



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

IAGO FERNANDES FERREIRA

ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CINZAS DE BAGAÇO DE CANA DE
AÇÚCAR.

PALMAS - TO
2023

IAGO FERNANDES FERREIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CINZAS DE BAGAÇO DE CANA DE
AÇÚCAR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

PALMAS - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

F383a Ferreira, Iago Fernandes
Análise de desempenho físico e mecânico do concreto com substituição parcial do cimento por cinzas de bagaço de cana de açúcar. / Iago Fernandes Ferreira. – Palmas, TO, 2023.
49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientadora: Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

1. Concreto. 2. Cinza. 3. Sustentabilidade. I. Rezende, Cláudia da Silva A.. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

IAGO FERNANDES FERREIRA

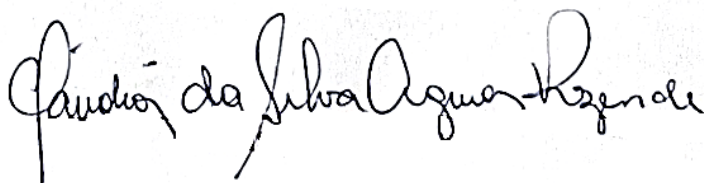
**ANÁLISE DE DESEMPENHO FÍSICO E MECÂNICO DO CONCRETO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CINZAS DE BAGAÇO DE CANA DE
AÇÚCAR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Superior de Tecnologia de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

Aprovado em: 02/06/2023

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende
Orientadora
(IFTO)



Prof.ª. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz
(IFTO)



Documento assinado digitalmente

ADRIANO DOS GUIMARAES DE CARVALHO
Data: 09/06/2023 15:27:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho
(IFTO)

RESUMO

Devido ao presente momento do quadro mundial, onde o desenvolvimento desenfreado das indústrias vem trazendo diversas preocupações com o meio ambiente, a reutilização de biomassa proveniente da cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC) pode ser uma solução viável para a sustentabilidade visando o destino correto para o resíduo que em muitos momentos são destinados de forma incorreta para a natureza. O bagaço de cana-de-açúcar é gerado como resíduo do processamento do açúcar e do álcool. Esse resíduo é utilizado para a cogeração de energia por meio da queima em caldeiras, restando ao final as cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Atualmente, essas cinzas são aproveitadas nas lavouras de cana como adubação orgânica, apesar de ser um material com poucos nutrientes. Em virtude dos problemas ambientais causados pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) e pela possibilidade de causar impacto na sustentabilidade ao ser aplicada à construção civil, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho físico, mecânico e químico do concreto com adição dessas cinzas, a partir da análise de corpos de prova com substituição de cimento *Portland* em teores de 2 a 6%, com uso de aditivo. O trabalho se iniciará com a caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) e dos agregados, com o intuito de calcular a dosagem ideal da mistura do concreto. Em seguida serão moldados os corpos de prova, e será realizado ensaios de trabalhabilidade e resistência mecânica. E por meio dos resultados desses ensaios, será realizado uma análise de desempenho da adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) no concreto. Para a avaliar a sua trabalhabilidade será realizado o ensaio “*slump test*” sendo realizado em estado fresco. Já para o concreto em seu estado endurecido será feito o ensaio de compressão axial dos corpos de prova. Será utilizado o método Plackett e Burmam (PB) para análise estatística, para visualizar se as adições nos diferentes traços de concreto resultarão na trabalhabilidade e resistência mecânica desejada. Com base no tratamento estatístico, será possível comprovar a viabilidade do uso das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral no concreto.

Palavras-chave: Cinzas; Concreto; Resistência.

ABSTRACT

Due to the present moment in the world scenario, where the unbridled development of industries has brought several concerns about the environment, the reuse of biomass from sugarcane bagasse ash (CBC) can be a viable solution for sustainability aimed at the destination. correct for the residue that in many moments are incorrectly destined for nature. Bagasse is generated as a residue from sugar and alcohol processing. This residue is used for the cogeneration of energy by burning it in boilers, leaving at the end the residual ash from sugarcane bagasse (CBC). Currently, these ashes are used in sugarcane crops as organic fertilizer, despite being a material with few nutrients. Due to the environmental problems caused by sugarcane bagasse ash (CBC) and the possibility of impacting sustainability when applied to civil construction, the present work aims to analyze the physical, mechanical and chemical performance analysis of concrete with the addition of these ash, from the analysis of specimens with replacement of Portland cement in levels of 2 to 6%, with the use of an additive. The work will begin with the characterization of sugarcane bagasse ash (CBC) and aggregates, in order to calculate the ideal dosage of the concrete mixture. Then the specimens will be molded, workability and mechanical strength tests will be carried out. And through the results of these tests, a performance analysis of the addition of sugar cane bagasse ash (CBC) in the concrete will be performed. To evaluate its workability, the "slump test" will be carried out in a fresh state. For the concrete in its hardened state, the axial compression test of the specimens will be carried out. The Plackett e Burmam (PB) method will be used for statistical analysis to see if the additions in the different concrete mixes will result in the desired workability and mechanical strength. Based on the statistical treatment, it will be possible to prove the feasibility of using sugarcane bagasse ash (CBC) as a mineral addition in concrete.

Keywords: Ashes; Concrete; Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Plantação de cana-de-açúcar	15
Figura 2 – Bagaço de cana-de-açúcar	16
Figura 3 – Cinza residual	17
Figura 4 – Fluxograma da produção de CBC	18
Figura 5 – Usina de cana de açúcar	18
Figura 6 – Concreto com cinza de bagaço de cana	21
Figura 7– Planejamento experimental a ser desenvolvido.....	25
Figura 8 – Cadinhos na estufa por 24h.....	27
Figura 9 – Processo de pesagem dos cadinhos	27
Figura 10 – Processo de calcinação em forno mufla.....	28
Figura 11 – Pesagem após a queima	28
Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova	29
Figura 13 – Processo de cura de 7 dias.....	29
Figura 14 – Rompimento dos corpos de prova aos 7 dias.....	30
Figura 15 – Secagem em estufa por 24h	31
Figura 16 – Diferentes granulometrias obtidas.....	31
Figura 17 – Pesagem do agregado	32
Figura 18 – Utilização do tubo de chapman	32
Figura 19 – Pesagem do agregado	32
Figura 20 – Pesagem da água	32
Figura 21 – Ensaio de abatimento de cone (slump test)	34
Figura 22 – Ensaio de compressão.....	35
Figura 23 – Moldagem dos corpos de prova	36
Figura 24 – Processo de cura úmida	36
Figura 25 – Diagrama de Pareto para o ensaio de resistência à compressão	43
Figura 26 – Diagrama de Pareto para o ensaio de abatimento de tronco de cone	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização do cimento Portland CII – F.....	23
Tabela 2 – Dados do ensaio de resistência à compressão	38
Tabela 3 – Valores do ensaio de teor de umidade	38
Tabela 4 – Valores do ensaio de teor de perda ao fogo	39
Tabela 5 – Valores do ensaio de índice de desempenho.	39
Tabela 6 – Valores do ensaio de granulometria do agregado miúdo	39
Tabela 7 – Valores do ensaio de granulometria do agregado graúdo.....	40
Tabela 8 – Valores do ensaio de massa específica	40
Tabela 9 – Valores do ensaio de massa unitária.....	40
Tabela 10 – Valores do ensaio de massa unitária.....	41
Tabela 11 – Dados do ensaio de resistência à compressão	41
Tabela 12 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de resistência à compressão	43
Tabela 13 – Dados do ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test	44
Tabela 14 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test	46

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	27
Equação 2	29
Equação 3	30

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Problema de pesquisa.....	13
1.2. Justificativa	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo geral.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Produção da cana de açúcar.....	15
2.2. Bagaço da cana de açúcar (BCA)	16
2.3. Reciclagem	16
2.4. Cinzas do Bagaço de Cana (CBC)	17
2.5. Indústria da cana e os Resíduos Agroindustriais	18
2.6. Resíduos e Biomassa.....	19
2.7. Adições Minerais e Reação Pozolânico.....	19
2.8. Cinzas do Bagaço de Cana (CBC) na Construção Civil e no Concreto	21
2.9. Concreto	21
2.10. Cimento	22
2.11. Resistência Mecânica à Compressão	24
3. METODOLOGIA	25
3.1. Planejamento experimental	25
3.2. Materiais e métodos	26
3.2.1. Caracterização física e química das cinzas	26
3.2.2. Caracterização dos materiais dos traços de concreto.....	30
3.2.3. Dosagem do concreto	33
3.2.4. Confeção dos corpos de prova, ensaios de resistência física e mecânica sendo o realizado ensaio de compressão e slump test.....	34
3.2.5. Comparativo: Análise de dados.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1. Comportamento mecânico: resistência à compressão	41
4.2. Comportamento físico: abatimento de tronco de cone – Slump Test.....	44
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

As preocupações relativas ao meio ambiente, que tem assolado a humanidade nestes últimos tempos, decorrem da evidência que atividades humanas de modo geral, empresas, governo e indivíduos, não se preocupam com a preservação, com o manter a terra limpa, em condições de dar continuidade à vida. (.FERREIRA, 1995).

Conforme o cenário global, a sustentabilidade se apresenta como um caminho viável para preservação do meio ambiente, sendo realizado com o aproveitamento de diversos resíduos que são gerados na agricultura e indústrias e acaba sendo descartado de forma incorreta.

No Brasil o setor agropecuário é responsável por uma grande parte da fonte de renda nacional, sendo assim um grande gerador de resíduos, no caso da cana-de-açúcar o seu bagaço, é uma biomassa que é produzida em grande escala, e o destino desse resíduo é um problema a ser solucionado

O Brasil atualmente é de um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo. Além do açúcar, a cana é nossa fonte principal para a produção de etanol e biomassa. Assim nos consolidamos como a maior produtora de derivados da cana-de-açúcar e referência global em energias renováveis a partir do bagaço da cana.

Durante o processo de extração do caldo da cana-de-açúcar, uma quantidade significativa de bagaço é gerada, correspondendo aproximadamente a 30% da cana moída. Esse bagaço é uma biomassa de extrema importância como fonte de energia. No Brasil, cerca de 95% de todo o bagaço produzido é queimado em caldeiras para a geração de vapor, resultando em resíduos.

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), composta principalmente por sílica, possui um potencial promissor como adição mineral, podendo substituir parte do cimento em argamassas e concretos. Isso traz benefícios tanto do ponto de vista ambiental, ao reduzir a quantidade de resíduos descartados, quanto do ponto de vista da engenharia, ao melhorar as propriedades e durabilidade dos materiais de construção.

Portanto, a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como adição mineral em argamassas e concretos é uma alternativa viável e sustentável, contribuindo para a redução do impacto ambiental e aproveitamento eficiente dos recursos provenientes da indústria da cana-de-açúcar. (Cordeiro *et al.*, 2008)

Dentre os resíduos provenientes de várias atividades agroindustriais, as cinzas minerais se destacam, apresentando elevados teores de sílica e outros óxidos. Essas cinzas têm a capacidade de serem utilizadas como pozolanas. A principal propriedade das pozolanas é a sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante

o processo de hidratação do cimento, formando compostos aglomerantes estáveis, como os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados.

Essa reação química entre a pozolana e o hidróxido de cálcio contribui para a melhoria das propriedades dos materiais de construção, como argamassas e concretos. Os compostos resultantes dessa reação são responsáveis pela formação de uma matriz sólida e resistente, aumentando a durabilidade e a resistência do material.

Portanto, o aproveitamento das cinzas minerais como pozolanas é uma estratégia eficaz para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais, contribuindo para a redução do desperdício e para a produção de materiais de construção mais sustentáveis e de melhor qualidade. (Oliveira *et al.*, 2004)

Dentre os variados estudos realizados com a utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), como o estudo publicado pela Revista Eletrônica de Engenharia Civil, no qual faz a análise da viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland, mostram que pode ser utilizado para a substituição parcial do cimento *Portland*, pois o resíduo atende as exigências químicas para material pozolânico, tendo em vista que os resultados obtidos podem variar de acordo com qualidade do material utilizado.

Considerando as informações obtidas sobre as características das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), no qual pode ser utilizado como material pozolânico, é considerável se realizar um estudo e comprovar por meio de ensaios laboratoriais a resistência física e mecânica do concreto com adição do resíduo. A cinza do bagaço de cana se mostra como um material alternativo e sustentável para a sua utilização na construção civil.

1.1. Problema de pesquisa

Levando em consideração o aproveitamento das cinzas provenientes da cana de açúcar, que atualmente são descartadas sem uma utilização eficaz, questiona-se de que forma esse resíduo, em substituição parcial do cimento, pode acrescentar no desempenho físico e mecânico do concreto?

1.2. Justificativa

A utilização de cinzas de biomassa a partir de subprodutos agroindustriais contendo grandes quantidades de sílica sob forma amorfa na fabricação de cimento e/ou na produção de concreto pode ser uma solução alternativa para a incorporação dos materiais de cimentação suplementares (MCSs) usados tradicionalmente (ALBERNAZ, DEMIS; TAPALIS; PAPADAKIS, 2014).

O bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto primário da indústria sucroalcooleira, sendo reaproveitado como combustível para as caldeiras. Apesar do grande potencial produtor de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), são escassos os trabalhos realizados com esses resíduos no Brasil (FREITAS, 2005).

Atualmente, um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas é quanto à disposição dessas cinzas residuais. Dessa forma, a indústria da construção civil apresenta um elevado potencial para incorporação de resíduos desta natureza como matéria prima, colaborando para o desenvolvimento tecnológico, ambiental e econômico regional (ROCHA e CHERIAF, 2003).

Sendo assim se torna interessante a realização de um estudo sobre como será o desempenho mecânico do concreto com a presença de substituição parcial do cimento por cinza de bagaço de cana de açúcar. Tendo em vista o custo do cimento sendo responsável pelo maior valor na produção de concreto simples.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o desempenho físico e mecânico do concreto sendo os ensaios de compressão e trabalhabilidade com adição de cinzas provenientes da queima do bagaço de cana de açúcar (CA), através do planejamento experimental, ao substituir parcialmente o cimento *Portland* pelas cinzas da cana de açúcar como matéria prima no traço de concreto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades físico-químicas das cinzas do bagaço de cana de açúcar (CBC);
- Realizar a caracterização dos materiais utilizados para os traços de concreto;
- Analisar as propriedades física e mecânica do concreto no estado fresco e endurecido;
- Comparar os resultados físico e mecânico do concreto do traço testemunha e os demais traços.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Produção da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, a princípio originária da espécie *Saccharum officinarum*, chegou no Brasil pelas mãos dos portugueses, no início do século XVI. Ela prosperou principalmente no Nordeste do país, sendo responsável por esta nação se converter na melhor criadora e exportadora de açúcar neste período, que se estendeu até o século XVII (EMBRAPA, 2015).

Hoje, porém, é na região do interior de São Paulo que se localiza a maior parte dos canaviais. E o açúcar não é mais seu principal produto, o álcool, especialmente o etanol, extraído deste vegetal, é o que mais destaca economicamente, pois, enquanto combustível alternativo, contribui igualmente para o desenvolvimento sustentável.

O Brasil é responsável pela produção de cerca de 60% do álcool etílico consumido no planeta é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e açúcar. A cultura da cana-de-açúcar representa uma das principais atividades agrícolas e ocupa uma área plantada com aproximadamente 7 milhões de hectares para diversas finalidades, como indústria sucroalcooleira, produção de aguardente, forragem, etc. E está distribuída por grande parte do território nacional segundo levantamento da safra 2008 pela CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) (CORDEIRO, 2005).

Figura 1 – Plantação de cana-de-açúcar



Fonte: Revista Cultivar (2019)

No Tocantins a produção é destinada à indústria sucroalcooleira e o estado é responsável por aproximadamente 75% da produção da região Norte, com cerca de 180 milhões de litros produzidos. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) mostram que o Tocantins tem a maior média de produtividade entre todas as unidades da Federação. Enquanto a média nacional é de 71,3 toneladas por hectare, o Estado tem a média de 84,3 toneladas por hectare.

2.2. Bagaço da cana de açúcar (BCA)

O bagaço de cana (Figura 2) é resultado do processo de moagem da cana-de-açúcar e, antigamente, esse resíduo era descartado. Hoje, tornou-se um insumo amplamente utilizado em usinas. Seu potencial como energia renovável vem ganhando destaque aos olhos das indústrias e grandes investidores do mercado sucroenergético.

Figura 2 – Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Syngenta (2020)

O bagaço da cana-de-açúcar é um subproduto primário da indústria sucroalcooleira, sendo reaproveitado como combustível para as caldeiras. Apesar do grande potencial produtor de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), são escassos os trabalhos realizados com esses resíduos no Brasil (FREITAS, 2005)

2.3. Reciclagem

A reciclagem de matérias proveniente do agronegócio como por exemplo o bagaço da cana-de-açúcar, vem se tornando cada vez mais necessária tendo em vista os custos ambientais do descarte indevido desses resíduos em locais incorretos.

Para cada tonelada de cana-de-açúcar que alimenta o processo de moagem são geradas 260 kg de bagaço, onde aproximadamente 95% deste é destinado a alimentação da caldeira, estima-se que a geração de resíduos de cinza é de 6,2 kg de cinza/260 kg de bagaço, logo para os 45 milhões de toneladas, podem gerar aproximadamente 265 mil toneladas de cinza na atual safra do Paraná (FIESP, 2001).

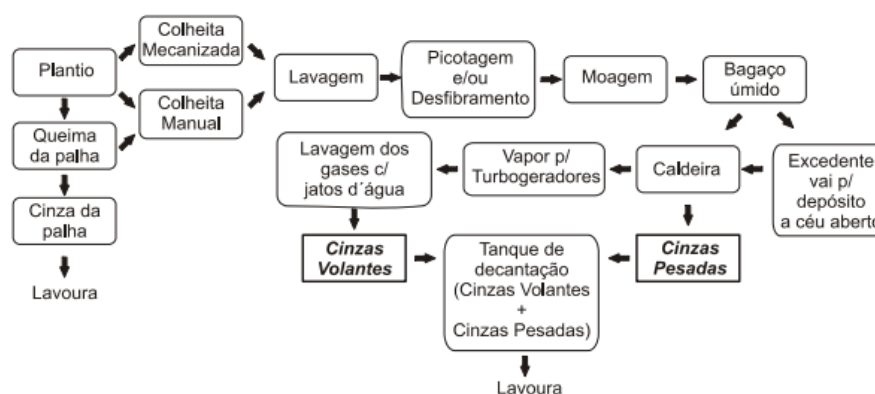
2.4. Cinzas do Bagaço de Cana (CBC)

A colheita pode ser realizada mecanicamente, sem a queima da cana, através de colhedoras ou manualmente pelos funcionários. A cana-de-açúcar é transportada ao setor industrial por meio de caminhões, onde é lavada para retirar o solo e impurezas provenientes da lavoura. Em seguida, é desfibrada e enviada à moenda para extração do caldo. Cerca de 96% do açúcar contido na cana é extraído. O bagaço resultante com cerca de 4% de açúcar e umidade média em torno de 50% é transportado da moenda para depósitos a céu aberto onde permanece até ser queimada em caldeira, ou é vendido para outras indústrias do setor. Em seguida o bagaço é transportado por meio de uma esteira rolante até a caldeira onde é queimado restando cinzas residuais apresentado na Figura 3. A umidade do bagaço que alimenta as caldeiras interfere diretamente no rendimento da combustão e nas características da cinza gerada (SOUZA,2007) O fluxograma da produção da CBC é apresentado na Figura 4.

Figura 3 – Cinza residual



Fonte – REEC (2014)

Figura 4 – Fluxograma da produção de CBC

Fonte – FREITAS (2005)

A emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa emitidos é bem menor que a prática da queimada dos canaviais para facilitar a colheita manual da cana, o que atenua o impacto ambiental ocasionado na cadeia. (SOUZA, 2007).

2.5. Indústria da cana e os Resíduos Agroindustriais

A cultura da cana-de-açúcar se destaca no cenário agrícola brasileiro, como fonte de energia na alimentação humana e animal, na indústria de derivados e como geradora de emprego e renda (STRAPASSON, 2007).

De acordo com o segundo levantamento realizado pela Companhia Nacional do Abastecimento - CONAB, a produção da cana-de-açúcar no Brasil foi de 710.280,9 mil toneladas na safra de 2008. No Estado de Mato Grosso do Sul, na safra de julho/2009, a área cultivada com cana-de-açúcar foi cerca de 377 mil ha, responsável pela produção de 32.989 mil toneladas, representando 4,8% da produção nacional.

Figura 5 – Usina de cana de açúcar

Fonte: SEAGRO-TO (2012)

As atividades industriais, enquanto oferecem benefícios à população, através de seus inúmeros produtos produzidos, são também responsáveis pela exploração de recursos naturais e pela consequente geração de resíduos e rejeitos industriais que sobram da produção dos bens de consumo (NETO, BALDAN, 2015).

Vários problemas poderiam ser diminuídos com a reciclagem dos resíduos agroindustriais, como o impacto ambiental e os custos agregados das indústrias (NETO, CALDAS, 2016). O reaproveitamento de resíduos aparece nos dias atuais como questão fundamental na melhoria do ambiente, tanto na redução do desperdício de recursos naturais, quanto na minimização dos impactos ambientais gerados pela disposição final desses resíduos (NETO, CALDAS, *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2000).

2.6. Resíduos e Biomassa

Os códigos para a identificação dos resíduos de acordo com suas características. Os resíduos são classificados em resíduos classe I (perigosos); resíduos classe II (não perigosos) que são subdivididos em classe IIA (não inertes) e classe IIB (inertes) (NETO, 2020).

Quando se trata de biomassa, define-se como toda e qualquer matéria orgânica que é empregada para produção e geração de energia. Alguns pontos positivos podem ser citados em relação ao uso da biomassa na produção de energia que são o pequeno custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão (NETO, BIOMASSABR, 2017).

2.7. Adições Minerais e Reação Pozolânico

Segundo a NBR 11.172 (ABNT, 1990), as adições minerais podem ser classificadas quanto a sua ação físico-química em três tipos: inertes, cimentantes e pozolânicas. As adições minerais do tipo inertes/fíler são materiais essencialmente finos e uniformes, cujas ações são puramente físicas e não possuem nenhuma atividade química, no sentido da produção de C-S-H (NETO, 2020).

A evolução das adições minerais pozolânicas tornou possível produzir concretos cada vez mais resistentes e duráveis, muito além do que se pensava ser possível há anos. Neste sentido, pode-se considerar as pozolanas como ferramentas capazes de viabilizar os concretos de alto desempenho, que são um aprimoramento de concretos convencionais a partir da redução da porosidade e das modificações macroestruturais (VALENZUELA, CHODOUNSKY, 2010)

No Brasil, os cimentos com adição pozolânica começaram a ser comercializados em 1969, no Rio Grande do Sul, por iniciativa da S.A. Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, utilizando cinzas volantes coletadas na Termoelétrica de Charqueadas. Anteriormente, havia o uso esporádico de argila calcinada na obra da barragem de Jupirá, no Rio Paraná, cuja fábrica iniciou sua operação em 1965 (SILVA, 2010).

A utilização de material pozolânico se dá de duas formas, como adição ao cimento Portland durante sua fabricação, gerando os cimentos compostos (forma mais usual em países como Brasil, França e Alemanha), ou como adição ao concreto (como é o caso nos Estados Unidos). Independente da forma, o resultado final é semelhante: a adição mineral interage química e fisicamente com os produtos de hidratação do cimento Portland, modificando a microestrutura da pasta (SILVA, 2010).

O material pozolânico, quando natural, dispensa qualquer tratamento para apresentar ou potencializar sua pozolanicidade, exceto a moagem, procedimento que aumenta a área de contato para as reações. Já, no caso das pozolanas artificiais, aquelas que necessitam de beneficiamento, os tratamentos a elevadas temperaturas influenciam na cristalização do material, pois durante o resfriamento as fases cristalinas são transformadas em amorfas, atribuindo reatividade ao material. O dióxido de silício presente nos materiais pozolânicos possui fases polimórficas como o quartzo, a tridimita, a cristobalita, entre outras. Os materiais com estrutura desordenada (amorfa) são os que apresentam maior reatividade comparada aos de estrutura cristalina (CORDEIRO, 2006).

Concretos contendo adição de cinzas volantes diminuem a quantidade de hidróxido de cálcio em relação ao concreto de referência. Para minimizar este efeito, realizou-se a adição de cal hidratada na mistura, que propiciou o aumento na quantidade de portlandita em concretos produzidos com cimento e cinzas volantes, acima do valor encontrado no concreto de referência. Esse trabalho ainda sugere que as previsões relativas à durabilidade do concreto com base na resistência à compressão são inadequadas, pois concretos de referência e com adições minerais, com a mesma resistência à compressão, quando submetidos à penetração de cloretos, apresentam coeficientes de difusão distintos, devido às melhorias nas propriedades da microestrutura da pasta (HOPPE, 2013).

2.8. Cinzas do Bagaço de Cana (CBC) na Construção Civil e no Concreto

O emprego da CBC possibilita a redução de problemas ambientais relacionados ao uso de cimento Portland em concreto, como grande quantidade requerida de matéria-prima natural (argila e calcário) e elevado montante de gases intensificadores do efeito estufa, sobretudo dióxido de carbono, emitidos para a atmosfera durante sua produção (CORDEIRO, 2009).

De acordo com as condições de queima adotadas, é possível manter a sílica contida no bagaço em estado amorfo. Essa característica pode possibilitar o emprego desse resíduo como pozolana e, por conseguinte, reduzir as despesas e o impacto ambiental relativos à sua disposição no meio ambiente. Além disso, a incorporação da cinza pode agregar valor econômico ao resíduo agroindustrial e proporcionar vantagens técnicas e ambientais com a substituição parcial de cimento Portland (CORDEIRO, 2009).

Figura 6 – Concreto com cinza de bagaço de cana



Fonte: Galileu (2008)

Tendo em vista os diversos estudos realizados com a utilização de cinza de bagaço de cana de açúcar, mostram que tal resíduo pode ser utilizado em substituição parcial do cimento *Portland*, sendo que sua adição pode contribuir de forma positiva nas propriedades finais do produto gerado. Sendo considerado que tais propriedades podem variar de acordo com a qualidade do material adicionado no caso o CBC, levando em consideração as características físicas e químicas do produto.

2.9. Concreto

O concreto tem sido ao longo dos anos o material de construção mais utilizado do mundo, e também o segundo produto mais consumido pelo homem, perdendo apenas para a água (ISAIA, 2007).

O concreto, em seu sentido mais amplo, refere-se a qualquer produto ou massa produzido a partir da utilização de um meio cimentante. Geralmente, esse meio é resultado da reação entre um cimento hidráulico e água. No entanto, atualmente, essa definição pode abranger uma ampla variedade de produtos. O concreto pode ser produzido com diversos tipos de cimento e também pode conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras.

Além disso, esses concretos podem passar por processos como aquecimento, cura a vapor, autoclavagem, tratamento a vácuo, prensagem, vibração por impacto (*shoek-vibrated*), extrusão e projeção. (NEVILLE, 2013).

O concreto fresco possui resistência plástica, favorecendo a sua entrada em moldes de variados tamanhos. Após algumas horas, o concreto endurece e é possível retirar suas fôrmas, pois ele torna-se uma massa consistente. A terceira razão para o uso do concreto é o baixo custo e a rapidez com que ele é disponível na obra. Essa razão explica-se pelo fato de os materiais que o constituem agregado, água e Cimento Portland possuírem preços baixos e estarem disponíveis em qualquer local do mundo (LUDWIG, 2014).

O vasto uso do concreto se deve as suas diferentes propriedades, onde em seu estado fresco apresenta consistência e trabalhabilidade, sendo capaz de adequar-se aos mais diversos formatos. Em seu estado endurecido, apresenta resistência mecânica, resistência à ação da água, das intempéries e durabilidade (MEHTA E MONTEIRO, 2014)

2.10. Cimento

O termo "cimento" pode ser geralmente definido como uma substância com propriedades adesivas e coesivas que possibilitam a união de fragmentos minerais, formando uma estrutura compacta. Essa ampla definição engloba uma diversidade de materiais cimentícios. (NEVILLE, 2016).

O cimento *Portland* é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento *Portland* não se decompõe mais. O cimento, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final desejado como uma laje, uma viga ou um revestimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002).

No campo da construção, o termo "cimento" possui um significado mais restrito, referindo-se a materiais aglomerantes utilizados em combinação com pedras, areia, tijolos, blocos de alvenaria e outros elementos. Os principais componentes desse tipo de cimento são compostos de calcário, portanto, na engenharia civil e na construção, o foco está no cimento à base de calcário. Esses cimentos reagem quimicamente com a água e possuem a propriedade de endurecer e solidificar quando em contato com a água, sendo conhecidos como cimentos hidráulicos. (NEVILLE, 2016).

Tabela 1 – Caracterização do cimento Portland CPII – F

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE ENSAIO	CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	PARÂMETROS NORMATIVOS DA NBR 11578: 1991
Massa unitária (g/cm³)	NBR NM 23: 2001	1,05	-
Massa específica (g/cm³)	NBR NM 23: 2001	3,17	-
Finura Blaine (cm²/g)	NBR NM 76: 1998	4380	≥ 2600
Resíduo na peneira # 200, 75mm (%)	NBR 11579: 1991	0,8	≤ 12
Resíduo na peneira # 325, 45 mm (%)	NBR 12826: 1993	5,8	-
Tempo de início de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	2 h, 20 min	≥ 1 h
Tempo de fim de pega (h, min)	NBR NM 65: 2003	3 h, 00 min	≤ 10 h (facultativo)
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	NBR 7215: 1996	23,0	≥ 10
7 dias (MPa)		31,5	≥ 20
28 dias (MPa)		40,0	≥ 32
Teor de MgO (%)	NBR NM 14: 2012	1,04	≤ 6,5
Teor de SO ₃ (%)	NBR NM 14: 2012	2,65	≤ 4,0

Fonte: Carasek, Araújo (2016)

2.11. Resistência Mecânica à Compressão

Conforme Mehta e Monteiro (2014) a resistência de um material pode ser definida como sua capacidade de resistir a um determinado esforço de tensão sem se romper. Quando se fala em concreto, a resistência à compressão axial é a propriedade que mais interessa os engenheiros bem como os projetistas de estruturas. Isso se deve ao fato de que esta propriedade está diretamente ligada à qualidade do concreto num todo, então se relaciona a qualidade do concreto e as demais resistências e propriedades diretamente com a sua resistência à compressão.

Um fator determinante para a alteração da resistência é a quantidade de água ao concreto. Não existindo um correto controle da umidade dos materiais, o concreto será sempre fabricado com diferentes relações água/cimento (a/c) e consequentemente, diferentes resistências (LIDWIG, RECENA, 2002).

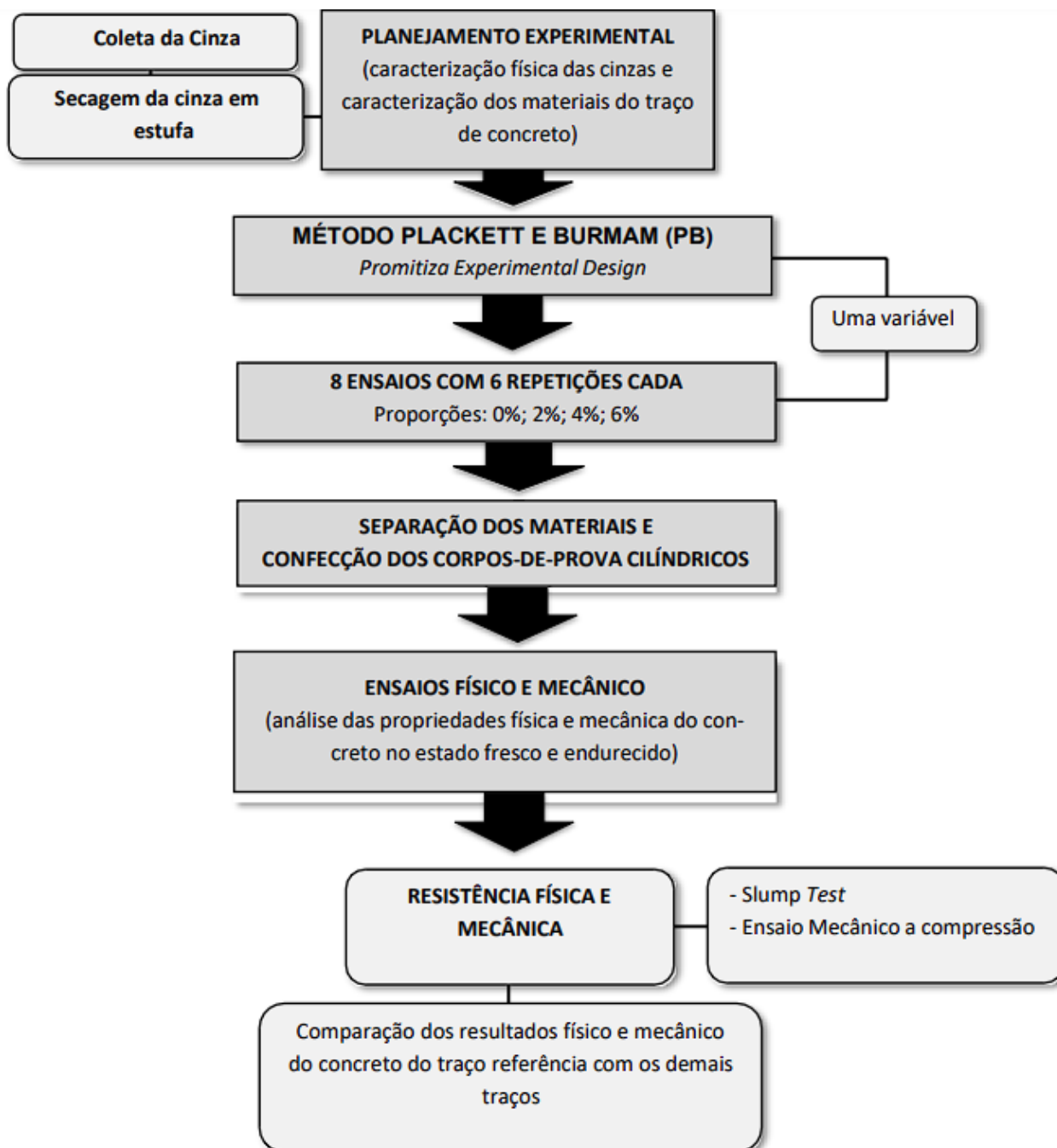
Para obtenção da resistência característica à compressão do concreto adota-se como referência a idade de 28 dias. O autor conclui dizendo não haver uma explicação científica para determinação da resistência aos 28 dias de idade, de forma que esta data ficou definida em virtude do lento ganho de resistência do concreto somado a necessidade de medir sua resistência com o cimento já hidratado. Outra explicação para a definição desta idade é o fato de ser uma data múltipla de uma semana, ou seja, o vigésimo oitavo dia coincidiria com o dia da semana da concretagem, portanto dia útil com dia útil (NEVILLE, 1997).

3. METODOLOGIA

3.1. Planejamento experimental

A evolução metodológica dos procedimentos realizados está representada na Figura 7.

Figura 7– Planejamento experimental a ser desenvolvido



Fonte: Autor (2023).

O experimento para análise física e mecânica do concreto com adição de cinzas de bagaço de cana (CBC) será realizado no laboratório de materiais do IFTO – Campus Palmas. O procedimento será dividido em 4 etapas: preparação e caracterização dos materiais e das cinzas, moldagem dos corpos de prova com diferentes traços, rompimento dos corpos de prova e trabalhabilidade e por fim a comparação dos resultados.

O primeiro passo foi a coleta da cinza de cana-de-açúcar na qual foi fornecida pela usina de cana de açúcar de Pedro Afonso, depois a queima em forno 300° a 500° para produzir as cinzas, a cinza de origem de queima controlada de 400°C a 600° C gera sílica amorfa abundante e, portanto, altamente reativa com os compostos hidratados do cimento; já a cinza queimada por temperaturas mais altas de 800°C a 1.000°C apresenta compostos cristalinos, como cristóbalita e quartzo, sem reatividade com os hidratos de cimento.

Posteriormente foi realizada a caracterização dos materiais necessários para o traço de concreto como areia seixo, cimento e aditivo, nos quais serão disponibilizados pelo campus.

Em seguida, foi realizada a moldagem de 6 corpos de prova, no qual será o traço de referência sem a utilização de CBC e outros três com a adição de 0%, 2%, 4% e 6% de CBC em substituição ao cimento, realizados alteração nas variáveis dos agregados e do cimento, sendo 8 traços diferentes totalizando 48 corpos de prova, seguindo os processos da NBR-5738 (ABNT, 20), posteriormente os processos de pesagem, desmoldagem, armazenagem e cura.

O processo de rompimento dos corpos de prova de concreto, para a análise de desempenho da resistência a compressão seguiu a NBR-5739 (ABNT, 2007). A idade de rompimento foi de 28 dias. Além do ensaio de abatimento de tronco de cone “*slump test*”, e por fim, o comparativo dos traços confeccionados e a análise de dados.

3.2. Materiais e métodos

Os materiais utilizados estão descritos abaixo. A cinza de bagaço de cana de açúcar a ser utilizada, que foi coletada na usina de Pedro Afonso -TO.

Para a realização dos ensaios foi utilizado cimento Portland CP II – F. No traço com a adição de cinza foram utilizados os agregados no qual submetidas a um processo de secagem em estufa, com temperatura variando de 105°C e 110°C de acordo com a NBR- 7215(ABNT, 2019), durante um intervalo de tempo de 15 a 20 horas, para a retirada da umidade.

Há também a utilização de aditivo superplastificante, com o intuito de melhorar a trabalhabilidade e produzir um concreto com uma melhor qualidade.

3.2.1. Caracterização física e química das cinzas

As cinzas de bagaço de cana (CBC) serão passadas por ensaios de laboratório conforme as seguintes normativas: NBR NM 13956:2012 – Sílica Ativa para uso em cimento *Portland* em concreto, argamassa e pasta. Sendo feito todas as caracterizações determinadas na norma.

Foi realizado no presente trabalho, de acordo com a NBR NM 13956:2012 Parte I deve ser realizado os ensaios de teor de umidade e perda ao fogo, sendo realizado 3 repetições no ensaio de perda ao fogo tendo em vista a obtenção da maior precisão.

Foi realizado um experimento para determinar o teor de umidade (%) das cinzas, conforme ilustrado na Figura 8 e 9. O procedimento seguiu a norma a NBR NM 13956:2012 Parte 2. Uma massa de aproximadamente 2 g de cinzas foi adicionada a um cadinho de porcelana previamente pesado com peso constante.

Figura 8 – Cadinhos na estufa por 24h



Fonte: Autor (2023).

Figura 9 – Processo de pesagem dos cadinhos



Fonte: Autor (2023).

O experimento foi conduzido em triplicata, e os valores encontrados foram calculados em média. É importante ressaltar que, de acordo com os procedimentos, a amostra foi aquecida em uma estufa a uma temperatura de 110°C, durante 1 hora. Posteriormente, a amostra contida no cadinho foi transferida para um dessecador de vidro, onde permaneceu por aproximadamente 10 minutos antes de ser pesada novamente.

O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 1.

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P1+P0)-P2}{(P0)} \times 100$$

Equação 1

Em que:

P1: peso do cadinho.

P2: peso do cadinho mais a amostra após o aquecimento na estufa.

P0: peso da amostra.

O experimento de perda ao fogo também foi realizado conforme a norma a NBR NM 13956:2012 Parte 2. A determinação da perda ao fogo é um procedimento utilizado para quantificar a quantidade de material volátil presente em uma amostra. O método padrão para determinar a perda ao fogo segue uma série de etapas. Primeiramente, uma quantidade precisa da amostra é pesada e colocada em um cadinho ou recipiente adequado. Em seguida, o cadinho com a amostra é levado a um forno pré-aquecido a uma temperatura específica, entre 950°C e 1000°C, conforme ilustrado na Figura 10 e 11.

Figura 10 – Processo de calcinação em forno mufla



Fonte: Autor (2023).

Figura 11 – Pesagem após a queima



Fonte: Autor (2023).

O teor de perda ao fogo foi determinado segundo a Equação 2.

$$PF = \frac{(m_3 + m_4) - m_5}{m_3} 100$$

Equação 2

Em que:

m3: peso da amostra.

m4: peso do cadinho.

m5: peso da amostra mais o cadinho após a calcinação no forno mufla.

Seguindo as solicitações da NBR NM 13956:2012 – Sílica Ativa para uso em cimento Portland em concreto (parte 3). Deve ser realizado a determinação do desempenho com cimento Portland aos 7 dias. foram realizados 12 corpos de provas de argamassa utilizado a forma cilíndrica de 50mm por 100mm. Sendo 6 corpos de prova sem adição de cinza e 6 com a adição de 10% de cinza. Conforme ilustrado na figura 12,13 e 14.

Figura 12 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 – Processo de cura de 7 dias.



Fonte: Autor (2023).

Figura 14 – Rompimento dos corpos de prova aos 7 dias.



Fonte: Autor (2023).

Sendo determinado o índice de desempenho segundo a equação 3.

$$I = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} 100$$

Equação 3

Em que:

f_{cB} : resistência média dos corpos de prova com adição de cinza.

f_{cA} : a resistência média dos corpos de provas moldados apenas com cimento.

3.2.2. Caracterização dos materiais dos traços de concreto

Os materiais dos traços de concreto foram passados por ensaios de laboratório conforme as seguintes normativas: NBR NM 248:2003 – Determinação da composição granulométrica de agregados; NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa aparente. NBR 16.972: 2021 – Determinação de massa unitária e do índice de vazios.

Foi realizado no presente trabalho a determinação da composição granulométrica de agregados segundo a norma NBR NM 248:2003 – Determinação da composição granulométrica de agregados. O procedimento foi realizado após a secagem dos materiais em estufa por 24 horas, conforme ilustrado na figura 15. Em seguida foram realizados os procedimentos de peneiramento e pesagem, conforme ilustrado na figura 16.

Figura 15 – Secagem em estufa por 24h



Fonte: Autor (2023).

Figura 16 – Diferentes granulometrias obtidas.

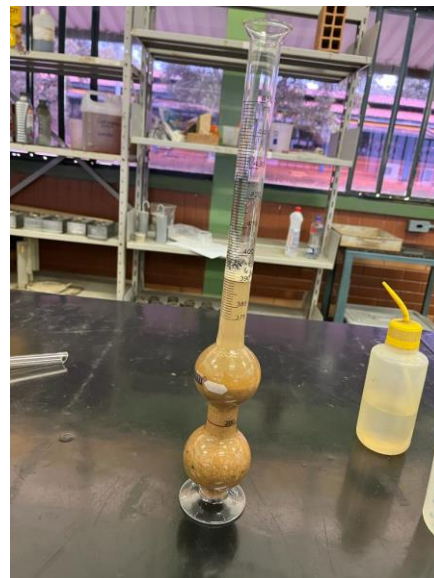


Fonte: Autor (2023).

Foram realizados os ensaios de massa específica conforme; NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa aparente. Os procedimentos são realizados com a pesagem do agregado e da utilização do tubo de Chapman, conforme ilustrado na figura 17 e 18.

Figura 17 – Pesagem do agregado

Fonte: Autor (2023).

Figura 18 – Utilização do tubo de chapman

Fonte: Autor (2023).

Ensaio de massa unitária segundo a NBR 16.972: 2021 – Determinação de massa unitária e do índice de vazios. Dado pelo procedimento de pesagem dos agregados e da água e o cálculo do volume do recipiente utilizado. Conforme ilustrado na figura 19 e 20.

Figura 19 – Pesagem do agregado

Fonte: Autor (2023).

Figura 20 – Pesagem da água

Fonte: Autor (2023).

3.2.3. Dosagem do concreto

A dosagem é o procedimento onde se procura determinar a quantidade de cada material para a composição do concreto, ou seja, a quantidades de cimento, areia, britas e água, para um determinado volume de concreto. Essas quantidades normalmente são expressas em proporção de massa ou volume de cada material, mais conhecido como traço do concreto (RSOTOENG, 2018).

Com o intuito de obter a melhor qualidade de concreto e com os materiais disponíveis, este trabalho analisou o desempenho mecânico do concreto dosado pelo método de dosagem ACI (*American Concrete institute*).

O método ACI é composto de 7 etapas representadas em sua ordem de execução: Passo 1: Escolha do abatimento; Passo 2: Escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo; Passo 3: Estimativas dos teores de água e ar incorporado; Passo 4: Estimativa da relação água/cimento; Passo 5: Cálculo de teor de cimento; Passo 6: Cálculo de teor de agregado Graúdo; Passo 7: Cálculo do agregado miúdo.

Roteiro de cálculo: Variáveis de entrada: Consideram-se as características da construção, como a trabalhabilidade desejada, o diâmetro máximo do agregado, o fator água/cimento adequado para a durabilidade e a resistência do concreto aos 28 dias. Também são levadas em conta informações sobre o agregado miúdo, como módulo de finura, massa específica aparente e passa específica absoluta, e sobre o agregado graúdo, como diâmetro máximo, passa específica aparente e massa específica absoluta. Por fim, são consideradas informações sobre o cimento, como a resistência esperada à compressão aos 28 dias e a massa específica.

Passo 1: Correlaciona-se o abatimento desejado com o diâmetro máximo do agregado graúdo para obter o volume de água necessário para 1 m³ de concreto.

Passo 2: Utilizando uma curva de Abrams, correlaciona-se a resistência esperada aos 28 dias com o tipo de cimento utilizado para obter o fator água-cimento (a/c). Com o volume de água calculado no passo anterior, é possível determinar o consumo de cimento para 1 m³ de concreto.

Passo 3: Correlaciona-se o módulo de finura do agregado miúdo com o diâmetro máximo do agregado para obter o volume de agregado graúdo. Para calcular a massa desse agregado, utiliza-se a massa específica aparente, além de determinar a relação entre a massa do agregado graúdo e a massa do cimento.

Passo 4: Calcula-se a relação entre a massa do agregado miúdo e a massa do cimento para somar o volume total de 1 m³ de concreto.

Passo 5: Apresenta-se o traço em massa no formato (cimento: brita: areia: água/cimento).

3.2.4. Confeção dos corpos de prova, ensaios de resistência física e mecânica sendo o realizado ensaio de compressão e *slump test*

Foram realizados os seguintes ensaios para verificar a influência da substituição parcial do cimento por resíduos de biomassas nas características do concreto no estado fresco e endurecido, de acordo com as normas especificadas:

Ensaio de Consistência por Abatimento do Tronco de Cone: Seguindo a normativa NBR16.889 (ABNT, 2020) Concreto – Determinação da consistência por abatimento do tronco de cone, foi realizado o ensaio para determinar a consistência do concreto. A medida da consistência foi feita por meio da queda do tronco de cone, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Ensaio de abatimento de cone (*slump test*)



Fonte: Autor (2023).

Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos: Conforme a norma NBR 5739 ABNT (2010), foram moldados corpos-de-prova cilíndricos para realizar o ensaio de compressão. Esse ensaio tem como objetivo avaliar a resistência do concreto. Os corpos-de-prova foram submetidos a cargas de compressão até a sua ruptura, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Ensaio de compressão



Fonte: Autor (2023).

Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova: Para garantir a correta moldagem e cura dos corpos-de-prova, seguiu-se a norma NBR 5738:2015. Esse procedimento define as etapas e condições necessárias para a moldagem, transporte e cura dos corpos-de-prova, conforme exemplificado na Figura 23 e 24.

Figura 23 – Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor (2023).

Figura 24 – Processo de cura úmida



Fonte: Autor (2023).

Esses ensaios foram conduzidos para avaliar as propriedades e o desempenho do concreto quando houve a substituição parcial do cimento por resíduos de biomassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. As normas adotadas fornecem diretrizes padronizadas para a realização dos ensaios, garantindo a consistência e a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.2.5. Comparativo: Análise de dados

Para análise estatística, será utilizado o método Plackett e Burman (PB), para visualizar se as substituições nos diferentes traços de concreto resultarão na trabalhabilidade e resistência mecânica desejada. Para análises estatísticas importantes, juntamente com seu nível de significância, considerou-se a porcentagem de substituição de cinzas pelo cimento e agregados como a variável independente e o tempo em dias de cura úmida por imersão por 28 dias como a variável invariável. É importante ressaltar que o próprio programa gera os dados estatísticos necessários para a interpretação dos resultados, os quais são de extrema importância.

O PB utiliza uma matriz de experimentos, na qual os fatores são combinados em diferentes níveis para determinar seu efeito sobre a variável de interesse. A matriz é projetada de forma que os efeitos principais de cada fator possam ser estimados independentemente dos outros fatores, reduzindo assim o número total de experimentos necessários.

Neste caso, o método Plackett e Burman (PB), gerado automaticamente pelo software, na qual objetiva identificar se possui alguma diferença entre os resultados que serão obtidos. Além disso, foi gerada uma representação do diagrama de Pareto para identificar os fatores mais significativos. As respostas previstas foram ajustadas usando um modelo linear e apresentadas em forma de gráficos e tabelas, fornecendo uma visualização clara dos resultados.

E por fim, foram feitas as comparações dos resultados obtidos a partir de um valor de referência, na qual a dosagem do concreto substituição do cimento e dos seus agregados sendo feito a substituição parcial por cinza.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho consistiu no planejamento experimental para analisar os efeitos do Fator 1, a proporção de cinzas em substituição ao cimento e aos agregados, em porcentagem. As variáveis de entrada foram a resistência mecânica à compressão (y_1) e o slump test (y_2) como respostas de saída. Os dados foram organizados de acordo com os níveis do método Plackett e Burman (PB). É importante ressaltar que o Fator 2, tempo de cura por imersão em dias, foi fixado em 28 dias de acordo com a norma.

O modelo utilizado abrange todos os comportamentos físicos e mecânicos do concreto, permitindo identificar as melhores combinações com base nas correlações observadas. Os resultados obtidos a partir do planejamento experimental foram comparados com os requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - procedimento, assim como com o traço de referência. Além disso, foram considerados os dados resultantes dos ensaios de caracterização dos materiais.

Essa abordagem experimental e a comparação dos resultados com as normas e requisitos específicos permitem avaliar o desempenho do concreto e determinar a adequação das combinações estudadas para atender aos critérios estabelecidos.

Após a utilização do prototipo obteve as seguintes porcentagens para dosagem apresentada na tabela 10. Sendo a porcentagem de água fixada em 8% sendo baseado na relação água cimento do traço padrão, e sendo o aditivo super plastificante fixado em 0,5% do valor do cimento.

Tabela 2 – Dados do ensaio de resistência à compressão

Ensaio	X1	X2	X3	X4	X1 = Cimento (%)
1	18%	28%	42%	4%	X2 = Areia (%)
2	18%	30%	42%	2%	X3 = Brita (%)
3	18%	30%	44%	0%	X4 = cinzas (%)
4	16%	30%	44%	2%	
5	18%	28%	44%	2%	
6	16%	30%	42%	4%	
7	16%	28%	44%	4%	
8	16%	28%	42%	6%	

Fonte: Autor (2023).

4.1. Dados das caracterizações dos materiais

Os resultados obtidos de cada ensaio de caracterização dos materiais foram imprescindíveis para a realização da dosagem do concreto e estão expostos a seguir.

- Teor de umidade da cinza;

Tabela 3 – Valores do ensaio de teor de umidade

Dados	Cadinho 01	Cadinho 02	Cadinho 03
P1 (g)	33,5472	33,3309	32,1475
P2 (g)	35,554	35,183	34,055
P0 (g)	2,1762	2,006	2,0757
Teor de umidade médio(%)	7,78%	7,67%	8,10%
Teor de umidade (%)	7,85%		

Fonte: Autor (2023).

- Perda ao fogo;

Tabela 4 – Valores do ensaio de teor de perda ao fogo

Dados	
m3 (g)	1,002
m4 (g)	33,3348
m5 (g)	34,2789
Teor de perda ao fogo(%)	5,78%

Fonte: Autor (2023).

- Índice de desempenho;

Tabela 5 – Valores do ensaio de índice de desempenho.

Dados	
Média traço A (Mpa)	4,52
Média traço B (Mpa)	3,664
Índice desempenho	81%

Fonte: Autor (2023).

- Granulometria dos agregados;

Tabela 6 – Valores do ensaio de granulometria do agregado miúdo

Abertura (microm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
4000	10,5	2,14	2,14	
3350	4,5	0,92	3,06	96,94
2360	8,5	1,73	4,79	95,21
600	71,5	14,59	19,38	80,62
425	138,7	28,29	47,67	52,33
300	154,5	31,52	79,19	20,81
75	100,4	20,48	99,67	0,33
FUNDOS	1,6	0,33	100,00	0,00
MASSA INICIAL	490,2	100,00	-	-
TOTAL	490,2			

Fonte: Autor (2023).

Tabela 7 – Valores do ensaio de granulometria do agregado graúdo.

Peneira (mesh)	Abertura (microm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
			0,00	0,00	
	50	0	0,00	0,00	
4	37,5	0	0,00	0,00	100,00
8	25	0	0,00	0,00	100,00
16	19	232	2,44	2,44	97,56
30	12,5	6284	66,15	68,59	31,41
50	9,5	1758	18,51	87,09	12,91
100	4,75	1125	11,84	98,94	1,06
FUNDOS		90	0,95	99,88	0,12
MASSA INICIAL		9500	100,00	-	-
TOTAL		9489	97,44		

Fonte: Autor (2023).

➤ Massa específica;

Tabela 8 – Valores do ensaio de massa específica

ENSAIO MASSA ESPECÍFICA AGREGADO MIÚDO			
Repetições	R1	R2	MÉDIA
Leitura	389	389	389
Massa específica areia (g/cm ³)	2,65	2,65	2,65

diferença deve ser =< 0,05

Fonte: Autor (2023).

➤ Massa unitária.

Tabela 9 – Valores do ensaio de massa unitária

ENSAIO MASSA UNITÁRIA AGREGADO MIÚDO			
Repetição	R1	R2	
Massa específica água (29,4°) (kg/m ³)	995,83	995,83	
Massa de água (kg)	19,44	19,45	
Massa agregado (kg)	31,55	30,81	
Massa recipiente vazio (kg)	7,81	7,81	
Massa do recipiente + agregado (kg)	39,37	38,62	
Volume recipiente (m ³)	0,02	0,02	MÉDIA
Massa unitária (kg/m ³)	1616,74	1577,36	1597,05

Fonte: Autor (2023).

Tabela 10 – Valores do ensaio de massa unitária

ENSAIO MASSA UNITÁRIA AGREGADO GRAUDO			
Repetição	R1	R2	
Massa específica água (29,4°) (kg/m³)	995,83	995,83	
Massa de água (kg)	19,68	19,33	
Massa agregado (kg)	31,36	31,49	
Massa recipiente vazio (kg)	7,81	7,81	
Massa do recipiente + agregado (kg)	39,17	39,30	
Volume recipiente (m³)	0,02	0,02	MÉDIA
Massa unitária (kg/m³)	1586,70	1622,55	1604,62

Fonte: Autor (2023).

4.2. Comportamento mecânico: resistência à compressão

Quando se trata de comportamento mecânico em relação a resistência à compressão, os resultados dos ensaios do planejamento experimental pelo do o método Plackett e Burman (PB), estão na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados do ensaio de resistência à compressão

Ordem experimental	Fator	Resposta	Desvio padrão	Média da resistência a compressão do traço referência
	% de cinza substituída	Média da resistência à compressão em Mpa (Y1)	Desvio padrão dos resultados dos 6 corpos de prova	
1	4	31,7	1,67	20,7
2	2	27,3	1,79	
3	0	17,7	2,2	
4	2	18,5	1,01	
5	2	18,8	1,81	
6	4	21,6	1,9	
7	4	24,6	1,22	
8	6	23,2	2,41	

* Média da resistência à compressão, em MPa, do traço de referência, aos 28 dias

Fonte: Autor (2023).

Ao analisar a Tabela 11, pode-se observar que a maior resistência mecânica à compressão, com significância estatística, foi alcançada no ensaio 01, com uma substituição de 4% de cinzas pelo agregado miúdo e um tempo de cura úmida por imersão de 28 dias. O resultado médio obtido foi de 31,7 MPa. Por outro lado, o ensaio 03 apresentou a menor resistência mecânica à compressão, com a utilização de 0% de cinzas e um tempo de cura úmida por imersão de 28 dias. O resultado médio registrado foi de 17,7 MPa.

Na mesma tabela, foi incluído um valor de resistência mecânica à compressão para um traço de referência, no qual nenhuma substituição do aglomerante cimento foi realizada. Esse valor foi obtido seguindo os mesmos procedimentos dos demais ensaios e registrou 20,7 MPa. Ao comparar com o traço de referência, pode-se observar que os resultados não foram tão satisfatórios. No entanto, quando comparados com a classe de concreto definida pela NBR 8953 - Concreto para fins estruturais, para a classe de agressividade I, que exige uma resistência mínima de 20 MPa para Concreto Armado (CA), os resultados obtidos apresentaram melhor desempenho.

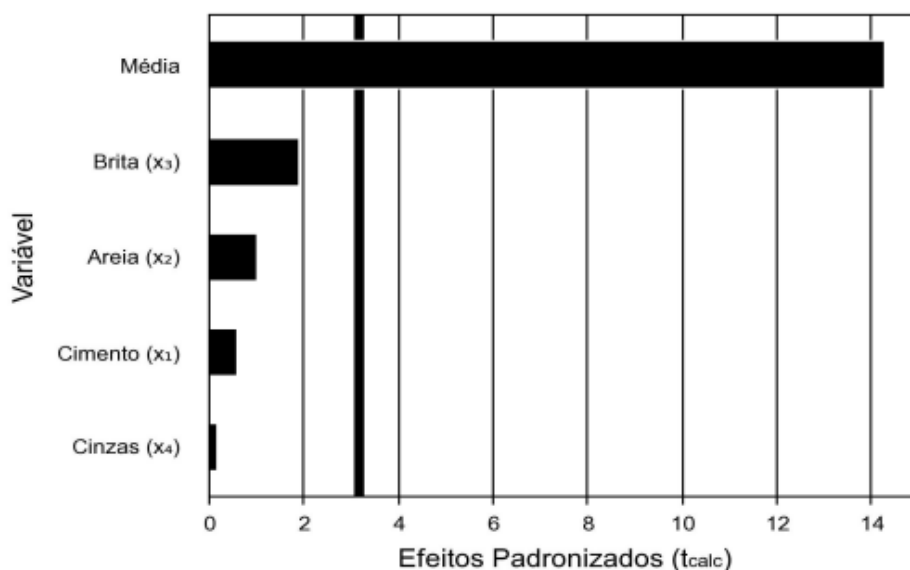
Quadro 1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 8953 (2023)

Em seguida, com os resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística considerando a variável de substituição de cinzas pelo cimento, em percentagem. Essa análise levou à geração de diagramas e gráficos, incluindo o Diagrama de Pareto, com 5% de incerteza e 95% de confiança. A Figura 25 ilustra que x1, x2, x3 e x4 não apresentaram significância estatística, evidenciando que seus valores estão abaixo da linha de significância.

Figura 25 – Diagrama de Pareto para o ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autor (2023).

Uma forma adicional de realizar uma análise estatística é por meio da avaliação dos coeficientes de regressão, especificamente o p-valor. O objetivo é inferir se um efeito é estatisticamente significativo ou não. Para considerar um efeito como significativo, o p-valor deve ser menor que 0,005. Essa análise pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 12 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de resistência à compressão

Fator	Coeficiente	erro padrão	t calculado	p-valor
Média	22,92	1,61	14,28	0,0007
X1	1,9	3,21	0,59	0,5957
x2	-3,3	3,21	-1,03	0,3797
X3	-6,05	3,21	-1,88	0,1561
X4	-0,55	3,21	-0,17	0,8749

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 12, são apresentados os coeficientes com um nível de significância de 95%. Observa-se que esses coeficientes possuem valores elevados, indicando que não são estatisticamente significativos. Essa constatação está em consonância com o Diagrama de Pareto, que evidencia que os resultados obtidos para teores de cinzas entre 2 % e 6% não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre si.

Portanto, na prática, é possível trabalhar com qualquer percentagem dentro do intervalo de substituição de cinzas, pois os valores obtidos são iguais (resposta positiva). Isso significa que, em vez de trabalhar com 0% de substituição, pode-se trabalhar com 6%, resultando em economia nos processos. Isso resulta em uma maior economia, tanto financeiramente quanto na redução do impacto ambiental.

Para fins ilustrativos, supondo a utilização de 1000 kg de cimento ou de outro agregado em um concreto estrutural, uma substituição parcial de 6% por cinzas de bagaço de cana de açúcar resultaria em 60 kg de cinzas. Isso representa uma economia de aproximadamente um saco de cimento, tanto em termos financeiros quanto na redução de impactos ambientais.

4.3. Comportamento físico: abatimento de tronco de cone – Slump Test

Os resultados dos ensaios do método Plackett e Burmam (PB), em relação ao comportamento físico do abatimento de tronco de cone (Slump test), são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados do ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test

Ordem experimental	Fator	Resposta	Média da resistência a compressão do traço referência
	% de cinza substituída	Abatimento do tronco de cone em cm (Y2)	
1	4	24	8
2	2	2	
3	0	21	
4	2	3	
5	2	17	
6	4	9	
7	4	7	
8	6	5	

* Abatimento do tronco de cone – Slump test, em cm, do traço de referência

Fonte: Autor (2023).

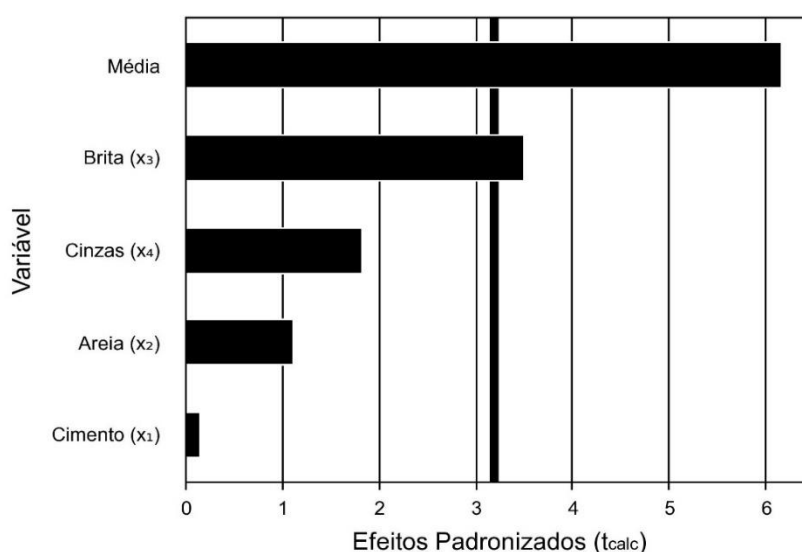
Na Tabela 13, é possível observar que o ensaio 01 apresentou o maior valor de abatimento de tronco de cone do concreto, com 4% de substituição de cinzas por agregado miúdo, resultando em 24 cm. Por outro lado, o ensaio 02 apresentou o menor valor de abatimento de tronco de cone, com 2% de substituição de cinzas pelo agregado gráudo, resultando em 2 cm. Esses resultados foram identificados com significância estatística.

Na mesma tabela, com o objetivo de facilitar a compreensão dos resultados, foi incluído um valor que representa o comportamento físico de abatimento de tronco de cone em um traço de referência. Esse traço de referência não possui qualquer substituição do aglomerante cimento no concreto. O valor foi obtido seguindo os mesmos procedimentos dos demais ensaios, resultando em 8,0 cm, conforme a normativa. Ao comparar esse valor com o traço de referência, pode-se observar que o resultado não teve um padrão em relação ao percentual de cinza tendo em vista que a utilização da cinza afeta devido ser uma matéria seca e possuir um módulo de finura elevado.

Com base nos resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística considerando a variável de substituição de cinzas pelo cimento e agregados em percentagem. Essa análise envolveu a criação de diagramas e gráficos, como o Diagrama de Pareto, com um nível de incerteza de 5% e um nível de confiança de 95%.

Na Figura 26, o Diagrama de Pareto foi utilizado para mostrar os resultados. O valor x3 demonstrou significância estatística, sendo evidenciado acima da linha de significância. Por outro lado, os valores x1, x2 e x4 não obtiveram significância estatística, sendo evidenciados abaixo da linha de significância.

Figura 26 – Diagrama de Pareto para o ensaio de abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor (2023).

Ao analisar o Diagrama de Pareto, foi observado um resultado mais considerável e favorável, destacando a variável x3 como significativa estatisticamente. Especificamente, ao aumentar a proporção do teor de cinzas em substituição ao agregado graúdo de 2% até 6%, houve um aumento nos valores do teste de abatimento (Slump test). No entanto, apesar dessa relação estatisticamente positiva, na prática o resultado foi negativo. Isso ocorre porque, à medida que o valor do abatimento aumenta, foi percebida uma redução na resistência mecânica à compressão do concreto. Portanto, embora estatisticamente haja um efeito positivo, em termos práticos, o aumento do abatimento resulta em uma diminuição na resistência mecânica do concreto.

A Tabela 14 exibe os coeficientes com um nível de significância de 90%, revelando valores que ainda são considerados altos, apesar do valor significativo de x3 observado no Diagrama de Pareto. No entanto, esses coeficientes não atingem um nível de significância estatística, como demonstrado no Diagrama de Pareto. Isso indica que, embora haja uma aparente relação entre as variáveis, essa relação não é estatisticamente significativa de acordo com os testes realizados.

Tabela 14 – Coeficientes de Regressão, para ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test

Fator	Coeficiente	erro padrão	t calculado	p-valor
Média	11	1,79	6,16	0,0086
X1	-0,5	3,57	-0,14	0,8975
x2	4	3,57	1,12	0,3442
X3	12,5	3,57	3,5	0,0395
X4	6,5	3,57	1,82	0,01663

Fonte: Autor (2023).

Na prática, é possível trabalhar com as percentagens de substituição de cinzas dentro do intervalo permitido. Valores dentro desse intervalo são considerados positivos, já que permitem uma substituição maior de cimento e agregados por cinzas, resultando em economia nos processos de construção. Por exemplo, ao invés de trabalhar com uma substituição de apenas 2%, é possível trabalhar com até 6%, ainda mantendo o abatimento de tronco de cone permitido pela norma de até 10 cm tendo em vista que o ensaio 7 teve uma boa resistência a compressão e um *slump* de 7 cm.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que, do ponto de vista estatístico, os resultados relacionados ao desempenho físico de abatimento de tronco de cone e à resistência mecânica à compressão não foram altamente significativos. No entanto, quando analisados sob uma perspectiva prática, os resultados foram positivos. Isso indica que a utilização de cinzas de bagaço de cana de açúcar como substituição parcial no concreto pode ser uma alternativa benéfica em termos de sustentabilidade, tanto em relação à redução da quantidade de cimento consumido quanto ao uso técnico do concreto.

Além disso, é importante destacar que o concreto com adição de cinzas de bagaço de cana de açúcar pode ter um amplo espaço no mercado da construção civil, devido aos seus benefícios ambientais e técnicos. Essa abordagem sustentável pode contribuir para a redução dos impactos ambientais da indústria da construção, ao mesmo tempo em que oferece uma opção viável para o setor.

Os ensaios iniciais de caracterização físico-química dos materiais apresentaram valores positivos e congruentes, indicando uma boa qualidade dos materiais utilizados. No entanto, houve algumas diferenças nos resultados quando se tratou do desempenho físico e mecânico. Apesar disso, esses resultados ainda são relevantes para a indústria da construção civil.

O comportamento mecânico à compressão do concreto foi significativamente influenciado pela presença das cinzas, em comparação com os corpos-de-prova de referência. Destaca-se que o ensaio 01, com 4% de substituição de cinzas por agregado miúdo um período de cura úmida por imersão de 28 dias, apresentou uma resistência média à compressão de 31,7 MPa, indicando uma maior resistência. Por outro lado, o ensaio 04 e 05, com 2% de substituição de cinzas por cimento e o mesmo período de cura, apresentou uma resistência média à compressão de 18,5 e 18,8 MPa, sendo os menores entre os ensaios realizados.

Ao comparar esses resultados com o traço de referência, que obteve uma resistência de 20,7 MPa, é possível constatar que os resultados foram alcançados de forma mediana. No entanto, ao comparar com as especificações da normativa, em particular com a classe de concreto definida na NBR 8953 para fins estruturais, na qual a resistência mínima exigida para concreto armado (CA) de classe de agressividade I é de 20 MPa, os resultados obtidos foram melhores.

Isso indica que, apesar das variações nos resultados, a adição das cinzas de bagaço de cana de açúcar proporcionou melhorias na resistência mecânica à compressão do concreto, atendendo aos requisitos da normativa em relação à resistência mínima exigida para aplicações estruturais.

O comportamento físico do abatimento de tronco de cone, avaliado pelo teste de Slump, apresentou resultados estatisticamente insignificativos. O ensaio 01, com 4% de substituição de cinzas por agregado miúdo, registrou o maior valor de abatimento de tronco de cone, atingindo 24 cm. Em contraste, o ensaio 02, com 2% de substituição de cinzas por cimento, apresentou o menor valor de abatimento de tronco de cone, com 2 cm.

Ao comparar esses resultados com o traço de referência, observa-se que os resultados foram bastante inconstantes. No entanto, conforme aumenta a proporção de cinzas em substituição ao cimento no concreto, ocorre uma diminuição na resistência à compressão.

Os objetivos específicos deste trabalho foram alcançados e analisados com base no comportamento físico e mecânico do concreto quando adicionadas as cinzas de bagaço de cana de açúcar. Essas cinzas foram utilizadas como matéria-prima proveniente da queima do bagaço de cana, sendo parcialmente substituídas pelo cimento Portland e pelos agregados no concreto. Embora os resultados não tenham apresentado uma relevância estatística significativa, eles demonstraram uma boa relevância na indústria da construção civil, especialmente em relação ao concreto estrutural, que alcançou resistências satisfatórias.

Além disso, essa abordagem sustentável do uso das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como adição no concreto proporcionou benefícios positivos, não apenas no aspecto ambiental, mas também no aspecto financeiro. Comparado aos valores normativos de referência, essa alternativa mostrou-se vantajosa em termos de resistência e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP): **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991b. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019. p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5739**: Concreto Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991a. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-7225**: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.956-1**: Sílica ativa para concreto - Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.956-2**: Sílica ativa para concreto - Parte 2: Determinação do teor de sílica ativa reativa em material reagente de sílica ativa e/ou sílica ativa desativada. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.956-3**: Sílica ativa para concreto – Parte 3: Determinação da massa específica e massa unitária de sílica ativa. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.956-4**: Sílica ativa para concreto – Parte 4: Requisitos e métodos de ensaio para sílica ativa a ser adicionada ao concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ANDRESSA, Gobbi. **Atividade pozolânica de adições minerais pelas NBR 5751/2012 e NBR 5752/2012: uma análise crítica a partir de métodos complementares**. 2014. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Materiais e Estruturas, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2014. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/147517888.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

COLLETTA, Denise D. **Pesquisadores transformam resto de cana em concreto**. 2008. 1 p. Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT144446-17770,00.html>>. Acesso em: 02 out. 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar** – Safra.

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

DIAS, R. V.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. **Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto com Adição da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar**. 2008. Projeto de Iniciação Científica. Universidade Estadual de Maringá – UEM. Departamento de Engenharia Civil.

FREITAS, E. de S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Rio de

HELENE, P.; TERZIAN, P. R. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, PINI. 1995

LIMA, S. A. et al., “**Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo**”, Revista Tecnológica, v. 18, pp. 87-97, 2009.

MACEDO, P. C. et al., “**revisão bibliográfica sobre o uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar na construção civil**”, In: Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, 51, Curitiba, 2009

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI. 1994. 573p.

NEVILL, A.M., BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª edição. Bookman. 2013.

NEVILL, A.M., **Propriedades do concreto**. 5ª edição. Bookman. 2016.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. 2006. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RECENA, Fernando A. Piazza; SERRA, Geraldo G. **Dosagem empírica e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: EdiPucrs, 2002. 166 p. MEHTA, P. K. MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas SP, 2008.

SOTO, Rafael C. **Dosagem de concreto – método aci**. 2018. 4 p. Disponível em: <<https://rsotoeng.wordpress.com/2018/09/25/dosagem-de-concreto-metodo-aci/>>. Acesso em: 22 set. 2022.

SOUZA, G. N.; FORMAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. **Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-açúcar**. 2007. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Anais... Bento Gonçalves, Brasil: IBRACON. CD- ROM. Janeiro, 2005.

Tocantins é responsável por 75% da produção de cana-de-açúcar do Norte. 2015. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/tocantins-e-responsavel-por-75-da-producao-de-cana-de-acucar-do-norte_215900.html>. Acesso em: 22 set. 2022.

VANDERLEI, R. D. PEINADO, H.S.; NAGANO, M.F.; DAL MOLIN FILHO, R.G. **Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, n. 1, mar. 2014.