



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DECEN
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JULIO CESAR GALDINO SABINO

EFEITO DA ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO NO CONCRETO

PAU DOS FERROS – RN

2024

JULIO CESAR GALDINO SABINO

**ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO NO
CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. José Mariano da Silva
Neto

Coorientadora: Profa. Dr^a. Ádla Kellen
Dionisio Sousa

PAU DOS FERROS - RN
2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S116e Sabino, Júlio Cesar Galdino.
Efeito da adição do bagaço do sorgo sacarino no
concreto / Júlio Cesar Galdino Sabino. - 2024.
36 f. : il.

Orientador: José Mariano da Silva Neto.
Coorientadora: Ádla Kellen Dionisio Sousa.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2024.

1. bagaço do sorgo sacarino. 2. concreto. 3.
propriedades mecânicas. 4. construção civil. I. da
Silva Neto, José Mariano, orient. II. Sousa, Ádla
Kellen Dionisio , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JULIO CESAR GALDINO SABINO

ESTUDO DO EFEITO DA ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO NO CONCRETO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Defendida em 12/04/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MARIANO DA SILVA NETO**
Data: 06/05/2024 15:48:28-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. José Mariano da Silva Neto (UFERSA)
Presidente da banca examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ADLA KELLEN DIONISIO SOUSA**
Data: 06/05/2024 16:07:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Ádla Kellen Dionísio Sousa (UFERSA)
1ª Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA SIQUEIRA LIMA**
Data: 06/05/2024 18:22:26-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Fernanda Siqueira Lima (IFRN)
2ª Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força nos momentos mais difíceis, guiando-me com coragem em cada passo da minha jornada. Aos que estiveram ao meu lado, transmitindo apoio e dedicação, sou grato.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram, independentemente de qualquer coisa.

Aos meus amigos que estiveram presentes, compartilhando e ajudando em minha jornada.

Ao meu orientador Dr. José Mariano as Silva Neto, pela paciência, dedicação, ajuda e por todos os conhecimentos repassados.

A professora Ádla Kellen Dionísio Sousa, pela ajuda e dedicação.

E aos outros professores da universidade que contribuíram para minha formação acadêmica.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

- Charles Chaplin

RESUMO

O concreto é amplamente empregado em todo o mundo devido à sua elevada durabilidade quando se compara a outros sistemas construtivos, como alvenaria e madeira. Essa aplicabilidade é justificada pela elevada resistência que ele possui com relação à compressão e desgaste mecânico. Diversos estudos têm sido desenvolvidos no intuito de aprimorar essas propriedades mecânicas, reduzir custos e fornecer um destino a esses resíduos com a adição de materiais alternativos como fibras, resíduos agroindustriais, carvão ativado e cinzas produzidos a partir desses resíduos. Dessa forma o presente trabalho teve como objetivo estudar a adição do bagaço do sorgo sacarino na moldagem do concreto. Nesse sentido, inicialmente foi realizada a obtenção do bagaço do sorgo sacarino com a extração do caldo, lavagem, secagem e trituração. À composição de um concreto referência foi adicionado 3% (m/m) de bagaço do sorgo sacarino seco e realizou-se os ensaios de resistência a compressão e resistência à tração por compressão diametral para avaliar a referida adição. Ao avaliar e comparar os dados obtidos entre o concreto referência e o concreto com o bagaço do sorgo sacarino, observou-se que com 7 e 28 dias houve uma redução significativa das propriedades mecânicas analisadas. Com os resultados obtidos, foi possível constatar que estudos mais aprofundados devem ser realizados objetivando melhorar as propriedades do concreto, fazendo com que o uso do bagaço de sorgo sacarino seja viável nas indústrias da construção civil.

Palavras-chave: bagaço do sorgo sacarino; concreto; propriedades mecânicas; construção civil.

ABSTRACT

Concrete is widely used throughout the world due to its high durability when compared to other construction systems, such as masonry and wood. This applicability is justified by its high resistance to compression and mechanical wear. Several studies have been developed with the aim of improving these mechanical properties, reducing costs and providing a destination for this waste with the addition of alternative materials such as fibers, agro-industrial waste, activated carbon and ash produced from this waste. Therefore, the present work aimed to study the addition of sweet sorghum bagasse in concrete molding. In this sense, sweet sorghum bagasse was initially obtained by extracting the juice, washing, drying and crushing. 3% (m/m) of dry sweet sorghum bagasse was added to the composition of a reference concrete and compressive strength and tensile strength tests by diametrical compression were carried out to evaluate said addition. When evaluating and comparing the data obtained between the reference concrete and the concrete with sweet sorghum bagasse, it was observed that after 7 and 28 days there was a significant reduction in the analyzed mechanical properties. With the results obtained, it was possible to verify that more in-depth studies must be carried out with the aim of improving the properties of concrete, making the use of sweet sorghum bagasse viable in the construction industry.

Keywords: sweet sorghum bagasse; concrete; mechanical properties; civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa	19
Figura 2 - Obtenção do bagaço do sorgo sacarino	20
Figura 3 - Agregados miúdos (a) e graúdos (b)	21
Figura 4 - Análise granulométrica do agregado miúdo (a) e do graúdo (b)	22
Figura 5 - Corpos de prova.....	24
Figura 6 - Slump test	24
Figura 7 - Resistência à compressão (a) e resistência à tração por compressão diametral (b).....	25
Figura 8 - Abatimento do concreto	29
Figura 9 - Corpos de prova com bagaço do sorgo	30
Figura 10 - Resistência à compressão.....	31
Figura 11 - Resistência à tração por compressão diametral	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do cimento CP V ARI	21
Tabela 2 - Composição química	21
Tabela 3 - Traço do concreto referência e com adição do bagaço do sorgo sacarino	23
Tabela 4 - Características dos agregados	28
Tabela 5 - Determinação da absorção de água por imersão	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO TEÓRICA	15
3.1	CONCRETO E SEUS COMPONENTES	15
3.2	ADITIVOS.....	16
3.3	ADIÇÃO DE RESÍDUOS EM CONCRETOS.....	16
3.4	BAGAÇO DO SORGO SACARINO	18
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1	OBTENÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO.....	20
4.2	CIMENTO.....	20
4.3	AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS	21
4.4	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	21
4.5	DOSAGEM DO CONCRETO REFERÊNCIA E DO CONCRETO COM ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO	22
4.6	SLUMP TEST (ABATIMENTO)	23
4.7	MOLDAGEM DO CONCRETO REFERÊNCIA E DO CONCRETO COM ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO	24
4.8	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	25
4.9	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	28
5.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO	28
5.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	31
6	CONCLUSÕES.....	34
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais empregado na construção civil e consiste principalmente em uma mistura de pelo menos um aglomerante, como o cimento, água, pedra e areia, juntamente com outros materiais opcionais, conhecidos como aditivos. O concreto é amplamente utilizado devido à sua grande resistência, sendo capaz de suportar toda a estrutura da edificação. Com sua grande variedade de tipos, como concreto armado, concreto usinado, concreto protendido, concreto convencional, entre outros, o concreto garante eficácia e importância no meio da construção civil, podendo desempenhar diferentes funções, tais como para isolamento acústico, isolamento térmico, estrutural, entre outros, dependendo da necessidade exposta.

Diante disso, diversos estudos vêm sendo realizados no intuito de adicionar resíduos ou materiais derivados destes no intuito de melhorar as propriedades mecânicas do concreto, reduzir os custos. Sabe-se que ao longo dos tempos, a questão dos resíduos agroindustriais tem sido um desafio para a humanidade. Nos primórdios, quando a sociedade era nômade e havia abundância de espaço e pouca população, os problemas relacionados aos resíduos eram menos evidentes. No entanto, com a sedentarização de tribos, vilas e cidades, a concentração de pessoas trouxe consigo questões ambientais complexas. Atrelado a esse fato, a falta de conscientização e práticas feitas de gestão desses resíduos impactam o meio ambiente e a qualidade de vida das comunidades.

Na literatura é possível encontrar trabalhos que associam essa temática, como o de Sampaio *et al.* (2014), que analisou a influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos, em que os resultados mostraram que o bagaço da cana-de-açúcar influenciou no comportamento mecânico dos concretos resultantes. Todos os concretos com adição desse material apresentaram uma redução de no mínimo 10% nas propriedades relacionadas à permeabilidade e um incremento na resistência à compressão de até 20% em relação ao concreto padrão aos 28 dias. Mostrando que o seu uso em adição ao concreto se mostrou uma opção bastante viável na melhoria das propriedades mecânicas do concreto para uso em construção civil em geral e uma destinação adequada ao subproduto agroindustrial.

No estudo de Ávila *et al.* (2016), sobre a influência da substituição de cimento por cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em concretos, foi feita a substituição de

5%, 10%, 15% e 20 % do cimento. No ensaio de resistência à compressão, observou-se que, quanto maior a quantidade de CBC substituído, mais baixa se torna a resistência mecânica dele.

No trabalho de Oliveira (2021), adicionando cinzas brutas de bagaço de cana-de-açúcar como material substitutivo no concreto, substituindo o cimento Portland por cinzas brutas, nos teores de 5, 10 e 15%, verificou que o ganho de resistência à compressão médio foi de cerca de 1, 25 e 9%, o ganho de resistência à tração médio foi de 3, 11 e 8%, respectivamente. O módulo de elasticidade para estes concretos foi cerca de 20% menor que o apresentado pelo concreto de referência, no entanto foi de 15 à 40% maior que os valores estimados seguindo metodologias propostas por normas estruturais.

No trabalho de Almeida (2023), estudando o efeito da adição de fibra vegetal nas propriedades mecânicas do concreto, verificou que o concreto com adição de fibra apresentou resistência à tração por compressão diametral superior ao concreto referência apenas nos primeiros dias de idade, enquanto a resistência à compressão permaneceu superior no concreto referência em todas as idades verificadas.

Nesse trabalho propõem o estudo do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), membro da família das gramíneas, é nativo do continente africano. Possui ciclo anual, com colmos eretos e suculentos que apresentam elevados teores de açúcar. Alcança uma altura média de 2,5 metros e é conhecido por sua capacidade de adaptação a diversos ambientes de cultivo, especialmente em regiões com alta temperatura e deficiência hídrica, condições que são desfavoráveis para a maioria dos grãos produzidos (Borém, 2005; Santos et al., 2005).

O bagaço proveniente do sorgo sacarino constitui uma fonte rica em celulose (um polímero de glicose), hemicelulose (um conjunto de unidades de pentoses e hexoses ligadas entre si) e lignina (um polímero de fenóis). Essas componentes, quando isoladas, têm a capacidade de gerar diversos compostos de interesse comercial, tais como açúcares, biocombustíveis, produtos químicos, entre outros. Além da sua composição vantajosa, o bagaço do sorgo se destaca pelo seu baixo custo, o que implica que sua utilização pode resultar em um aumento na produtividade por unidade de área cultivada com sorgo sacarino (Ratnavathi et al., 2011).

Dessa forma o objetivo do presente projeto é analisar a capacidade de influência do bagaço do sorgo sacarino nas propriedades mecânicas no concreto, observando algumas propriedades mecânicas após a sua incorporação ao concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência do bagaço do sorgo sacarino nas propriedades mecânicas no concreto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o agregado miúdo e graúdo;
- Caracterizar o bagaço do sorgo sacarino;
- Produzir o concreto;
- Testar a resistência mecânica do concreto.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 CONCRETO E SEUS COMPONENTES

O concreto é um composto utilizado na construção que resulta da combinação adequada de aglomerantes, agregados e água. É o material de construção mais amplamente empregado em todo o mundo, com um consumo anual de aproximadamente uma tonelada por habitante. Dentro dos materiais utilizados pela humanidade, o concreto é superado apenas pela água (Pinheiro, 2007). O concreto é produzido pela combinação precisa de cimento, areia, brita e água, juntamente com aditivos para melhorar suas propriedades específicas, e adições que podem modificar suas características originais (Bunder, 2016).

De acordo com Bauer (2018), o concreto fresco consiste em uma mistura onde os agregados estão envolvidos por pasta de cimento (água e cimento) e possui espaços preenchidos por ar, conhecidos como matriz, sendo o ar distribuído por bolhas na pasta, em espaços interconectados, determinados pela predominância dessas formas de apresentação. Para obter um concreto impermeável, é necessário adicionar aditivos ou adições. Além disso, é essencial estudar a melhor proporção entre agregados, cimento e água, a fim de eliminar vazios sem comprometer a resistência.

Para maximizar a eficiência do concreto, é crucial controlar diversas propriedades importantes tanto no estado fresco quanto no endurecido, pois essas características impactam diretamente na resistência, qualidade e durabilidade das peças de concreto (Santos et al., 2023).

O cimento natural é o resultado da calcinação de rochas calcárias argilosas a temperaturas abaixo do ponto de fusão, aproximadamente 1000 °C. Quando esse material tem um tempo de resistência rápido, é chamado erroneamente de cimento romano, o que não é seguro, como se percebe. Tais produtos têm hoje apenas relevância histórica, pois já não são produzidos em nenhum lugar (Bauer, 2019). O cimento é composto de clínquer e adições, sendo que o clínquer é um produto granulado originado da queima de constituintes minerais até sua fusão parcial ou completa. Após ser moído, torna-se um produto com propriedades hidráulicas. Por sua vez, o clínquer Portland é composto principalmente por silicatos e aluminatos de cálcio hidráulico, os quais são obtidos através da queima parcial de uma mistura concentrada de calcário e argila, proporcionalmente. (Bauer, 2019). O Cimento Portland é um aglomerante hidráulico artificial feito através da

engenharia do cimento Portland. Geralmente, é adicionado um ou mais tipos de sulfato de cálcio, conforme especificado pela ABNT NBR 11172:1990.

O agregado miúdo é caracterizado como sendo areia de origem natural, proveniente da trituração de rochas retidas, ou uma combinação de ambas, cujos grãos têm a capacidade de passar pela peneira ABNT de 4,8 mm, enquanto são retidos na peneira ABNT de 0,075 mm (Valverde, 2001).

O agregado graúdo é descrito como pedregulho ou brita originado de rochas resistentes, ou uma combinação de ambos, cujos grãos têm a capacidade de passar por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm, enquanto são retidos na peneira ABNT de 4,8 milímetros (Valverde, 2001).

A água doce é definida por ter uma baixa concentração de sais e minerais distribuídos, enquanto a "água pura" refere-se à água doce que possui uma quantidade ainda menor de sais distribuídos. Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), a água potável contém aproximadamente 500 mg de minerais dissolvidos por litro de água. Águas com baixas quantidades de matéria dissolvida podem corroer superficialmente o concreto devido à sua alta capacidade de dissolução. Nesse contexto, o processo de interferência causado pela água ocorre por meio da lixiviação (Bauer, 2019), na qual é um processo pelo qual substâncias solúveis são lavadas ou extraídas de um sólido, como solo, resíduos sólidos ou rochas, por um solvente líquido.

3.2 ADITIVOS

Aditivo é todo produto que não é essencial para a composição e propósito do concreto. Ao ser adicionado à betoneira, seja imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades mínimas e devidamente homogeneizadas, ele promove ou intensifica determinadas características (Bauer, 2019).

3.3 ADIÇÃO DE RESÍDUOS EM CONCRETOS

Na construção civil, há uma crescente utilização de materiais e concretos especiais. Esses concretos, além dos componentes tradicionais como agregados naturais, aglomerante e água, incorporam insumos especiais como aditivos, materiais alternativos e subprodutos. Esses elementos possuem propriedades específicas que geralmente complementam, reforçam ou melhoram as características do concreto conforme necessário para sua finalidade.

Considerando a fragilidade natural do concreto, um dos estudos nessa vertente é o reforço da matriz cimentícia com fibras, resíduos da construção civil, PVC, papel Kraft que são consideradas estratégias eficazes para aumentar a resistência à tração. Esses reforços retardam a propagação de fissuras e aumenta a tenacidade do material, permitindo uma maior deformação após atingir a tensão máxima, o que resulta em um concreto mais dúctil (Abitante; Lisboa, 2017). Além disso, o uso de fibras vegetais para reforço é uma opção de baixo custo e com resultados satisfatórios, exigindo também baixo consumo energético em sua produção.

No estudo de Ruppenthal (2018), sobre análise do desempenho mecânico do concreto convencional com adição de resíduo de vidro como substituição parcial do cimento, mostraram que o traço que melhor se equiparou com o traço referência em todos os ensaios, bem como atingiu os 30MPa de resistência à compressão, foi o traço com teor de 10% de substituição do cimento pelo resíduo de vidro.

No estudo de Costa (2020), sobre análise das propriedades mecânicas do concreto com adição dos resíduos de PVC, observou-se que ocorreu perda de trabalhabilidade principalmente na porcentagem de 30%, a resistência à compressão apresentou valores inferiores a amostra de referência, quase 50% abaixo. Esses dados mostraram que, nesse estudo, a substituição dos agregados pelo PVC não foi considerada viável, necessitando de mais estudos.

No trabalho de Ferraz (2020), sobre a caracterização do comportamento mecânico do concreto com adição de resíduos de construção e demolição, demonstrou que os corpos de prova com adição de 75% de resíduos de construção e demolição no ensaio de compressão simples obtiveram resultados superiores aos corpos de prova de referência; e os corpos de prova com adição de 25% de RCD obtiveram resultados superiores ao material de referência no ensaio de tração por compressão diametral.

Gonçalves *et al.* (2022) ao estudarem sobre a avaliação das propriedades físicas e mecânicas do concreto com adição de resíduo da cerâmica vermelha, mostraram que a porcentagem de substituição de 5% de resíduos da cerâmica vermelha foi o que mais se enquadrou dentro dos parâmetros relacionados à trabalhabilidade. Já em relação à resistência de compressão axial a porcentagem de substituição de 20% de resíduos da cerâmica vermelha foi a que mais demonstrou aumento na resistência, sendo assim uma alternativa adequada para diminuir a grande quantidade de resíduos descartados pela construção civil.

No trabalho de Abadia *et al.* (2022), sobre avaliação das propriedades físicas e

mecânicas do concreto com adição de papel kraft, mostraram que, no ensaio de *Slump test*, apenas o concreto com adição de 0,5% obteve resultado satisfatório com um adensamento de 7,4 cm e nos resultados obtidos pelo teste de resistência à compressão axial, apenas o concreto com adição de 0,5% de fibras de papel Kraft, obteve a resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias, tendo uma performance bem próxima do referência, o que viabiliza sua utilização como agregado no concreto, visando uma obra mais sustentável e promovendo uma destinação sustentável ao resíduo gerado dos sacos de cimento.

3.4 BAGAÇO DO SORGO SACARINO

O sorgo sacarino surge como uma matéria-prima altamente promissora para a produção de produtos químicos, destacando-se tanto em termos fotossintéticos quanto na velocidade de maturação quando comparado à cana-de-açúcar. Conforme observado por Nóbile & Nunes (2014), uma das vantagens do seu cultivo de sorgo é que requer uma quantidade menor de água, resultando em um tempo de cultivo mais curto, além de proporcionar uma significativa oportunidade para uma utilização mais eficaz da terra.

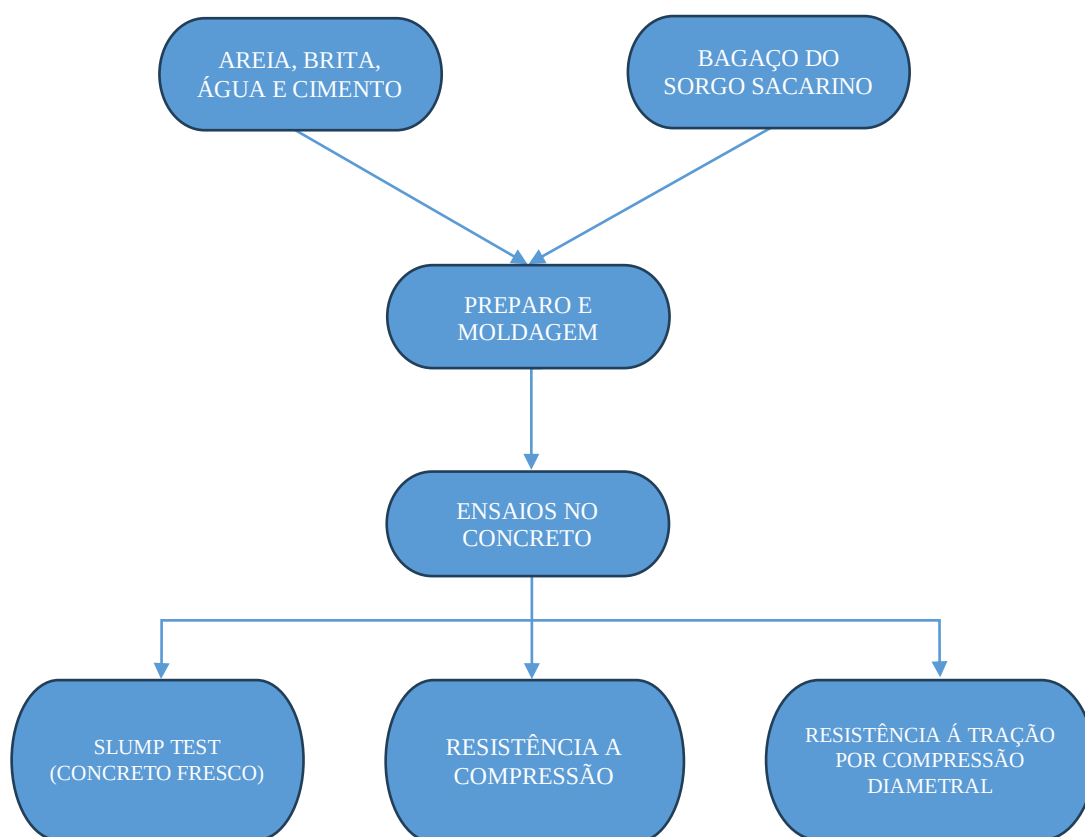
O bagaço proveniente do sorgo sacarino constitui uma fonte rica em celulose (um polímero de glicose), hemicelulose (um conjunto de unidades de pentoses e hexoses ligadas entre si) e lignina (um polímero de fenóis). Essas componentes, quando isoladas, têm a capacidade de gerar diversos compostos de interesse comercial. Além da sua composição vantajosa, o bagaço do sorgo se destaca pelo seu baixo custo, o que implica que sua utilização pode resultar em um aumento na produtividade por unidade de área cultivada com sorgo sacarino (Ratnavathi et al., 2011).

A principal aplicação da biomassa proveniente do bagaço do sorgo sacarino é a extração e aproveitamento da celulose, bem como o seu aproveitamento como bioadsorvente. Conforme destacado por Saini et al. (2014), a celulose é um polímero composto essencialmente por unidades de glicose, as quais podem ser submetidas a processos de fermentação e conversão bioquímica em etanol. Ademais, por meio da modificação da sua estrutura, a celulose pode dar origem a uma variedade de produtos como acetato de celulose, sulfato de celulose, carboximetilcelulose, etilcelulose, hidroxipropilmetilcelulose, hidroxietilmetilcelulose, hidroxietilcelulose e metilcelulose. Devido à sua porcentagem de fibras, o sorgo sacarino pode ser promissor como aditivo, proporcionando um destino sustentável para esse material.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, foram realizados ensaios laboratoriais utilizando concreto com a incorporação do bagaço do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). As atividades foram divididas em três partes específicas: obtenção do bagaço do sorgo sacarino e caracterização dos materiais, preparação e moldagem do concreto e ensaios no concreto no estado fresco e endurecido. A abordagem metodológica adotada está representada no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2024).

A execução do procedimento experimental iniciou-se com a elaboração do traço, seguida pela realização de ensaios no concreto em seus estados fresco e endurecido. Tais ensaios foram conduzidos com e sem a adição do bagaço do sorgo sacarino. O propósito central foi realizar uma análise comparativa da resistência do concreto, avaliando o impacto da incorporação desse resíduo agroindustrial.

4.1 OBTENÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

A extração do caldo do sorgo sacarino foi realizada em uma moenda. Em seguida, o bagaço foi recolhido, cortado, lavado e secado em estufa com circulação de ar na temperatura de 65°C até massa constante. Após essa etapa, foi utilizado um moinho de facas (Fabricante Tecnal) para diminuir o tamanho das partículas. Dessa forma, o material foi armazenado para o uso posterior. A Figura 2 apresenta o processo de obtenção do bagaço do sorgo sacarino.

Figura 2 - Obtenção do bagaço do sorgo sacarino



Sorgo sacarino



Bagaço do sorgo sacarino



Bagaço do sorgo sacarino
triturado

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2 CIMENTO

Na Tabela 1 são mostradas a composição química, resistência à compressão, finura, expansibilidade, pega e consistência do cimento CP V ARI de alta resistência empregado na pesquisa. Já na Tabela 2 é apresentada a composição química específica.

Tabela 1 - Características do cimento CP V ARI

Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa)	Massa esp. g/cm ³	Finura - Blaine cm ² /g	Expansibilidade (mm)	Pega (min)		Consistência (%)
				Início	Fim	
45	3,09	4,558	0,5	140	180	27,60

Fonte: Adaptado do fabricante (2024).

Tabela 2 - Composição química

SO ₃ (%)	P. Fogo (%)	Resíduo Insolúvel (%)	MgO (%)	CaO (%)
2,62	5,90	1,00	3,39	1,30

Fonte: Adaptado do fabricante (2024).

4.3 AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS

Utilizou-se como agregados miúdos (Figura 3a) e graúdos (Figura 3b) a areia lavada de rio e a pedra britada, respectivamente.

Figura 3 - Agregados miúdos (a) e graúdos (b)



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2024).

4.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A granulometria dos materiais desempenha um papel crucial na engenharia de concreto, pois ela se encarrega de identificar as dimensões das partículas que influenciam diretamente na trabalhabilidade do material. Esse processo envolve a

determinação do módulo de finura (MF) do agregado, obtido através da análise da retenção de massa em diferentes peneiras, o que permite uma caracterização mais precisa das propriedades do concreto. Além disso, a granulometria não apenas estabelece o tamanho das partículas, mas também contribui para definir a forma e textura dos agregados, fatores cruciais que impactam na resistência e durabilidade do concreto final.

Para a análise granulométrica foram utilizadas duas amostras de cada tipo de agregados. Os ensaios foram baseados na norma ABNT NBR NM 248:2003. A Figura 4 apresenta as peneiras empregadas nos ensaios.

Figura 4 - Análise granulométrica do agregado miúdo (a) e do graúdo (b)



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2024).

4.5 DOSAGEM DO CONCRETO REFERÊNCIA E DO CONCRETO COM ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

Na elaboração da dosagem do concreto, foi adotado o traço de 1:1,95:2,51:0,54 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água), com uma estimativa de resistência característica à compressão de 30 MPa aos 28 dias. Foram adotados dois tipos de amostras para a composição do concreto: uma contendo apenas o concreto base, sem adição do bagaço do sorgo sacarino (designado como concreto referência), e outra incorporando o bagaço.

Na Tabela 3 são mostradas as proporções utilizadas para o concreto

referência (CR) e as proporções correspondentes ao concreto com adição do bagaço do sorgo sacarino (CB). A inclusão do bagaço do sorgo sacarino visou explorar as características específicas proporcionadas por este material ao concreto.

Tabela 3 - Traço do concreto referência e com adição do bagaço do sorgo sacarino

Tipo de concreto	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Relação água/cimento	Teor de bagaço (%)
Concreto referência (CR)	1	1,95	2,51	0,50	-
Concreto com adição de bagaço (CB)	1	1,95	2,51	0,54	3

Fonte: Autoria própria (2024).

A relação água/cimento teve um ajuste no concreto com o aditivo, pois foi feito um teste antes com o traço sem esse ajuste, utilizando 0,50 de relação água cimento e o concreto não possuiu trabalhabilidade suficiente para ser usado.

4.6 SLUMP TEST (ABATIMENTO)

Baseado na norma na ABNT NBR 16889:2020 o concreto referência e concreto com adição do bagaço do sorgo sacarino passaram pelo ensaio de Slump test, visando avaliar a consistência e a trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco. O teste de abatimento é empregado para determinar a consistência do concreto, permitindo a avaliação de sua trabalhabilidade, aspecto de grande importância para assegurar a adequação do material para uso em edificações. Esse teste oferece informações importantes sobre as propriedades do concreto em seu estado fresco, contribuindo para a compreensão de sua aplicabilidade e comportamento durante a fase inicial. A sua realização envolveu o uso de um cone de Abrams com dimensões de 0,2m x 0,1m x 0,3m. O concreto foi cuidadosamente disposto em três camadas, cada uma compactada com 25 golpes, e em seguida, o cone foi removido (Figura 6).

Figura 5 - Slump test



Fonte: Autoria própria (2024).

4.7 MOLDAGEM DO CONCRETO REFERÊNCIA E DO CONCRETO COM ADIÇÃO DO BAGAÇO DO SORGO SACARINO

O processo de preparação, moldagem e adensamento do concreto foi realizado na betoneira, seguindo as normas ABNT NBR 7212:2021 e ABNT NBR 5738:2016. Um total de dez corpos de prova foi moldado de medida 10 x 20 cm, conforme ilustrado na Figura 5. Os corpos de prova foram desmoldados após um período de 24 horas e, em seguida, submetidos a um processo de cura, aguardando a maturidade necessária para os testes aos 7 e 28 dias.

Figura 6 - Corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2024).

4.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

As análises de resistência à compressão (Figura 7a) e resistência à tração por compressão diametral (Figura 7b) foram realizadas baseadas nas normas ABNT NBR 5739:2018 e ABNT NBR 7222:2011, respectivamente. Os corpos de provas utilizados nesses ensaios foram avaliados nos tempos de 7 e 28 dias. A realização dos testes ocorreu por meio de uma prensa hidráulica robusta (Zhejiang Geotechnical Instrument Manufacturing Co., Ltd) equipada com suporte de carga de 200 TF.

Figura 7 - Resistência à compressão (a) e resistência à tração por compressão diametral (b)



Fonte: Autoria propria (2024).

No ensaio de resistência à compressão, realizou-se a avaliação da capacidade de resistência do concreto, submetendo-o a uma carga compressiva gradual até a falha do corpo de prova. A carga máxima aplicada representa a força que o corpo de prova suporta antes da ruptura, conforme estabelecido pela ABNT NBR 5739:2018 e mostrada na Equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (1)$$

Em que:

F: Carga de ruptura (N);

D: Diâmetro do corpo de prova (mm);

Essa análise é crucial para a caracterização das propriedades mecânicas do concreto, fornecendo dados essenciais sobre sua capacidade estrutural. A norma citada assegura critérios rigorosos para a condução do ensaio, garantindo uma abordagem padronizada e confiável na determinação da resistência do material, com implicações relevantes no dimensionamento e na segurança de estruturas na construção civil.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o corpo de prova é alinhado longitudinalmente na prensa e submetido a uma carga compressiva aplicada perpendicularmente, resultando na formação de uma fratura ao longo da linha diametral. A resistência à tração por compressão diametral é calculada por meio da Equação 2.

$$f_t = \frac{2F}{\pi D h} \quad (2)$$

Em que:

f_t : Tensão de ruptura (MPa);

F: Carga de ruptura (N);

D: Diâmetro do corpo de prova (mm);

h: Altura do corpo de prova (mm).

4.9 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Este ensaio tem como objetivo determinar a absorção de água por capilaridade em concretos e argamassas endurecidos. A análise de absorção de água foi realizada conforme a norma ABNT NBR 9778:2005, no concreto com adição do bagaço de sorgo sacarino. O método consiste na imersão em água e secagem do concreto em estufa há 100° C, com duração total de 72 horas, sendo realizado a pesagem do corpo de prova a cada 24 horas, o processo de imersão por água seguiu o mesmo tempo de duração e pesagem, mas imerso com água a temperatura ambiente e após esses dois processos seguiu-se para o ultimo que foi imerso em água, mas a temperatura de aproximadamente 100° C, seguindo a mesma duração de tempo e de pesagem dos anteriores.

Figura 8 – Corpos de prova imersos



Fonte: Autoria própria (2024).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os resultados referentes ao diâmetro máximo e módulo de finura dos agregados miúdos e graúdos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos agregados

Características	Agregados miúdos	Agregados graúdos	Bagaço do sorgo
Diâmetro máximo (mm)	2,3	19	0,15
Módulo de finura	1,8	6,8	1,08

Fonte: Autoria própria (2024).

Almeida (2023) ao estudar o efeito da adição de fibra vegetal nas propriedades mecânicas do concreto obteve como diâmetro máximo do agregado miúdo o valor de 2,3 mm e para o agregado graúdo o valor de 19 mm, valores similares aos obtidos no presente trabalho. Com relação ao módulo de finura, Almeida (2023) obteve os valores de 2,4 para o módulo de finura do agregado miúdo e 2,8 para o agregado graúdo. Essa diferença nos tamanhos dos agregados pode influenciar significativamente nas propriedades mecânicas do concreto, como resistência à compressão, módulo de elasticidade e durabilidade, pois essa diferença no tamanho pode resultar em uma mistura menos homogênea.

5.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Em relação à caracterização das propriedades do concreto, realizou-se o ensaio de abatimento do concreto de referência e do concreto com o bagaço do sorgo. Na Figura 8, é possível observar o resultado obtido a partir do ensaio de abatimento do concreto, oferecendo uma visualização direta do comportamento do material em questão. Este teste fornece dados valiosos sobre a capacidade do concreto de se moldar conforme necessário durante o processo de construção, influenciando diretamente na eficiência e na qualidade final da obra.

Figura 9 - Abatimento do concreto



Fonte: Autoria própria (2024).

O concreto utilizado nos corpos de prova de teste apresentou um abatimento de 0,9 cm (ou 9 mm), indicando uma consistência relativamente baixa. De acordo com a ABNT NBR 8953:2015, abatimentos de concreto na faixa de 0 a 50 mm são considerados baixos. Embora para os fins estruturais essa consistência seja considerada baixa, para outros tipos de utilização ela pode ser de qualidade mediana, tais como para pisos, pavimentação, entre outros. Portanto, com um abatimento de 9 mm, o concreto utilizado parece ter uma consistência mais seca ou rígida, o que pode influenciar suas propriedades de trabalhabilidade e aplicabilidade em diferentes contextos de construção.

Almeida (2023) ao analisar a adição de fibra vegetal no concreto, obteve um abatimento de 50 mm, o que representa uma consistência média do concreto. No entanto, o abatimento obtido no presente trabalho foi de 9 mm, indicando uma consistência muito mais seca do concreto. Essa diferença no abatimento pode afetar a trabalhabilidade e a resistência do concreto, já que uma consistência mais seca pode reduzir a capacidade de preenchimento dos moldes e, consequentemente, diminuir a resistência final.

A Figura 9 mostra os corpos de prova após a cura, evidenciando características como a protrusão do bagaço do sorgo no concreto, onde é possível ver visivelmente os vazios em sua estrutura. Esses aspectos sugerem uma distribuição desigual dos materiais na mistura, possivelmente devido à má homogeneização ou compactação insuficiente. Essa condição pode comprometer a durabilidade e a resistência do concreto, tornando-o

mais suscetível à ruptura precoce e à penetração de substâncias prejudiciais.

Figura 10 - Corpos de prova com bagaço do sorgo



Fonte: Autoria própria (2024).

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na determinação da absorção de água, através de imersão do concreto com adição do bagaço do sorgo sacarino.

Tabela 5 - Determinação da absorção de água por imersão

Análises	Concreto com adição do bagaço do sorgo
Absorção após imersão em água a temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$	9,15 %
Absorção após imersão e fervura	10,9 %

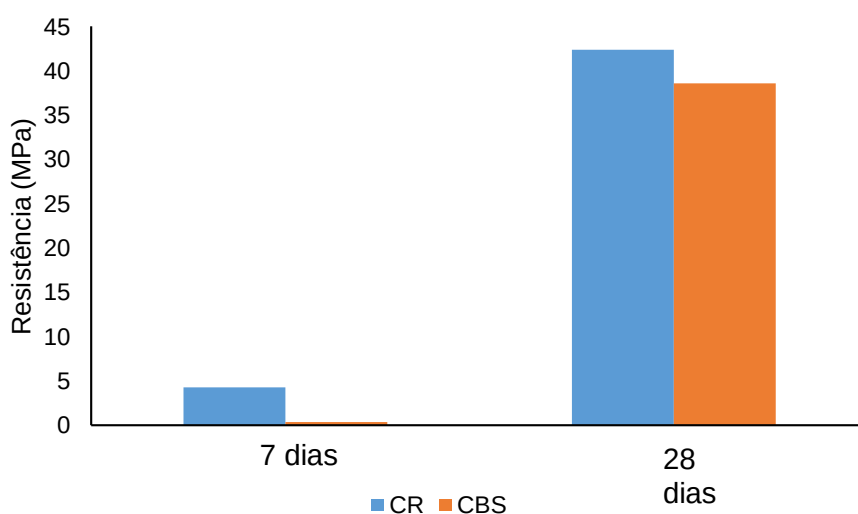
Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com Levy (2001), concreto com absorção de água por imersão com o percentual maior do 6,5%, são concretos considerados deficientes.

5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Ao adicionar bagaço de sorgo sacarino à mistura de concreto, observou-se uma redução na resistência à compressão dos corpos de prova, conforme evidenciado na Figura 10. Essa diminuição pode ser atribuída à falta de fluidez adequada para o adensamento do concreto, resultando na formação de nichos ou vazios nos corpos de prova. Além disso, a inclusão do bagaço de sorgo pode ter afetado a relação água/cimento da mistura, contribuindo para a formação de porosidade e prejudicando a resistência do material. Esses aspectos devem ser considerados ao utilizar bagaço de sorgo na produção de concreto.

Figura 11 - Resistência à compressão



Fonte: Autoria própria (2024).

Após 7 dias de cura, o concreto com bagaço apresentou uma resistência muito inferior ao concreto de referência. Em um dos corpos de prova, a resistência medida foi de 0,0 MPa, indicando que o concreto apenas suportou o aperto da máquina durante o teste de compressão, não resistindo à aplicação de carga. Outro corpo de prova apresentou uma resistência à compressão de 0,38 MPa. Isso significa que a resistência do concreto de referência de 38,6 MPa é superior à do concreto com bagaço. Essa diferença na resistência sugere que a composição ou a qualidade da mistura do concreto com o bagaço não foi adequada, o que pode ser agravado pela ausência de aditivos, como os superplastificantes, que poderiam melhorar as propriedades do concreto e aumentar sua

resistência.

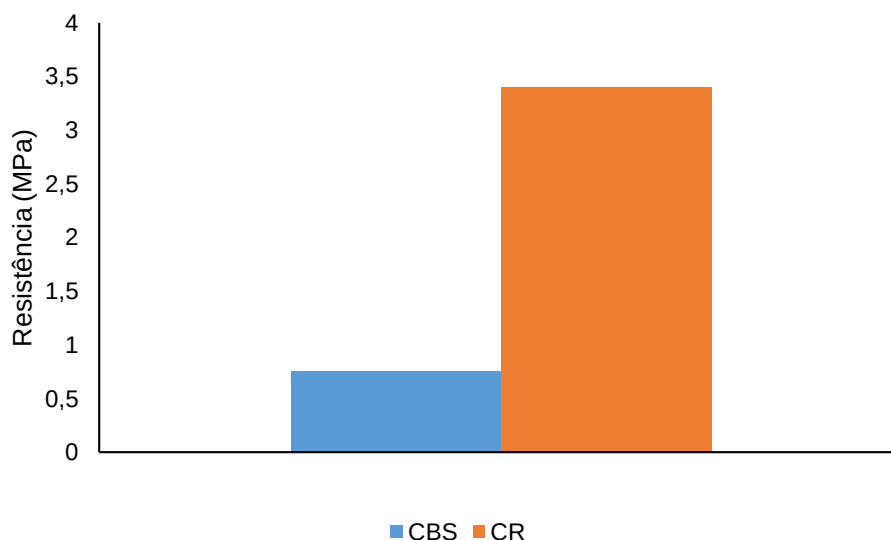
Após 28 dias de cura, a resistência à compressão do concreto com adição de bagaço de sorgo sacarino continuou significativamente inferior ao concreto de referência, no entanto, superior ao tempo de 7 dias. O concreto de referência apresentou uma resistência de 42,4 Mpa sendo superior ao concreto com bagaço de sorgo sacarino.

Almeida (2023) estudou o efeito da adição de fibra vegetal nas propriedades mecânicas do concreto, alcançando uma resistência de compressão de 28,6 MPa aos 7 dias e 33,4 MPa aos 28 dias. Em contraste, a adição de bagaço de sorgo no concreto resultou em resistência a compressão de 0,38 MPa aos 7 dias e 3,9 MPa aos 28 dias. Isso indica que a fibra vegetal teve um impacto mais significativo na resistência do concreto quando comparado ao bagaço de sorgo.

Considerando a baixa resistência à compressão do concreto com adição de bagaço de sorgo sacarino aos 28 dias, pode-se dizer que ele necessita de ajustes na dosagem ou na composição para melhorar suas propriedades mecânicas.

A Figura 11 exibe os resultados da resistência à tração por compressão diametral.

Figura 82 - Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autoria própria (2024).

O concreto com adição de bagaço de sorgo não suportou nem mesmo o aperto da máquina de teste no tempo de 7 dias. Ao analisar a Figura 11, é possível observar que aos 28 dias, o concreto de referência apresentou resistência à tração por compressão diametral superior ao concreto com adição de bagaço de sorgo.

Com relação à resistência à tração por compressão diametral, Almeida (2023) obteve uma resistência de 3,2 MPa com 7 dias e de 2,8 MPa com 28 dias, já com a adição de bagaço de sorgo, os valores foram de 0,0 MPa aos 7 dias e de 0,37 MPa aos 28 dias. Esses resultados indicam que o bagaço de sorgo não teve um impacto significativo na resistência à tração por compressão diametral.

Esses resultados indicam que a inclusão do bagaço de sorgo afetou negativamente a resistência do concreto em comparação com o concreto de referência. Dessa forma, a adição de bagaço de sorgo sacarino ao concreto resultou em uma redução significativa da resistência à tração e à compressão. Apesar dos resultados obtidos, a utilização do bagaço de sorgo sacarino no concreto ainda pode ser considerada viável, no entanto, é evidente que são necessários ajustes na dosagem ou na composição do concreto para melhorar suas propriedades mecânicas quando se utiliza o bagaço de sorgo sacarino.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos foi possível avaliar a influência do bagaço do sorgo sacarino nas propriedades mecânicas no concreto e concluir que:

- O bagaço de sorgo exerce influência na consistência do concreto, afetando assim sua trabalhabilidade;
- A adição no concreto de 3% de bagaço de sorgo, adotado nesse trabalho não influenciou de forma positiva no aumento da resistência a compressão e na resistência a tração por compressão diametral;
- Os resultados de testes no concreto, revelaram que o teor de bagaço de sorgo pode ter sido superior a necessidade do concreto, influenciado na resistência de forma negativa.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Realizar testes para avaliar a resistência do concreto com diferentes teores do bagaço de sorgo.
- Estudar a resistência do concreto com o bagaço de sorgo submetido a tratamentos químicos e físicos, a fim de verificar possíveis melhorias nas propriedades do material.

REFERÊNCIAS

ABADIA, Gabriel Gomes et al. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE PAPEL KRAFT. **RECIEC - Revista Científica de Engenharia Civil**, v. 05, n. 01, 2022.

ABITANTE, A. L.; LISBOA, E. S. Materiais de Construção. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7212: Concreto dosado em central – Preparo, fornecimento e controle**. Rio de Janeiro, 2021.

ALMEIDA, Suyanne Kananda Brito. **Efeito da adição de fibra vegetal nas propriedades mecânicas do concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros – RN, 2023.

ÁVILA, Tainara Cristina; FERNANDES, Sérgio Eduardo; AKASAKI, Jorge Luís. A influência da substituição de cimento por cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em concretos. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 9, n. 17, 2016.

BUNDER, J. O concreto: sua origem, sua história. 2016. 21 f. Monografia (Graduação em Arquitetura) - Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP, 2016

BAUER, L. A F. **Materiais de Construção** - Vol. 1. São Paulo: Grupo GEN, 2019.

BAUER, Roberto José Falcão. **ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO: DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE**. 2018.

CAVALCANTE, Letícia Cristina Teixeira et al. **Estudo da influência da adição de fibra e cinza de bagaço de cana sobre a resistência à tração de concretos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Anápolis-GO, 2022.

COSTA, Marília Silva. **Análise Das Propriedades Mecânicas Do Concreto Com Adição Dos Resíduos De Pvc**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, Ariquemes - RO, 2020.

DE OLIVEIRA, Wesley Silva. **Uso de cinzas brutas de bagaço de cana-de-açúcar como material substitutivo no concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte – MG, 2021.

FERRAZ, Marcio Sena. **Caracterização do Comportamento Mecânico do Concreto com Adição de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) Cinza**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, Ariquemes - RO, 2020.

GONÇALVES, Amanda Siqueira et al. **Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Concreto com Adição de Resíduo da Cerâmica Vermelha**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Evangélica de Goiás - UNIEVANGÉLICA, Anápolis – GO, 2022.

LEVY, Salomon Mony. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS, PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CONCRETO E ALVENARIA**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – PCC/USP, São Paulo-SP, 2001.

PEREIRA SANTOS, L. A.; FRANCISCO COSTA RIBEIRO, F.; SILVA SOARES, C.; AMADOR SALOMÃO, P. E. **PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO: – UM ESTUDO DA NBR 14931 – 2004**. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [S. l.], v. 12, n. 1, 2023. DOI: 10.61164/rmnm.v12i1.1685.

F.O.; NUNES, H. D. Avaliação da produção de etanol e cogeração de energia pela cultura do sorgo sacarino. **Revista Uniara**, v. 17, n. 1, p. 89-98, 2014.

PINHEIRO, Libânio M. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO E PROJETO DE EDIFÍCIOS**. São Carlos, 2007.

RATNAVATHI, C.V. et al. Sweet Sorghum as Feedstock for Biofuel Production: A Review. **Sugar Technology**, v.13, n.4, p.:399–407, 2011.

RUPPENTHAL, Lucas. **Análise do desempenho mecânico do concreto convencional**

com adição de resíduo de vidro como substituição parcial do cimento. 2018. Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado – RS, 2018.

SAINI, J.K; SAINI, R; TEWARJ, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. **3Biotech**, p. 337-353, 2014.

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, p. 626-647, 2014.

SANTOS FG, Casela Cr and Waquil JM (2005) **Melhoramento de espécies cultivadas**. IN: Borém, A. ed. Melhoramento de espécies cultivadas, Editora UFV, Viçosa, p. 605-658.

VALVERDE, Fernando Mendes. Agregados para construção civil. **Balanço mineral brasileiro**, v. 2001, 2001.