. Segundo a normativa mencionada, para os agregados miúdo com (MF) ente 0,6 a 2,0 são classificados como

agregados finos, já para os agregados graúdos com diâmetro máximo entre 4,8 a 9,5 mm são classificados como brita 0 de acordo com a graduação. Dessa maneira, obteve-se um agregado miúdo fino, com (MF) de 1,83 e o agregado graúdo com dimensão máxima de 9,5 mm, assim sendo, catalogados no comércio como areia fina e “brita 0” respectivamente.

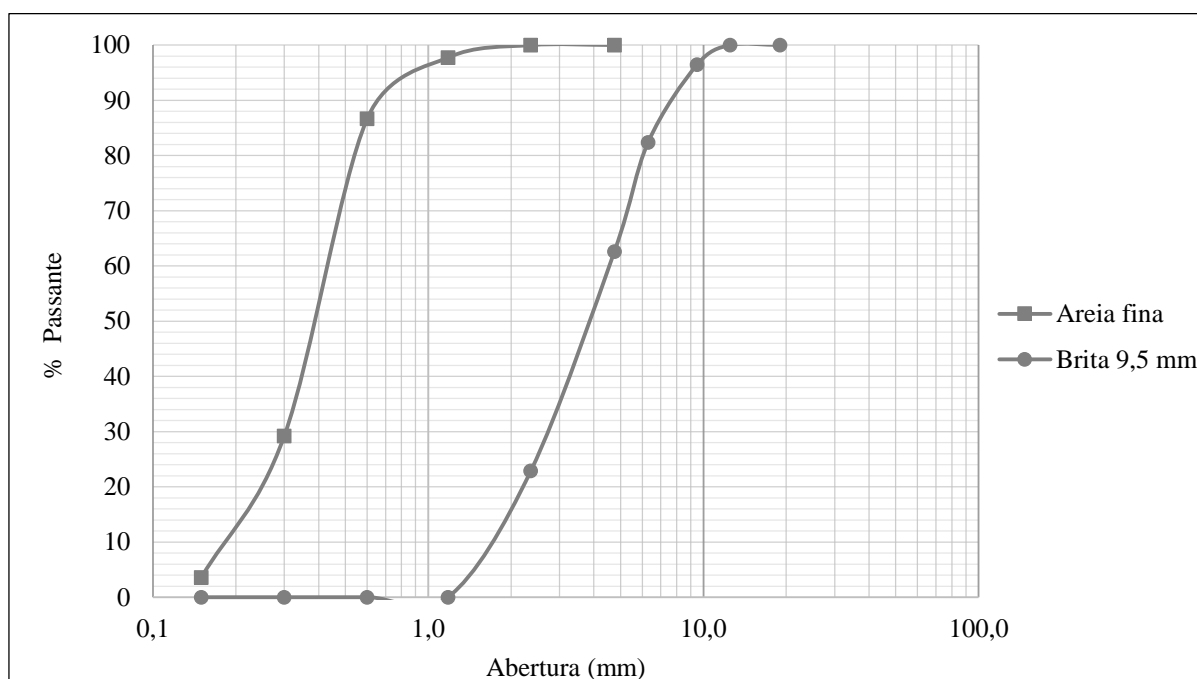


Figura 3 – Gráficos Granulométricos dos Agregados Miúdo e Graúdo.

Fonte: Autor (2020).

Posteriormente, os agregados foram submetidos aos ensaios de massa específica, o qual o agregado miúdo seguiu as diretrizes de ensaio por meio do frasco de Chapman, NBR 9776 (ABNT, 1988). A massa específica do agregado graúdo foi realizada de acordo com a NBR NM 53 (ABNT, 2009). Logo após, foi realizado o ensaio de massa unitária solta e compactada de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2009). A Tabela 3 refere-se as propriedades dos agregados de acordo com os ensaios mencionados.

Tabela 3 – Propriedades dos Agregados.

	Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária solta (kg/m ³)	Massa unitária compactada (kg/m ³)
Areia fina	2650	1590	1700
Brita 9,5 mm	2730	1600	1676

Fonte: Autor (2020).

3.1.4 Aditivo

Na elaboração do (CAA) é importante a aplicação do aditivo superplastificante, neste trabalho fez-se o uso do aditivo do tipo II (ADI-SUPER H50) da ADITIBRAS, o qual possui características como redutor de água e alta fluidez. Dessa forma, o aditivo foi aplicado em todos os traços de concreto sem alterar a relação água/cimento com intuito de manter a trabalhabilidade das misturas. No Quadro 1 está descrito suas propriedades.

Quadro 1 - Características Técnicas do ADI-SUPER H50

Função principal	Superplastificante
Composição Básica	Polímeros de éteres carboxílicos
Aparência	Castanho Claro
pH	5,5 ± 1,0
Massa Específica	1,110 ± 0,02 g/cm ³

Fonte: Adaptada da Ficha Técnica da ADITIBRAS (2020).

3.2 Métodos

A metodologia de estudo realizado neste trabalho seguiu as etapas do fluxograma apresentado na Figura 4.

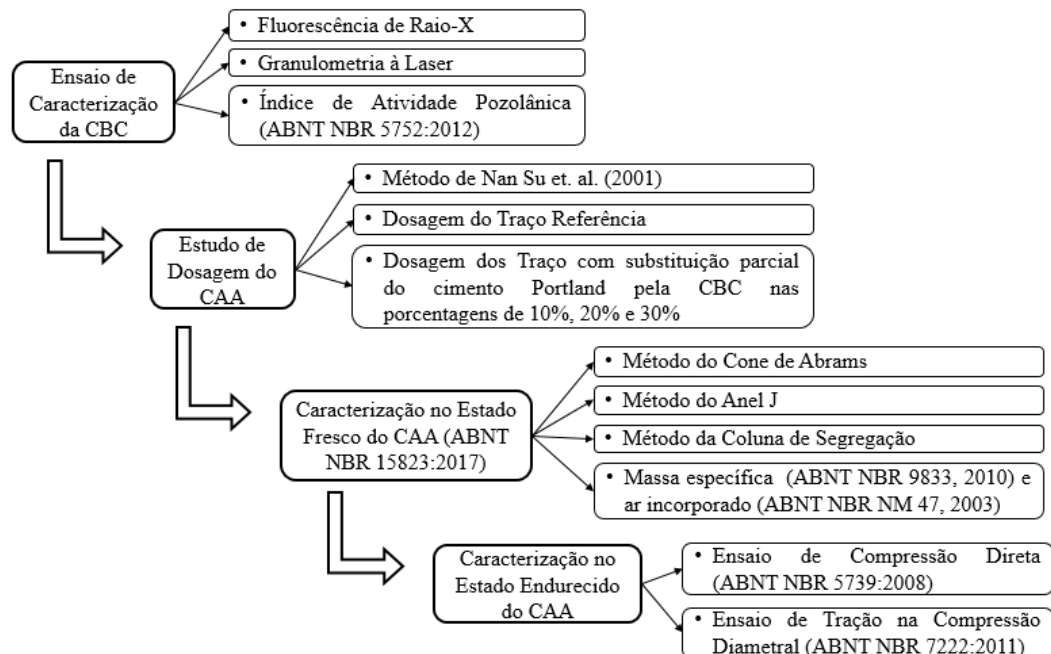


Figura 4 - Fluxograma das etapas de metodologia.

Fonte: Autor (2020).

3.2.1 Ensaios de Caracterização da (CBC)

A (CBC) utilizada neste estudo foi caracterizada quanto a sua composição química pelo ensaio de Fluorescência de Raio-X (FRX) e pela determinação de seu Índice de atividade pozolânica (IAP) com o cimento Portland em concordância com a NBR 5752 (ABNT, 2014). Estes ensaios foram realizados com o objetivo de determinar a pozolanicidade da (CBC), utilizando como referência os requisitos estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2015), conforme dados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Exigências Normativa.

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	Classe N	Classe C	Classe E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ % mín.	≥ 70	≥ 70	≥ 50
SO ₃ % máx.	≤ 4,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Perda ao fogo, % máx.	≤ 10,0	≤ 6,0	≤ 6,0
Álcalis disponíveis em Na ₂ O, % máx.	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
Índice de Atividade Pozolânica	≥ 75%		

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 12653:2015 (2020).

O ensaio de (FRX) foi realizado pelo laboratório de FURNAS, em Goiânia-GO. Para esta análise foi utilizado um Espectrômetro ICP- OES, um espectrômetro de emissão óptica com plasma, o qual foi calibrado conforme o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST) e verificado periodicamente com amostras de (*check*) antes do início da realização do ensaio, a fim de obter maior precisão no resultado da análise química do material.

Esta análise é um ensaio não destrutivo que pode ser aplicado em diversas tipos de amostras, permitindo realizar análises de identificação de elementos químicos, bem como, a concentração de cada componente. O ensaio fez-se importante neste estudo, visto que ao identificar os elementos constituintes no resíduo foi possível comprovar a característica pozolânica dentro dos parâmetros estabelecidos pela normativa, de forma a conseguir reaproveitá-lo no âmbito da construção civil como substituto parcial do cimento Portland.

O ensaio de (IAP) permite determinar a reatividade de um material com o cimento a partir da análise do comportamento mecânico de argamassas produzidas com o resíduo. Dessa forma, foram produzidas duas argamassas com dosagens distintas, conforme indicação

apresentada na Tabela 5. A argamassa A corresponde ao traço referência, produzida a partir da mistura de cimento, areia e água. A argamassa B diferencia-se da primeira pela substituição de 25% do cimento em massa pela (CBC).

Tabela 5 - Quantitativo de Materiais para a Dosagem do (IAP).

Materiais	Argamassa A	Argamassa B
Cimento CP II F 32	624 g	468 g
CBC	-----	156 g
Areia Normal	1872 g	1872 g
Água	300 g	300 g
Aditivo Superplastificante	-----	0,6 %

Fonte: Autor (2020).

Para a realização do ensaio de (IAP) o agregado miúdo foi preparado conforme as orientações da NBR 7214 (ABNT, 2015). Primeiramente, o material foi seco na estufa por 24h e após este período ocorreu a preparação do agregado, que consistiu em separar quatro faixas granulométricas. Desse modo, obteve-se 468 g de areia retida em nas faixas que correspondem a areia grossa (2,4 mm e 1,2 mm); média grossa (1,2 mm e 0,6 mm), média fina (0,6 mm e 0,3 mm) e fina (0,3 mm e 0,15 mm). O preparo da (CBC) foi efetuado como já mencionado, utilizando o material passante na peneira de 150 μ m.

A Figura 5 representa o método de preparo das argamassas, que seguiram o protocolo estabelecido pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Os materiais foram homogeneizadas no misturador mecânico e depois levados à mesa de fluidez para realização do índice de consistência. Sendo assim, Argamassa B requereu-se a adição do aditivo, com propósito de manter a tarabalhabilidade e a fluidez. Em seguida foram confeccionados seis corpos-de-prova (CP) com dimensão de 50 mm x 100 mm, os quais foram desenformados com 24h e submergidos em água ocasionando uma cura úmida por 28 dias.



Figura 5 - Realização do ensaio de (IAP). A) Materiais para a Argamassa A; B) Complemento dos materiais para a Argamassa B; C) homogeneização dos materiais na elaboração das argamassas; D e E) Ensaio de índice de consistência; F) Moldagem dos (CP).
Fonte: Autor (2020).

Logo após a hidratação, os corpos-de-prova (CP) foi feita a regularização da superfície por meio do capemento com enxofre para aplicação uniforme da carga, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Em seguida, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão direta, como mostra a Figura 6 e (IAP) foi obtido através da Equação 1.

$$I_{cemento} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,

$I_{cemento}$ – Índice de desempenho do cimento Portland aos 28 dias, expresso em %;

f_{cB} – Resistência média aos 28 dias dos corpos-de-prova moldados com substituição de 25 % do cimento CP II-F-32 pela (CBC), em MPa;

f_{cA} - Resistência média aos 28 dias dos corpos-de-prova referência, em (MPa).



Figura 6 - Ensaio de Compressão Direta.
Fonte: Autor (2020).

A (CBC) também foi analisada mediante ao tamanho dos grãos, conforme o ensaio de Granulometria à Laser realizado também pelo Laboratório de Furnas. Foi verificada a finura da (CBC) por meio do ensaio da peneira 75 μm pela NBR 11579 (ABNT, 2012) e pôs fim a massa específica pelo método de Le Chatelier, com auxílio da NBR 16605 (ABNT, 2017).

Esses estudos foram importantes, uma vez que foi possível analisar a proporção do reaproveitamento desse resíduo, também por meio da análise granulométrica foi possível complementar a confirmação da pozolanicidade, mediante a porcentagem retida na peneira 45 μm seguindo os critérios da NBR 12653 (ABNT, 2015).

3.2.2 Estudo de dosagem do (CAA)

O estudo de dosagem requerido para o desenvolvimento deste trabalho, foi um método prático e matemático aperfeiçoado por Nan Su et. al. (2001), onde o método foi elaborado no Japão para obtenção de procedimentos de mistura simples. Nesta pesquisa foi determinada uma resistência característica (F_{ck}) aos 28 dias de 40 MPa.

O método utilizado obteve algumas mudanças recorrentes para adaptar aos materiais extraídos na região Centro-Oeste do Brasil, mas especificamente na região sudoeste do estado de Goiás, com o objetivo de possibilitar maior eficiência sob o ponto de vista de aproveitamento

das propriedades dos materiais, possibilitando a dosagem e o posterior controle tecnológico.

Com a finalidade de atingir o objetivo da dosagem do (CAA), o mesmo foi confeccionado utilizando materiais convencionais, ou seja, utilizando somente cimento Portland CP V ARI, agregados, água e aditivo. Não houve a adição de materiais finos como por exemplo a sílica, metacalim entre outros, o que diferenciou esse trabalho, das demais literaturas encontrada, tais como, Tutikian (2008), Filho et. al (2018) e Moraes (2010).

A fim de analisar a viabilidade da substituição do cimento Portland pela (CBC), realizou-se a dosagem de quatro misturas de (CAA), sendo o referência e as outras dosagens com substituição parcial em massa do cimento Portland pela (CBC) nas porcentagens de 10%, 20% e 30%.

Os traços unitários utilizados na dosagem desta pesquisa estão representados na Tabela 6, com o consumo de cimento de aproximadamente 401,79 kg/m³ para uma resistência característica de 40 MPa. Os materiais foram dispostos na betoneira com a seguinte ordem: Brita e 1/3 da água, areia e 1/3 da água, cimento e o restante da água, já com aditivo misturado na água de amassamento. Para a confecção do (CAA) com resíduo seguiu-se a mesma ordem, porém a cinza foi misturada ao cimento antes da confecção do concreto.

Em ato contínuo, os concretos foram submetidos a ensaios nos estados fresco e endurecido, onde foi possível validar a empregabilidade do concreto com resíduo nos mais diversos locais em obras no setor da construção civil.

Nesse estudo optou-se em aumentar a porcentagem do aditivo superplastificante ao invés de modificar a relação água/cimento, visto que ao aumentar da porcentagem (CBC) proporcionou perda na trabalhabilidade do concreto. Como mencionado anteriormente o aditivo superplastificante tipo II possibilita a redução de água e o aumento da fluidez.

Dessa forma, preservando as características do aditivo e as requeridas no estudo, não ocorreu o aumento da relação água/cimento, uma vez que poderia comprometer as propriedades das dosagens, bem como, acarretando exsudação, segregação e ainda comprometendo a resistência.

Tabela 6 - Traço Unitário (continua)

Materiais	Referência	CBC 10%	CBC 20%	CBC 30%
Cimento CPV	1	0,90	0,80	0,70
CBC	---	0,10	0,20	0,30
Areia fina	2,15	2,15	2,15	2,15

Tabela 6 – Continuação.

Brita 9,5 mm	2,12	2,12	2,12	2,12
Água	0,38	0,38	0,38	0,38
Aditivo Superplastificante (%)	0,7	1,0	1,8	2,2

Fonte: Autor (2020).

3.2.3 Caracterização no Estado Fresco do (CAA)

O controle tecnológico no estado fresco das misturas de (CAA) foi realizado a partir dos ensaios de espalhamento, tempo de escoamento e o índice de estabilidade visual (método do cone de Abrams), habilidade passante (método do anel J) e a resistência à segregação, conforme prescrito na NBR 15823 (ABNT, 2017).

O ensaio de espalhamento, tempo de escoamento e índice de estabilidade visual é regulamentado pela NBR 15823 – Parte 2 (ABNT, 2017). A execução consistiu em demarcar um círculo com diâmetro de 500 mm em uma placa-base com dimensão de 900 mm de cada lado e em seguida, ao centro do círculo posicionou-se o cone de Abrams, o qual foi preenchido com concreto e retirado. Ao retirar o cone de Abrams imediatamente um cronometro foi acionado e medido o tempo em que o concreto levou para escoar até a marca de 500 mm. A Figura 7 ilustra o ensaio.



Figura 7 - Ensaio do Tronco de Abrams. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio de espalhamento.

Fonte: Autor (2020).

Neste ensaio foi possível medir o (T_{500}), o qual está relacionado com o tempo em que o concreto levou para escoar até tocar na marca realizada de 500 mm. Em ato contínuo, verificou-se a média aritmética entre dois diâmetros do espalhamento para a classificação do concreto por meio da normatização, assim como mostra no Quadro 2 e 3.

Quadro 2 - Classe de espalhamento do (CAA) em função de sua aplicação.

Classe de espalhamento	Espalhamento mm	Aplicação	Exemplo
SF 1	550 a 650	Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja a concretagem é realizada a partir do ponto mais alto, com deslocamento livre. Estruturas que requerem uma curta distância de espalhamento horizontal com concreto autoadensável.	Lajes, estacas e certas fundações profundas.
SF 2	660 a 750	Adequadas para a maioria das aplicações recorrentes.	Paredes, vigas, pilares e outras
SF 3	760 a 850	Estrutura com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com o uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm).	Pilares-paredes, paredes-diafragma e pilares.

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15823 – Parte 1:2017 (2020).

Quadro 3 - Classe de viscosidade plástica aparente do (CAA) em função de sua aplicação.

Classe de viscosidade plástica aparente	T_{500} s	Aplicação	Exemplo
VS 1	≤ 2	Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas requer controle a exsudação e da segregação. Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	Paredes-diafragma, pilares-paredes, indústria de pré-moldados e concreto aparente.
VS 2	> 2	Adequado para maioria das aplicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta maior pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação. Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas.	Vigas, lajes e outras.

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15823 – Parte 1:2017 (2020).

Por conseguinte, no método troco de Abrams foi possível analisar o concreto no estado

fresco a partir do índice de estabilidade visual. Ao qual permite classificar o concreto em quatro classes que variam entre altamente estável (IEV 0), estável (IEV 1), instável (IEV 2) e altamente instável (IEV 3). Na Figura 8 representa as análises realizadas visualmente e que possibilitou retratar a aparência das dosagens de (CAA). Possibilitando descreve-las sem evidência de segregação ou exsudação, ou ainda sem evidência de segregação e leve exsudação, também se possuía presença de uma pequena auréola de argamassa (≤ 10 mm) ou empilhamento de agregados no centro do concreto e se estava ocorrendo a segregação claramente evidenciada pela concentração de agregados no centro do concreto ou pela dispersão de argamassa nas extremidades (auréola de argamassa > 10 mm).

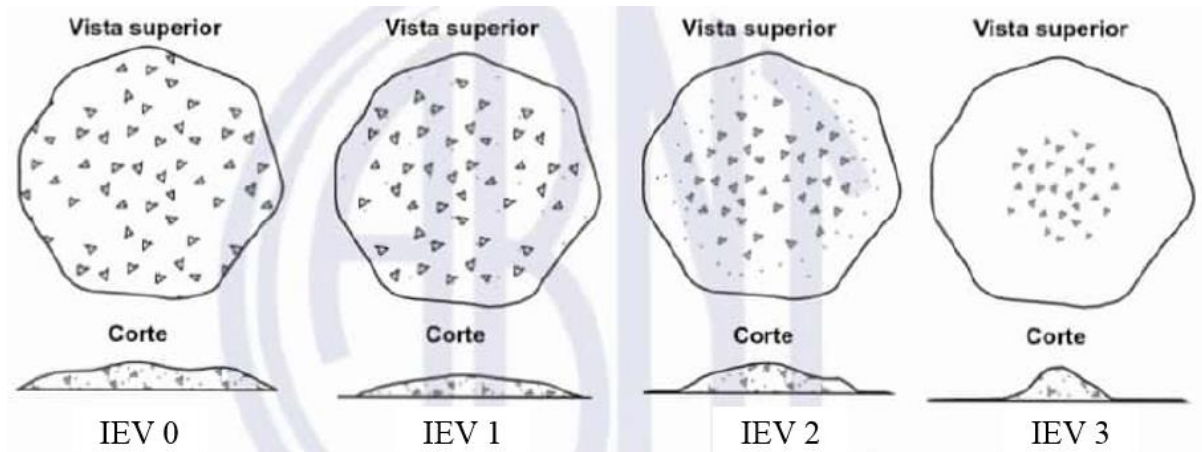


Figura 8 - Análise de Índice de Estabilidade Visual.
Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15823 – Parte 1:2017 (2019).

O ensaio da habilidade passante, foi executada de acordo com NBR 15823 – Parte 3 (ABNT, 2017). Para a realização do mesmo foi utilizado um aparato cilíndrico com diâmetro de 300 mm e altura de 120 mm, constituído de barras de aço dispostas verticalmente com diâmetro de 16 mm espaçadas a cada 59 mm. Conforme a Figura 9, neste ensaio posicionou-se o aparato sobre a placa base, em seguida, ao centro do Anel J foi posto o tronco de Abrams invertido, o qual foi preenchido de concreto e retirado.

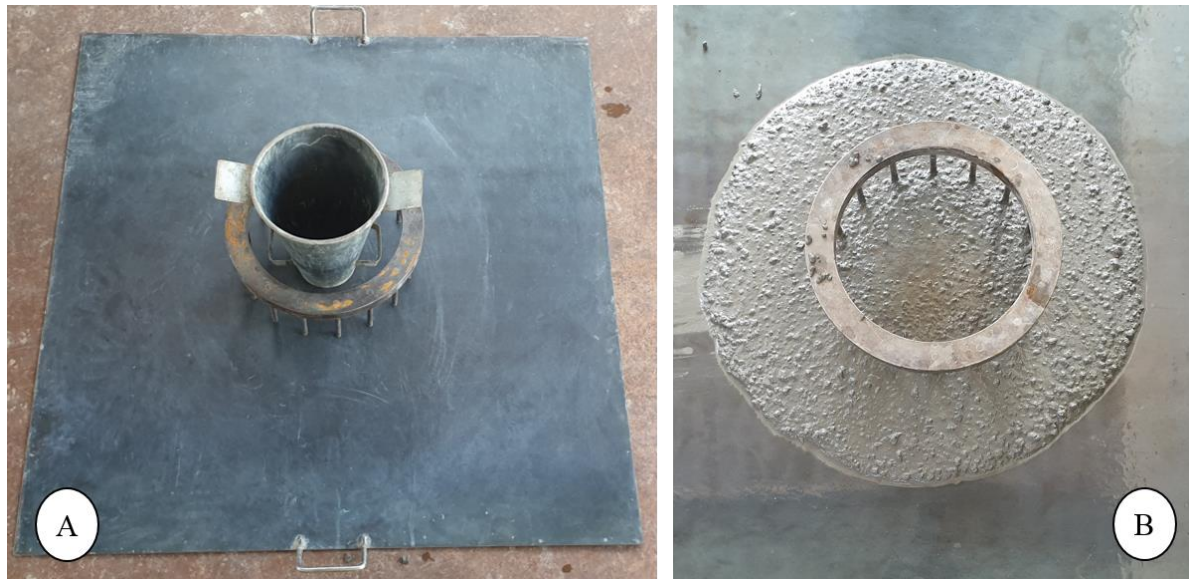


Figura 9 - Ensaio do Anel J. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio.
Fonte: Autor (2020).

Posteriormente, foi realizado duas medidas de diâmetro do espalhamento, para obter mediante a Equação 2 o resultado para análise da habilidade passante do concreto através das armaduras, em conformidade com a norma. (Quadro 4)

$$PJ = SF - J_F \quad \text{Eq. 2}$$

Onde,

PJ – Diferença entre o diâmetro médio do espalhamento obtido com e sem a utilização do Anel J, em mm;

SF – Média aritmética dos valores do diâmetro de espalhamento obtidos do ensaio do Tronco de Abrams, conforme a ABNT 15823 – Parte 2, em mm;

J_F – Média aritmética dos valores do diâmetro de espalhamento obtidos do ensaio do Anel J, em mm.

Quadro 4 - Classes de habilidade passante do (CAA) em função da sua aplicação.

Classe de habilidade passante	Anel J mm	Aplicação	Exemplo
PJ 2	25 a 50 mm com 16 barras de aço	Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.	Lajes, painéis, elementos de fundações
PJ 1	0 a 25 mm com 16 barras de aço	Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	Vigas, pilares, tirantes, indústria de pré-fabricados.

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15823 – Parte 1:2017 (2020).

A segregação do concreto foi verificada por meio do ensaio da coluna de segregação, correspondente a NBR 15823 – Parte 6 (ABNT, 2017). Neste ensaio foi usado uma coluna com material de policloreto de vinil (PVC), seccionada em três partes, cuja o topo e a base possuem altura de 165 mm, e a altura total do equipamento é de 660 mm. Para iniciar o ensaio, uniu-se as partes da coluna com o auxílio de uma fita adesiva e apoiou-se a mesma sobre a placa-base preenchendo-a com concreto. (Figura 10).



Figura 10 - Ensaio da Coluna de Segregação. A) Aparatos para realização do ensaio; B) Ensaio.
Fonte: Autor (2020).

Em continuidade a realização desse ensaio, a prescrição normativa indica que o (CAA) deve permanecer em repouso por 20 min, onde é possível verificar a porcentagem da segregação estática. Após este tempo, a parte do topo e da base da coluna foram retiradas com o auxílio de uma chapa metálica e em seguida, lavadas em uma peneira de 4,75 mm para a remoção de toda a argamassa. Por fim, os agregados foram pesados e conforme a Equação 3, pode-se obter os resultados de análise de acordo como Quadro 5.

$$SR = \frac{2 \times (m_B - m_T)}{(m_B + m_T)} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde,

SR – Resistência à segregação do concreto, em %;

m_B – Massa do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada da base da coluna, em g;

m_T – Massa do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada do topo da coluna, em g.

Quadro 5 - Classe de Resistência à segregação do (CAA) em função de sua aplicação.

Classe de resistência à segregação ^a	Coluna de segregação %	Distância a ser percorrida m	Espaçamento entre armaduras mm	Exemplo
SR 1	≤ 20	< 5	> 80	Lajes de pequena espessura, estrutura convencional de pouca complexidade.
SR 2	≤ 15	> 5	> 80	Elementos de fundações profundas, pilares, paredes e elementos estruturais complexos, elementos pré-fabricados.
		< 5	< 80	
^a Quando a distância a ser percorrida pelo concreto for maior que 5 m e o espaçamento entre barras inferior a 80 mm, deve ser especificado um valor de SR menor que 10%. NOTA: SR 2 ou um valor-limite mais rigoroso, pode ser especificado, se a resistência ou a qualidade da superfície foi particularmente crítica.				

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 15823 – Parte 1:2017 (2020).

A Figura 11 mostra a realização também dos ensaio de massa específica do concreto de acordo com a NBR 9833 (ABNT, 2010) e o teor de ar incorporado pelo método pressométrico, segundo a norma técnica NBR NM 47 (ABNT, 2003). Esses procedimentos são utilizados para classificar o concreto em leve (menor que 2000 kg/m³), normal (2000 kg/m³ a 2800 kg/m³) ou pesado, podendo ser misturado em canteiro de obras ou dosado em central e dessa forma, determinar a aplicabilidade na construção civil.



Figura 11 - Ensaio no estado fresco. A) Ar incorporado; B) Massa específica do (CAA).
Fonte: Autor (2020).

3.2.4 Caracterização no Estado Endurecido do (CAA)

No estado endurecido, o controle tecnológico também foi realizado com as quatro dosagens, onde foram analisados o ensaio de compressão direta e o ensaio de tração na compressão diametral. Para a efetuação destes ensaios, houve-se a necessidade de uma adaptação na norma de moldagem dos corpos-de-prova a NBR 5738 (ABNT, 2015), devido o concreto em estudo ser autoadensável e dispensar qualquer vibração, dessa forma os moldes foram somente preenchidos com concreto.

Foram confeccionados 36 (CP) para cada traço com dimensões de 100 mm x 200 mm, os quais foram submetidos a cura úmida, onde ficaram totalmente submersos em água. Para obtenção da resistência requerida na pesquisa, foram ensaiados 6 (CP) para cada idade 7, 28 e 56 dias. No entanto, antes de iniciar a realização do ensaio de compressão direta a superfície dos (CP) foram regularizados utilizando enxofre, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). A Figura 12 demonstra o ensaio de compressão direta com o auxílio da máquina digital EMIC 23-300 Instron, seguindo as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2018).

O ensaio consistiu em acoplar o (CP) na máquina de modo que o centro do mesmo coincida com eixo da máquina e o carregamento de ensaio foi aplicado continuamente e sem choque. A velocidade de ensaio foi de 0,45 MPa/s permanecendo constante até a ruptura do

(CP).



Figura 12 - Ensaio de Compressão Direta.
Fonte: Autor (2020).

O ensaio de tração na compressão diametral foi realizado no mesmo laboratório utilizando o auxílio da máquina mencionada anteriormente, de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011). Este ensaio foi realizado também com 6 (CP) na idade de 7, 28 e 56 dias. A Figura 13 mostra que para obtenção da resistência à tração, o (CP) foi posicionado de modo com que a carga exercida pela máquina fosse aplicada ao longo de sua geratriz, desse modo a carga de aplicação foi contínua e sem choque, com o crescimento da tensão de tração até a ruptura.



Figura 13 - Ensaio de Tração na Compressão Diametral. A) Aplicação da carga; B) Ruptura do (CP).

Fonte: Autor (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da (CBC)

A Tabela 7 apresenta as composições químicas do resíduo sucroenergético analisado no ensaio de (FRX) e nota-se que o mesmo indica a somatória dos teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em 67,87% superando o valor mínimo de 50% requerido pela NBR 12653 (ABNT, 2015). Observa-se também, que na composição química não houve presença de (SO_3) e também não foi encontrado álcalis disponíveis (Na_2O).

Tabela 7 – Composição Química, em %, da (CBC).

Elemento	Concentração, em %
SiO_2	30,58
Fe_2O_3	26,62
Al_2O_3	10,67
CaO	1,43
K_2O	1,51
TiO_2	10,30
P_2O_5	1,86
MnO	0,34
Cr_2O_3	0,12
Outros óxidos	3,35
Perda ao fogo	14,19
Total	100

Fonte: Autor (2020).

Assim sendo, a (CBC) corresponde ao percentual mínimo da normativa em três quesitos indicado anteriormente na Tabela 4. Portanto, a perda de fogo determina porcentagem de outras substâncias não minerais, contudo, este material não correspondeu a normativa devido apresentar uma perda ao fogo de 14,19% ultrapassando o limite máximo estabelecido de $\leq 10\%$.

O (IAP) foi definido por meio da Equação 1 mencionada anteriormente, onde correlaciona a resistência média da Argamassa B e da Argamassa A. Na Tabela 8 apresenta os valores dos ensaios de compressão direta, os quais foram aferidos apresentando as resistências dos seis (CP)s de referência e também com a substituição de 25% de massa do cimento por 25%

de (CBC).

Tabela 8- Resistência à compressão das Argamassas.

Argamassa A (MPa)	Argamassa B (MPa)
36,36	36,45
34,60	30,38
34,86	36,68
32,94	19,16
28,04	39,13
32,04	31,58

Fonte: Autor (2020).

Analisando os resultados obtidos, pode-se alcançar aos 28 dias de hidratação para a Argamassa A uma resistência média de 33,14 MPa e para Argamassa B uma resistência média de 32,23 MPa. Pode-se observar que o resultado da argamassa com pozolana não obteve maior resistência à compressão aos 28 dias. No entanto, esse requisito não impediu o resultado esperado de ser satisfatório, uma vez que o ensaio de (IAP) foi de 97,25 % ultrapassando o mínimo de 75% estabelecido pela normativa.

Dessa forma, de acordo com as exigências da NBR 12653 (ABNT, 2014) a CBC obedeceu aos requisitos da classe E e os demais parâmetros químicos e físicos estabelecidos na normativa. Comprovando a reatividade da (CBC) como material pozolânico, podendo ser empregado como substituto parcial de cimento Portland para ao desenvolvimento de materiais da construção civil. Pelos estudos realizados por Berenguer et al., (2020), a cinza extraída da região de Palmares (Pernambuco), seguiu também os parâmetros na classe E em conformidade com a normativa.

A Figura 14 mostra o gráfico obtido por meio do ensaio de Granulometria à Laser, onde percebe-se que a porcentagem de (CBC) retida na peneira 45 μ m é de aproximadamente 25%, o que corresponde a normativa e o mesmo pode ser classificado como material pozolânico, pois são considerados materiais posolânicos a habilidade passante \leq 34%. A partir desse ensaio também foi analisado o tamanho dos grãos do resíduo que em média foi compreendido em 6,62 μ m, e a porcentagem retida de partículas ficou abaixo de 10%, compreendido como um valor baixo

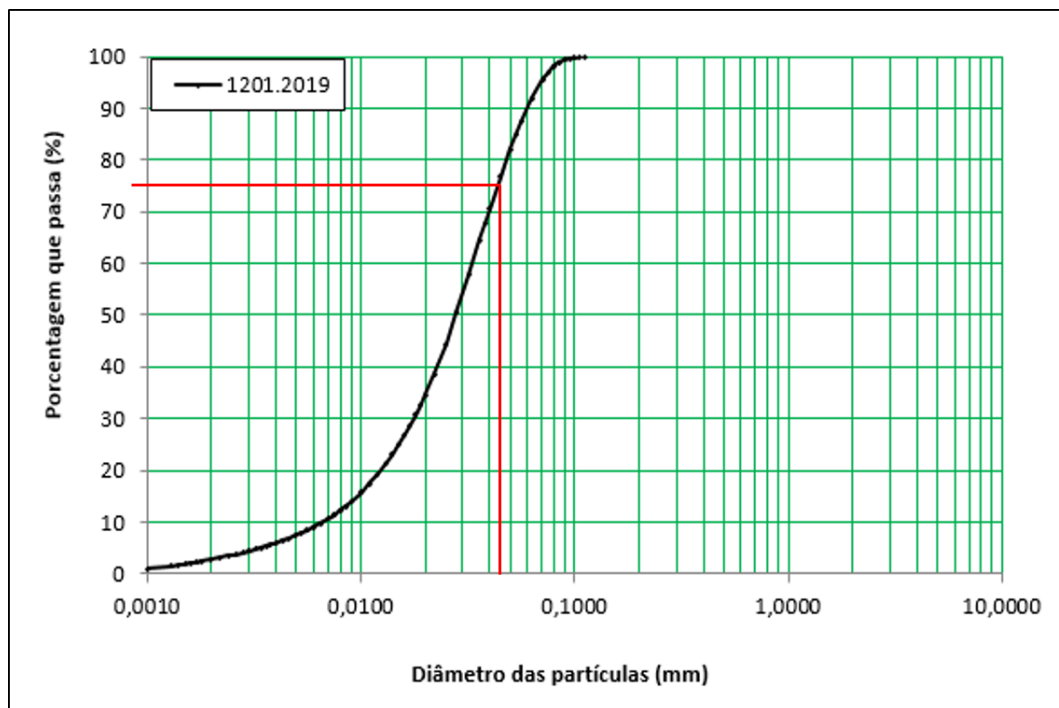


Figura 14 – Gráfico do Ensaio de Granulometria à Laser.
Fonte: Laboratório de Furnas, Goiânia – GO (2019).

De acordo com Cordeiro et. al. (2009), o elemento predominante da (CBC) é o dióxido de silício também mencionado como sílica (SiO_2), normalmente apresentado acima de 60%. Apesar disso a sílica ou silicato de alumínio podem apresentar-se no estado amorfo, ao qual é uma condição favorável para as reações pozolânicas. Neste estado as substâncias mencionadas podem reagir com o hidróxido de cálcio e formar o C-S-H ou C-A-S-H, compostos que influencia diretamente na resistência do concreto.

Em decorrência as análises de (FRX) realizada nos estudos de acordo com Câmara et. al. (2016) a porcentagem de (SiO_2) apresenta-se maior que 60%, correspondendo a literatura acima. Portanto, os estudos da (CBC) não alcançou a reatividade como material pozolânico uma vez que não correspondeu satisfatoriamente com ensaio de (IAP) e de Granulometria à Laser. Outros fatores que podem ter influenciado na reatividade do material foi a temperatura de queima, clima, cultivo entre outros, assim como mencionado no referencial.

Nesse trabalho, o que difere, é que a amostra da (CBC) consistiu de uma porcentagem abaixo do esperado pela literatura, (SiO_2) de 30,58%, menor que 60%. Portanto, este requisito não impediu-se que o resíduo fosse reativo, o que pode indicar uma alta reatividade, em função do processo térmico da queima do bagaço-de-cana. Visto que a cinza apresentou reatividade como material pozolânico conforme a NBR 12653 (ABNT, 2015), assim como do ensaio de (IAP) e também pode ter contribuído com os resultados a disposição granulométrica, verificada

ensaio de Granulometria a laser.

O ensaio de finura e massa específica, pela NBR 11579 (ABNT,2012) e NBR 16605 (ABNT, 2017) estão representadas na Tabela 9 em comparação com o cimento Portland, pode-se observar que a (CBC) é um resíduo que se apresentou maior quantidade de fino que o cimento, portanto, com uma menor densidade ocasionando maior volume em substituição.

Tabela 9 - Comparação entre o cimento e a (CBC)

	Resíduo na peneira 75 μm (%)	Massa específica (g/cm^3)
CPV - ARI	0,86	3,06
CBC	22,42	2,50

Fonte: Autor (2020).

Mediante aos resultados expostos, na análise de reaproveitamento do resíduo sucroenergético da Usina Bioenergética, cerca de aproximadamente 50% de todo o material recolhido pode ser reaproveitado neste estudo. A Figura 15 demonstra que este percentual foi medido através de uma estimativa, onde utilizou uma pequena amostra, cerca de 200 g de CBC.

O resíduo passante na malha 150 μm resultou em 50%, assim os outros 50% retido foi peneirado em uma peneira de 600 μm , analisou que 4,12% de material ficou inutilizado, para esse estudo, restando material como, impurezas, pedras e não requeimados. Os outros 45,88% resultou uma cinza com uma granulometria maior do que a utilizada na pesquisa, por conseguinte o restante não foi reaproveitado.

À vista disso, a (CBC) que representa 50% do resíduo será utilizado nessa pesquisa outros 50% serão objetos de estudos futuros, uma vez que diversos trabalhos nesta área vem sendo desenvolvido por autores como: Sua-iam e Makul (2013), Canova et al. (2015), Fernandes et al. (2015), Nascimento (2016), Carvalho e Nagano (2017), entre outros.



Figura 15 – Percentual de cinza reaproveitada.

Fonte: Autor (2020).

4.2 Caracterização no Estado Fresco

4.2.1 Espalhamento, tempo de escoamento e estabilidade visual

Após a escolha do método de dosagem e requerido o traço referência de 1: 2,15: 2,12: 0,38 e 0,7% de aditivo superplastificante, a (CBC) substituiu o cimento Portland em massa nas porcentagens de 10%, 20% e 30%. Os resultados encontrados no estado fresco mediante as quatro dosagens permitiram definir o local de aplicação, de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017).

A Tabela 10 apresenta os resultados do método tronco de Abrams, onde foi possível analisar os valores dos espalhamentos, através da média aritmética entre dois diâmetros retirados de cada dosagem. Segundo a normativa este ensaio fornece as indicações da fluidez do (CAA) e suas habilidade de preenchimento em fluxo livre.

Nesse estudo observou-se que com o aumento da adição da (CBC), o (CAA) perdeu trabalhabilidade, ou seja, menor viscosidade plástica aparente. Dessa forma, quanto menor a viscosidade maior resistência ao escoamento, requisitando assim o aumento na porcentagem do aditivo, como mencionado na Tabela 6. Entretanto, o (CAA) com a substituição de 20% cimento por 20% de (CBC) apresentou um melhor desempenho no estado fresco.

Tabela 10 – Análise dos Ensaio no Estado Fresco.

	Método do tronco de Abrams (mm)	Método do Anel J (mm)	Método da Coluna de Segregação (%)
Referência	710	35	5,11
CBC 10%	700	25	4,63
CBC 20%	705	27	6,82
CBC 30%	703	28	10,83

Fonte: Autor (2020).

Segundo Sua-Iam (2017) e Sadek et. al. (2016), o alto nível de coesão implica em um (CAA) fluído, para isso é necessário que o fluxo esteja entre 600 à 800 mm, se o fluxo for superior poderá ocorrer segregação e se o fluxo encontrar-se abaixo do intervalo acarretará em um (CAA) com escoamento insuficiente para passar sobre as armaduras ocasionando um

congestionamento, necessitando de vibração.

Entretanto, as dosagens com resíduo obtiveram desempenho muito próximo do (CAA) referência, o que viabilizou para que as quatro dosagens alcançassem desempenho satisfatório, obedecendo o limite de SF 2 estabelecido pela normativa entre 600 mm a 750 mm, o que também corresponde ao mencionado pelos autores acima, obtendo um fluxo desejável.

Neste ensaio também foi possível constatar o (T_{500}), o tempo em que o (CAA) leva para escoar e pode-se constatar que quanto maior a aplicação da (CBC) menor é o tempo de escoamento, porém, todos os traços obtiveram um tempo inferior a 2 segundos para cada dosagem. Diante desses requisitos, os traços alcançaram aplicações adequadas de acordo com a normativa para a maioria das aplicações recorrentes, como paredes, vigas e pilares, bem como, elementos estruturais com alta taxa de armadura, indústrias de pré-moldados, concreto aparente entre outros.

A Figura 16 mostra a imagem da análise do índice de estabilidade visual em decorrência de cada traço de acordo com NBR 15823 (ABNT, 2017). Neste ensaio requer a percepção da distribuição dos agregados graúdos, assim como, a distribuição da argamassa ao longo do perímetro dos concretos e a percepção da ocorrência de exsudação ou segregação.

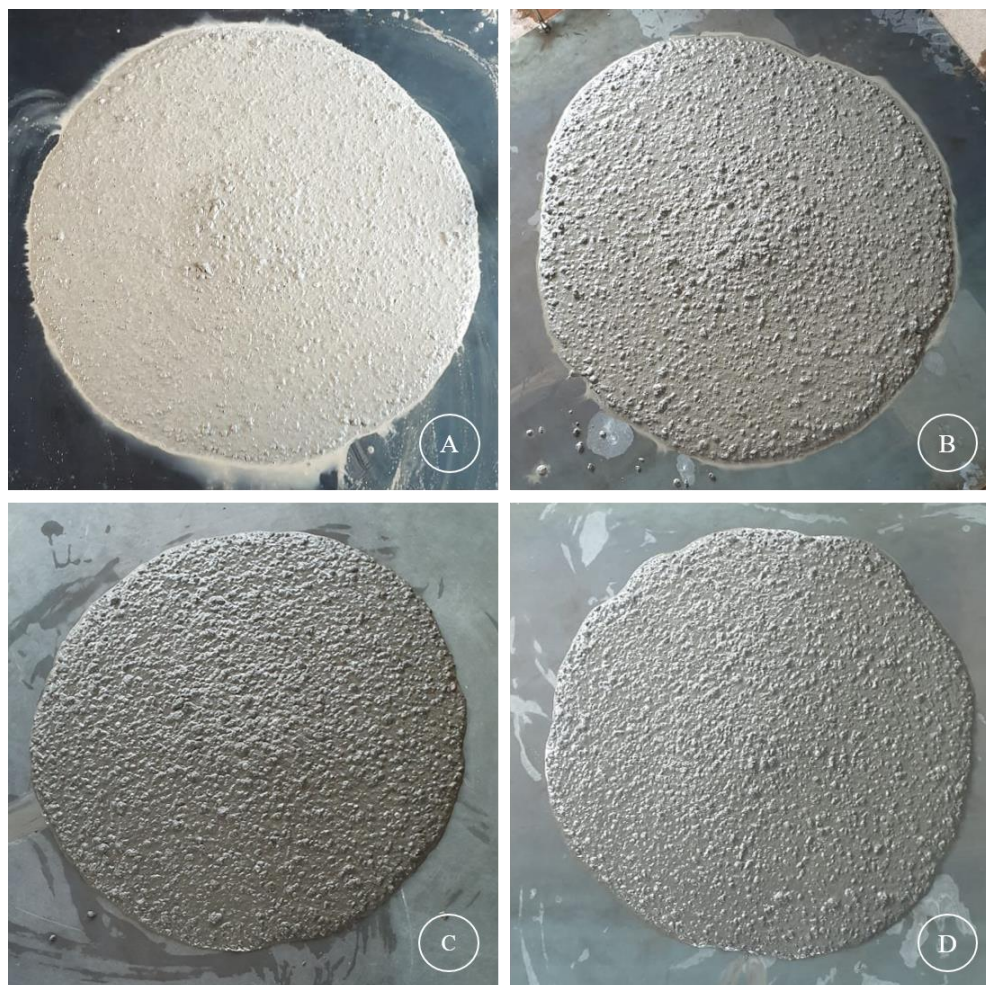


Figura 16 – Índice de Instabilidade visual. A) (CAA) Referência; B) (CAA) com 10% (CBC); C) (CAA) com 20% (CBC); D) (CAA) com 30% de (CBC).

Fonte: Autor (2020).

Verificou-se no (CAA) referência (Figura A) e no (CAA) com substituição parcial do cimento por 10% da (CBC) (Figura B) que ambas dosagens apresentaram uma pequena quantidade de água em volta do seu perímetro, este fator ocorreu visto que a placa-base estava com excesso de humidade. Contudo, pode-se observar que o (CAA) com 20% e 30% de (CBC) (Figura C e D) não apresentaram esta peculiaridade.

Dessa forma, as quatro dosagens foram classificadas por meio do índice de estabilidade visual, em conformidade com normativa, apresentando as exigências da classe altamente estável (IEV 0), ou seja, sem presença de segregação ou exsudação. Pode-se observar também a mudança na coloração, que quanto maior o teor de cinza residual mais escuro o concreto se apresenta, acarretando um (CAA) com o tom de cinza escuro, o que difere bastante do (CAA) confeccionado sem o resíduo.

4.2.2 Habilidade Passante

Em conseguinte, no método do Anel J conferiu-se a habilidade passante das dosagens requeridas no estudo, decorrente da Eq. 2 descrita anteriormente. Esta verificação permitiu analisar a capacidade do (CAA) referência e com as substituições da (CBC) de fluir entre as armaduras, sem perder a uniformidade ou causar bloqueios através de espaços confinados e descontínuos, ou seja, locais com altas taxas de armaduras.

Neste estudo o traço referência obteve um resultado com melhor desempenho comparado com os traços com substituição da (CBC), a Tabela 11 apresentou os resultados. No entanto, as quatro dosagens constataram o mesmo limite PJ 2 especificado entre 25 mm a 50 mm. Possibilitando de acordo com a normativa, o (CAA) referência e os (CAA) com resíduo a aplicação em construções com elementos estruturais com espaçamento de 80 mm a 100 mm, bem como, lajes, painéis e elementos de fundações.

4.2.3 Resistência à Segregação

A Tabela 10 também indica os resultados adquiridos pelo método da Coluna de segregação. Este ensaio é fundamental para a homogeneidade e qualidade do (CAA) e principalmente quando o concreto apresenta alta fluidez e pouca viscosidade. Segundo a NBR 15823 – Parte 2 (ABNT, 2017) o (CAA) sofre dois tipos de segregação, dinâmica e estática. A segregação dinâmica ocorre no momento do lançamento do concreto e a segregação estática acontece após o lançamento. Dessa forma a segregação mais danosa em elementos estruturais altos e em lajes pouco espessas é a estática, podendo ocasionar fissuração e enfraquecimento da superfície.

O resultado neste estudo foi obtido por meio do percentual requerido na Equação 3, onde foi possível alcançá-lo devido a obtenção da massa do agregado em que permaneceu no topo e na base da coluna. Pode ser observado que o concreto com 30% de substituição da (CBC) alcançou uma maior segregação comprando com os demais traços, entretanto, permaneceram dentro do limite mínimo estabelecido pela normativa de $\leq 15\%$.

No entanto, a normativa descreve que os quatro traços podem ser aplicadas em elementos de fundações profundas, pilares, paredes e elementos estruturais complexos e em pré-fabricados.

4.2.3 Massa específica e Ar incorporado

Pode-se observar mediante aos resultados descritos na Tabela 11 que o (CAA) referência obteve menor massa específica e em decorrência uma maior porcentagem de ar incorporado. Portanto, ao adicionar a (CBC) como substituto parcial do cimento Portland pode verificar o contrário, quanto maior a porcentagem do resíduo menor foi o ar incorporado e maior a massa específica, possivelmente por favorecer a formação de uma estrutura mais densa, proporcionada pela ligação do cimento com (CBC) e também pela combinação granulométrica.

Segundo Fornasier (1995) e Sampaio et. al. (2014), a quantidade de ar incorporado ao concreto esta correlacionado com os espaços vazios, dessa forma ao incorporar a (CBC) com diâmetro reduzido resultou em um preenchimento dos poros na matriz cimentícia pelos grãos da (CBC). Assim, devido o aumento da porcentagem da (CBC) ocorreu a diminuição dos vazios nos (CAA), ocasionando um aumento na massa específica do mesmo.

No entanto, o aumento da massa específica nas dosagens com resíduo não foi tão expressivo, assim as quatro dosagens permaneceram dentro dos parâmetros normativos da NBR 8953 (ABNT, 2015) conceituado como concreto normal.

Tabela 11 - Resultados do Ensaio no Estado Fresco.

	Massa específica (kg/m³)	Ar incorporado (%)
CAA Referência	2275,57	10,50
10% CBC	2356,91	6,00
20% CBC	2364,12	5,00
30% CBC	2367,01	4,60

Fonte: Autor (2020).

4.3 Caracterização no Estado Endurecido

4.3.1 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão direta e tração na compressão diametral foram realizados de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018) e a NBR 7222 (ABNT, 2011), os resultados estão expressos por meio do gráfico de barras. Verificou-se as resistências nas idades de 7, 28 e 56 dias, sendo rompidos 6 (CP) para cada idade de análise das dosagens. Constatou-

se que quando a aplicação do resíduo sucroenergético aumentava, estimulava o escurecimento na coloração dos (CP).

Mediante aos resultados encontrados descritos na Figura 17, o (CAA) referência obteve a resistência requerida de projeto de 40 MPa aos 28 dias. O (CAA) com substituição em massa de 10%, 20% e 30% do cimento pela (CBC), ocasionaram um aumento na resistência à compressão direta dos (CP) ao longo das idades, portanto, o traço com substituição de 10% de (CBC) apresentou melhor desempenho aos 56 dias em comparação as demais substituições.

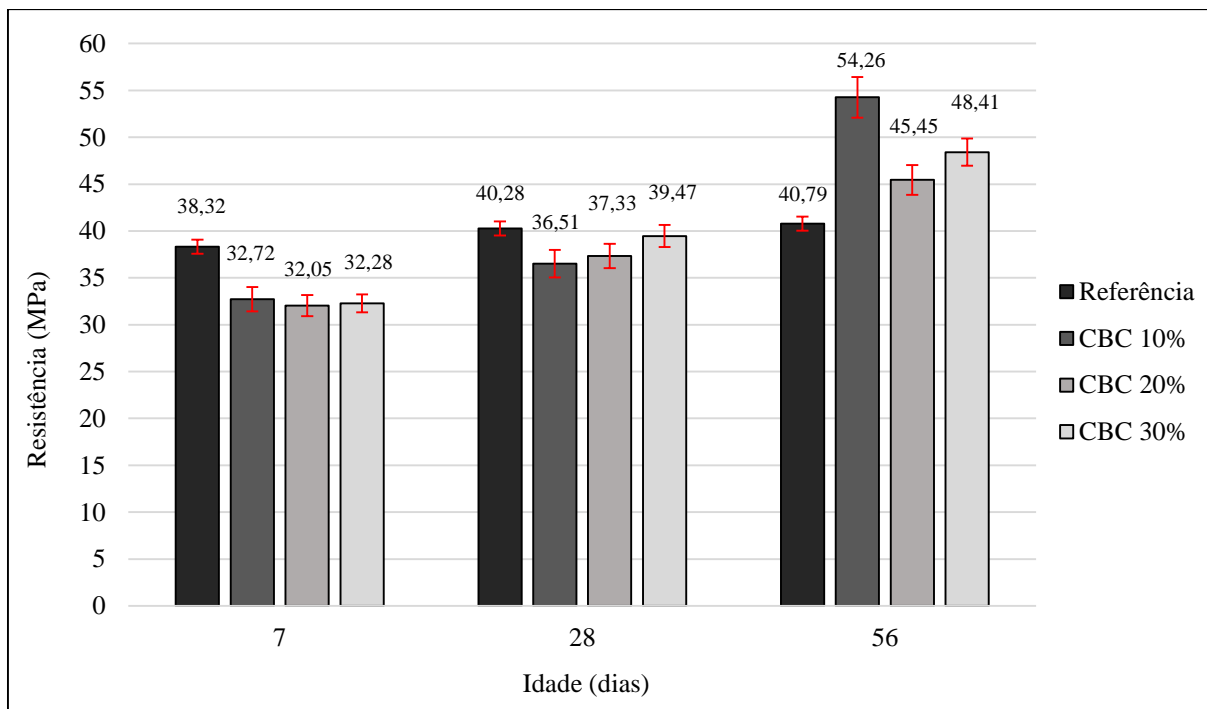


Figura 17 – Gráfico: Compressão direta.
Fonte: Autor (2020).

No entanto, aos 7 dias as dosagens com substituição não manifestaram diferença significativa nos resultados com o resíduo, devido a lenta hidratação dos constituintes da (CBC) com cimento Portland. Segundo Mehta e Monteiro (2014), concreto com aplicação de materiais pozolânicos o desenvolvimento da resistência varia de 90 a 365 dias.

O comportamento ao longo da idade ocorreu devido o efeito pozolânico influenciar no melhoramento do desempenho das propriedades do concreto e proporcionar que os grãos de sílica preencham os vazios acarretados pelos grãos de cimento e ocupados pela água proporcionando uma superfície mais resistente, ocasionando o aumento de C-S-H, e outros produtos de hidratação tal como C-A-S-H por conta do maior conversão do hidróxido de cálcio. (LIMA et. al., 2017).

4.3.1 Resistência à tração na compressão diametral

Conforme a Figura 18, os resultados adquiridos no ensaio de tração na compressão diametral apresentou um decréscimo de resistência na dosagem do (CAA) referência na idade de 7 dias e a partir de 28 e 56 dias, ocasionando acréscimos substanciais.

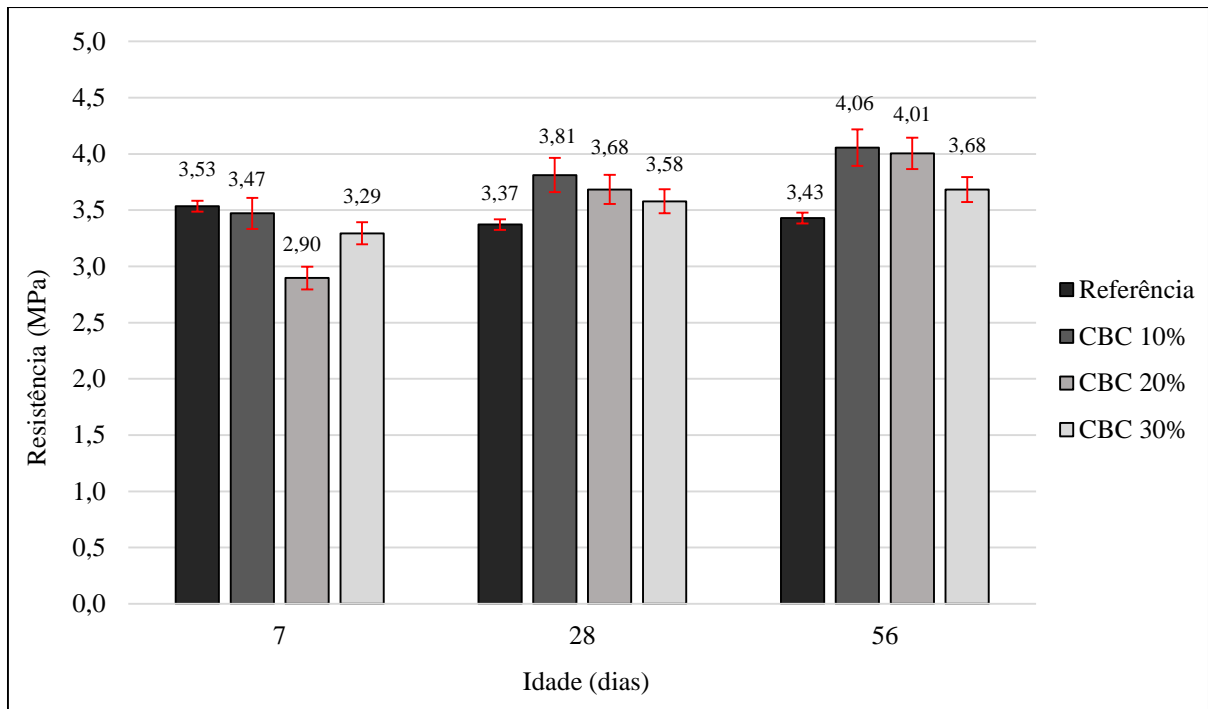


Figura 18 - Gráfico: Tração na compressão diametral.

Fonte: Autor (2020).

Os resultados encontrados para os (CP) de (CAA) com substituição parcial do cimento pela (CBC) estimularam o aumento da resistência à tração na compressão diametral. Contudo, o (CAA) com 10% de (CBC) apresentou o melhor desempenho na resistência à tração, bem como foi observado na resistência à compressão axial aos 56 dias.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho foi estudar o resíduo da Usina Bioenergética, a (CBC), como substituto parcial em massa do cimento Portland na confecção do (CAA), nas porcentagens de 10%, 20% e 30%. Com o intuito de realizar a caracterização desse resíduo e o controle tecnológico no estado fresco e endurecido do (CAA). Dessa forma, o ensaio de caracterização química concedido pelo ensaio de FRX, classificou o resíduo como material pozolânico dentro dos parâmetros da NBR 12653 (ABNT, 2015). E para evidenciar esta comprovação, o (IAP) reafirmou a reatividade deste resíduo sucroenergético. Através dos ensaios de granulometria, finura e massa específica foi possível obter um reaproveitamento da (CBC) em 50%. Nos ensaios de estado fresco, as dosagens com substituição em massa de 10%, 20% e 30% do cimento Portland pela CBC obtiveram a mesma eficiência normativa do (CAA) referência, proporcionando os mesmos intervalos e ocasionando diversas aplicações no âmbito da construção civil. Esta eficácia ficou confirmada através do índice de instabilidade visual, onde as dosagens com resíduo não apresentaram exsudação e segregação. Os ensaios mecânicos comprovaram ao longo do tempo a melhoria de desempenho do (CAA) com as substituições, destacando a substituição de 10% de (CBC). Portanto, o resíduo em estudo da Usina Bioenergética, se propôs eficaz para utilização no setor da construção civil como substituto parcial em massa do cimento na produção do (CAA), uma vez que poderia refletir na diminuição da taxa de emissão de gás carbônico provocado pelas indústrias cimenteiras e pelo descarte não apropriado da (CBC), proporcionando maior sustentabilidade no setor da construção civil, bem como, no setor agroindustrial.

5.1 Considerações Finais

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Realizar estudos de microestrutura para analisar o comportamento da CBC na matriz cimentícias;
- Realizar análise de Difração de Raio - X para verificar a amorficidade da CBC;
- Verificar ensaios de corrosão para certificar se o CAA com resíduo influenciará em estruturas com armaduras;
- Analisar estudos sobre o interesse o controle da queima da CBC nas usinas e também a aceitação na indústria da construção civil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADITIBRAS. **ADI-SUPER H50**. Ficha técnica. Disponível em: <<http://www.aditibras.com.br/aditivo-para-concreto/superplastificante>>. Acesso em: Dez / 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR MN 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

_____**NBR MN 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, ABNT, 2009.

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

_____**NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

_____**NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman**. Rio de Janeiro, ABNT, 1988.

_____**NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.

_____**NBR 9833: Concreto fresco: Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

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

_____**NBR NM 47: Concreto: - Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

_____**NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

_____**NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, ABNT, 1996.

_____**NBR 11579: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

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

_____**NBR MN 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

_____**NBR MN 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

_____**NBR 15823-1: Concreto auto adensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

_____**NBR 15823-2: Concreto auto adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

_____**NBR 15823-3: Concreto auto adensável. Parte 3: Determinação da habilidade passante– Método do anel J.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

_____**NBR 15823-6: Concreto auto adensável. Parte 6: Determinação da resistência à segregação– Método da coluna de segregação.** Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

_____**NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistências.** Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

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

BERENGUER, R. A.; CAPRARO, A. P. B.; MEDEIROS, M. H. F.; CARNEIRO, A. M. P.; OLIVEIRA, R. A. Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. *Revista Journal of Environmental Chemical Engineering*. V. 8, p. 1-7. Amsterdam, Países Baixos, 2020.

BORTOLETTO, M. M. F; CARNEIRO, A. A; SOUSA, A. O; FERNADNES, L, C; NAVES, L. D; NOGUEIRA, M. M; PINTO, C. O. Confecção de concreto utilizando a cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo. **8º EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE**, Minas Gerais: Uberaba, 2014.

CÂMARA, E.; PINTO, R. C. A.; ROCHA, J. C. Pega em argamassas com cinzas do bagaço da cana-de-açúcar. **Revista Ibracon de Estrutura e Materiais**. v. 9, n. 4, p. 617-642, 2016.

CALADO, C. F. A. *et al.* **Concreto Auto-Adensável (CAA), mais do que alternativa ao Concreto Convencional (CC)**. 1 ed. Recife: EDUPE, 2015. 263 p.

CANOVA, J. A; MORI, L. M. Avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. *Science & Engineering Journal*, v. 24, n.1, pp. 125 – 134, 2015.

CARVALHO, P. R. A; NAGANO, M. F. Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como substituto do agregado miúdo na produção de concreto para construção civil. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.9, n.3, pp. 48 – 63, 2017.

CASTALDELLI, V. N. Estudo de geopolímeros utilizando cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. 2013. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista. São Paulo: Ilha Solteira, 2013.

CASTELLANI, G. A; GUIMARÃES, P.V.C; FAZZAN, J.V. Valorização da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar para a produção de misturas cimentícias. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 12, n. 05, p. 109-123, 2016. ISSN: 1980-0827.

Conab - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 5, Brasília: Conab, 2019.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R. Caracterização da Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar para Emprego como Pozolana em Materiais Cimentícios. **Revista Química Nova**. v. 32, n. 1. 2009.

CORDEIRO, G. C. Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cinza de Cana-de-açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto. 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e Comportamento Estrutural do Concreto Auto-Adensável**. 2011. 230 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

FAIRBAIRN, E. M. R.; AMERICANO, B. B.; CORDEIRO, G. C.; PAULA, T. P.; TOLEDO FILHO, R. D.; SILVOSO, M. M. Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits. **Revista Elsevier Journal of Environmental Management**. v. 91, p. 1864-1871. Amsterdam, Países Baixos, 2010.

FALCÃO BAUER, L.A. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 5 ed. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

FAPESP – **FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 2015. Disponível em: <<https://namidia.fapesp.br/residuos-da-producao-de-cana-de-acucar/109777>>. Acesso em: dez. / 2019.

FERNANDES, S.E.; TASHIMA, M.M.; MORAES, J.C.B.; ISTUQUE, D.B.; FIORITI, C.F.; MELGES, J.L.P.; AKASAKI, J.L. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. **Revista Matéria**, v.20, n.4, pp. 909 – 923, 2015.

FERREIRA, R. T. L. **Influência da Requeima na Pozolanicidade de Cinzas de Bagaço da Cana-de-Açúcar de Diferentes Características**. 2015. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2015.

FORNASIER, R. S. **Porosidade e Permeabilidade do concreto de alto desempenho com microsilica**. 1995. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1995.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>>. Acesso em: Jan. / 2020.

JOSHAGHANI, A.; MOHAMMAD, A. M.; Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar. **Revista Elsevier Construction and Building Materials**. v. 152, p. 818-831. Amsterdam, Países Baixos, 2017.

LIMA, B. L. N.; OLIVEIRA, M. S.; OLIVEIRA, P. T.; SILVA, D. L. Análise do Potencial da Sílica Ativa na Resistência à Compressão do Concreto. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto**. IBRACON, 2017.

LIMA, S. A.; SALES, A.; ALMEIDA, F. C. R.; MORETTI, J. P.; PORTELLA, K. F. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, p. 201-212, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2. Ed. São Paulo, IBRACON, 2014.

MORAES, K. A. M. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. 2010. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

NASCIMENTO, M. C.A. **Utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em substituição parcial ao agregado miúdo em concreto não estrutural**. 2016. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco. Pernambuco: Recife, 2016.

OKAMURA, H; OUCHI, M. Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, v.1, n. 1, p. 5-15, 2003.

PEREIRA, A. M. et al. Análise Microestrutural do Potencial das Cinzas de Bagaços de Cana-de-Açúcar como Material Pozolânico em Compósitos Cimentícios. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal: 22° CBECiMat, 2016.

ROSELLÓ, J.; SORIANO, L.; SANTAMARINA, M. P.; AKASAKI, J. L.; MONZÓ, J.; PAYÁ, J. Rice straw ash: A potencial pozzolanic supplementary material for cementing systems. *Revista Elsevier Industrial Crops and Products*. v. 103, p. 39-50. Amsterdam, Países Baixos, 2017.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. *Revista Elsevier Journal of Cleaner Production*. v. 121, p. 19-32. Amsterdam, Países Baixos, 2016.

SAMPAIO, Z. L. M; SOUZA, P. A. B. F; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v.7, n.4, p. 626 - 647, 2014.

SILVEIRA, D. A. **Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) residual no concreto**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SNIC – **SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO**. Disponível em: <<http://snic.org.br>>. Acesso em: dez. / 2019.

SUA-IAM, G; MAKUL, N. Effect of incinerated sugarcane filter cake on the properties of self-compacting concrete. *Revista Construction and Building Materials*. v. 130, p. 32-40. Amsterdam, Países Baixos, 2017.

SUA-IAM, G; MAKUL, N. Use of increasing amounts of bagasse ash waste to produce self-compacting concrete by adding limestone powder waste. *Revista Elsevier Journal of Cleaner Production*. V. 57, p. 308-319. Amsterdam, Países Baixos, 2013.

SU, N.; HSU, K. C.; CHAI, H, W. A simple mix design method for self-compacting concret. *Construction and Building Materials*, v 31, p. 1799 – 1807, 2001.

TUTIKIAN, B. F.; MOLIN, D. C. D. **Concreto Auto-Adensável**. São Paulo: Pini, 2008. 148 p.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004.

UNICA – **UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇUCAR**. Disponível em: <<https://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: dez. / 2019.

VASCONCELOS, M. C. A. **Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizando métodos físico**. 2013. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.