

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUDMILA OLIVEIRA STEFANO

**AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO PELAS CINZAS DO  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ARGAMASSAS**

CAMPO MOURÃO

2019

LUDMILA OLIVEIRA STEFANO

**AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO PELAS CINZAS DO  
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**Trabalho de Conclusão de Curso**  
**AValiação DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO PELAS CINZAS DO**  
**BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ARGAMASSAS**

por

**Ludmila Oliveira Stefano**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h00min do dia 28 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof.<sup>a</sup> Ana Raiza Ciscoto Yoshioka**  
( UTFPR )

**Prof. Dr. Leandro Waidemam**  
( UTFPR )

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Goia Rosa de  
Oliveira**  
(UTFPR)  
**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa da distribuição da cana-de-açúcar no Brasil
- Figura 2 - Esquema global do processo de produção de açúcar e álcool
- Figura 3 - Bagaço da cana-de-açúcar
- Figura 4 - Disposição final das cinzas em bacias de decantação
- Figura 5 - Local de extração de areia para construção civil em Seropédica, RJ
- Figura 6- Sistema de mineração da areia extraída de rios
- Figura 7 – Ensaio de determinação de massa unitária da areia
- Figura 8 – Preparação da cinza para ensaios
- Figura 9 – Ensaio massa unitária da CBC
- Figura 10 – Cinza retida nas peneiras de ensaio granulométrico
- Figura 11 – Massas com 0% e 10% de CBC
- Figura 12 – Armazenamento corpos de prova
- Figura 13 – Processo de cura
- Figura 14 – Corpos de prova após 72h em estufa
- Figura 15 – Corpos de prova imersão total em água
- Figura 16 – Ensaio de resistência à compressão axial
- Figura 17 – Corpos de prova após o rompimento

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Composição típica da cana-de-açúcar

Tabela 2 - Traço das argamassas (em massa)

Tabela 3 - Influência da areia nas argamassas

Tabela 4 - Resistência à compressão dos concretos confeccionados com resíduo de vidro

Tabela 5 - Dimensões da fôrma para ensaio da areia

Tabela 6 - Massa da areia seca

Tabela 7 - Granulometria da areia

Tabela 8 - Classificação pelo módulo de finura

Tabela 9 - Dimensões da fôrma para ensaio da CBC

Tabela 10 - Massa do CBC seco

Tabela 11 - Granulometria da CBC

Tabela 12 - Traços unitários em volume e em massa

Tabela 13 - Quantidade de água

Tabela 14 - Características físicas dos agregados

Tabela 15 - Absorção de água por imersão

Tabela 16 - Ensaio de compressão axial

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Resistência à compressão dos corpos de prova em concreto com substituição de areia por RP.

Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia

Gráfico 3 – Curva granulométrica da CBC

Gráfico 4 – Resultados médios de absorção de água

Gráfico 5 – Resistência à compressão axial média

## AGRADECIMENTOS

Quando lembro em tudo que já se passou, e no tão pouco que falta para se encerrar uma das partes mais assustadoras e maravilhosas da minha vida, chega a dar até aquele friozinho na barrinha, mas só de pensar em todas as coisas incríveis que aconteceram, os aprendizados, as amizades e até mesmo os sufocos, fazem pensar no quão grata sou à Deus por tudo o que tem me proporcionado e o quanto ainda vêm pela frente. Por isso, agradeço primeiramente à Ele, por acalmar meu coração nas horas mais difíceis, nos momentos de crises de choro, ansiedade e desespero, e nunca ter me deixado faltar nada do necessário e por iluminar e guiar meu caminho até hoje.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Clovis e Rosilda, e meu irmão Leonardo, por toda preocupação e carinho, por cuidarem de mim, dando todo o suporte psicológico nos momentos em que eu dizia não conseguir mais, de nunca terem me deixado desistir, e pelo suporte financeiro que eu sei que não foi fácil, abdicarmos de tantas coisas apenas para que eu realizasse o meu sonho que sei, também é o de vocês de me tornar engenheira.

Aos meus queridos amigos, desde os do início da faculdade aos que me acompanham nos dias atuais de luta, obrigado pelos momentos de descontração, pelas risadas e abraços nas saídas de provas ou finais de semestre.

Agradeço também ao meu namorado Oales, obrigada por aturar meus dramas, por toda a sua paciência, suporte e apoio que sempre me dá, na faculdade e na vida.

Ao Centro Acadêmico pelos 4 anos de caminhada, e à Pórticos Empresa Júnior pelos 2 anos vivenciando o MEJ. Com ambos tive a chance de aprender e vivenciar tantas coisas, momentos incríveis com pessoas mais maravilhosas ainda, vocês terão sempre um lugar especial em meu coração, e muito obrigada pela oportunidade.

À minha orientadora, professora Fabiana, obrigada pela disponibilidade, por sempre demonstrar o melhor caminho a ser seguido, pela motivação e paciência com essa pessoa indecisa que, às vezes perde um pouco o foco e quer fazer tudo o que encontra pela frente, enfim obrigada pelo carinho.

## RESUMO

As cinzas residuais do bagaço da cana-de-açúcar, produzidas através da queima do bagaço em caldeiras, pelo processo de geração de energia, são geralmente utilizadas para adubação das lavouras, mesmo não possuindo propriedades para esse fim, ou então descartadas no meio ambiente de forma inadequada. A partir disso, estudos na área de tecnologias da construção civil estão sendo realizados, verificando a substituição de matérias-primas, como o cimento e os agregados, por resíduos urbanos e da agroindústria. Assim, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como substituto parcial do agregado miúdo na produção de argamassas, com os respectivos teores de substituição de 0%, 10%, 20% e 30% de CBC. Inicialmente os materiais areia e CBC, foram caracterizados fisicamente para então, executar-se a moldagem dos corpos-de-prova de acordo com os traços elaborados para cada teor. Em seguida foram realizados os ensaios de absorção de água e resistência à compressão axial da argamassa, onde os resultados indicaram um aumento da absorção de água, e uma redução da resistência em relação à amostra de referência. Foi concluído então que a quantidade de água acrescentada durante a preparação da massa, influenciou significativamente nos resultados finais.

**Palavras-chave:** Cinzas. Cana-de-açúcar. Argamassas.



## **ABSTRACT**

The residual ashes from the sugarcane bagasse, produced through the burning of the bagasse in boilers, by the process of generating energy, are generally used for fertilizing crops, even though it does not have properties for this purpose, or then discarded in the environment of inadequate form. From this, studies in the area of technologies of the civil construction are being carried out, verifying the substitution of raw materials, such as cement and aggregates, by urban and agro-industrial waste. Thus, the present work was carried out with the objective of evaluating the use of sugarcane bagasse ash as a partial substitute for fine aggregate in the production of mortars, with the respective levels of substitution of 0%, 10%, 20% and 30% of CBC. Initially, the sand and CBC materials were physically characterized so that the molding of the specimens could be performed according to the traces elaborated for each content. After that the assays of absorption of water and axial compressive strength of the mortar had been carried through, where the results had indicated an increase of the water absorption, and a reduction of the resistance in relation to the sample of reference. It was then concluded that the amount of water added during the preparation of the mixture had a significant influence on the final results.

**Keywords:** Ash. Sugar Cane. Mortar.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>4</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>5</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1 Cana-de-Açúcar</b> .....	<b>6</b>
4.1.1 A cana-de-açúcar e a indústria sucroalcooleira .....	6
4.1.2 O bagaço e a cinza da cana-de-açúcar .....	8
4.1.3 O uso de cinzas em argamassas e concretos .....	10
4.1.4 Aplicações da cinza do bagaço da cana-de-açúcar .....	12
<b>4.2 Agregados</b> .....	<b>15</b>
4.2.1 Agregados naturais .....	15
4.2.2 Substituição de agregados por resíduos .....	18
<b>5 METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1 Materiais</b> .....	<b>21</b>
5.1.1 Cimento .....	21
5.1.2 Água .....	21
5.1.3 Cal hidratada .....	21
5.1.4 Agregado miúdo: areia e cinza do bagaço da cana-de-açúcar .....	21
<b>5.2 Métodos</b> .....	<b>28</b>
5.2.1 Produção dos corpos de prova .....	29
5.2.2 Ensaio de absorção de água por imersão .....	31
5.2.3 Resistência à compressão .....	33
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
<b>6.1 Características físicas</b> .....	<b>35</b>
<b>6.2 Absorção de água por imersão</b> .....	<b>35</b>
<b>6.3 Resistência à compressão</b> .....	<b>36</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial da cana-de-açúcar e seus derivados, e essa produção continua crescendo, devido a Política Nacional de Biocombustíveis, a qual dedica parte dos recursos do Governo Federal para o incentivo ao desenvolvimento e aprimoramento de fontes de combustíveis alternativos (BESSA, 2011).

Neste aspecto de crescimento contínuo do setor sucroalcooleiro, estima-se também o aumento na geração de resíduos desse setor, como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), que tem se tornado um problema para os administradores de usinas por conta da sua destinação que muitas vezes é inadequada. Com isso, é extremamente importante a realização de estudos que visam a reutilização desses resíduos, transformando-os de problemas ambientais a produtos de valor (MACEDO,2009).

Ainda segundo Macedo (2009) a construção civil por ser um setor de alto consumo de energia e recursos naturais, apresenta um grande potencial para a utilização desses resíduos da indústria sucroalcooleira. Assim, vários estudos têm sido realizados utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) com alto teor de sílica, como adição para propriedades pozolânicas ou como substituição de agregados em concretos e argamassas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Verificar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar em argamassas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Fazer um levantamento bibliográfico sobre a cinza do bagaço da cana-de-açúcar e agregados em argamassas;
- Realizar ensaios de absorção de água e resistência à compressão em corpos de prova com e sem adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar;
- Avaliar os resultados obtidos.

### 3 JUSTIFICATIVA

O setor com maior volume de consumo de recursos naturais é o da construção civil, que em números variam de 15% a 50% dos recursos extraídos. No Brasil, cerca de 90% da produção de areia natural vem da extração em leito de rios (GUACELLI, 2010).

De acordo com Cavalcanti e Ribeiro (2013), na produção de argamassas e concretos, o Brasil utiliza aproximadamente 210 bilhões de toneladas de agregados naturais, provenientes da exploração mineral de jazidas, muitas vezes incorreta. Segundo Neto (2006), essa exploração, pode gerar riscos ambientais próprios da extração, que acelera o processo de erosão das margens retirando a cobertura vegetal o que torna o solo estéril, e assim elimina a capacidade de recomposição do ambiente explorado.

Além da exploração descontrolada de agregados e dos impactos causados ao meio ambiente, o valor final da areia, por causa do transporte de longas distâncias, tem aumentado cada vez mais. Desse modo, analisando não apenas o lado ambiental, mas também econômico, vêm sendo realizados diversos estudos que possibilitem meios de substituir a areia natural de extração por resíduos, sejam eles resíduos de construção ou agroindustriais, como é o caso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Cana-de-Açúcar

#### 4.1.1 A cana-de-açúcar e a indústria sucroalcooleira

A cana-de-açúcar é um produto agrícola cultivado no Brasil desde a colonização portuguesa, sendo originado do sudeste da Ásia. Ela foi trazida pelos portugueses nos anos de 1530 e desde então passou a ter uma grande importância para o país. Essa importância se deve ao fato da diversificação no uso da cana, que atualmente é utilizada como matéria-prima para produção de álcool, açúcar, aguardente e ração para animais (MACEDO, 2009).

Segundo Bessa (2011), é uma das maiores variedades da agronomia por sua eficiência no processo de fotossíntese e por sua cultura típica de climas tropicais e subtropicais tendo assim, seu cultivo relativamente fácil por se adaptar a diferentes tipos de solo. É uma planta que possui grandes teores de açúcar quando amadurecida, e que pode ser cortada e colhida por 5 a 7 safras, equivalente de 5 a 7 anos, sem a necessidade de replantio. Pode-se observar a composição química na tabela 1.

**Tabela 1 – Composição típica da cana-de-açúcar**

<b>Composto</b>	<b>Quantidade (% , em massa)</b>
Água	74,5
Sacarose	12,5
Fibras	10,0
Outros	3,0

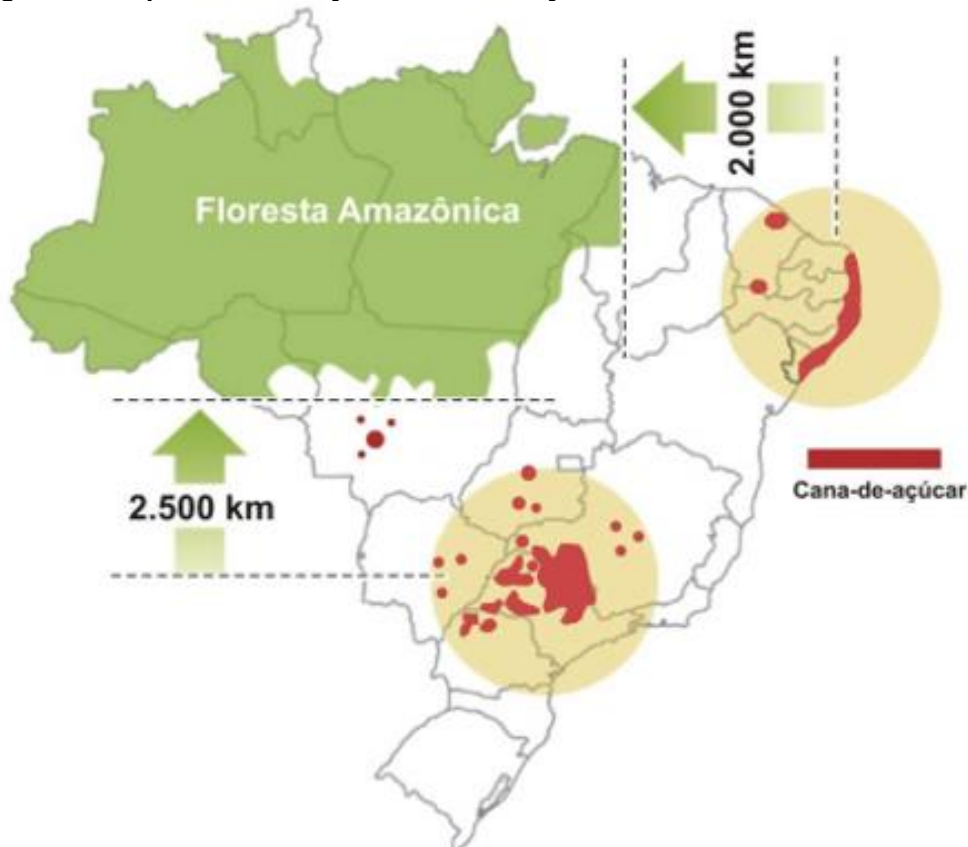
**Fonte: Adaptado de Cordeiro (2006)**

Até metade do século XVIII, o principal produto da economia colonial de exportação foi o açúcar, logo após, com a diversificação agrícola e a industrialização, a produção de cana-de-açúcar sofreu uma queda, mas sempre representou um importante produto comercial brasileiro, de acordo com Cordeiro (2006). A partir de então, com a expansão do uso do álcool e com o intuito de estimular essa produção e reduzir a dependência nacional das importações de petróleo, em 1975 foi criado o ProÁlcool – Programa Brasileiro de Álcool, com objetivo de substituir a gasolina pela

produção de álcool combustível, num momento em que havia um aumento significativo no preço do petróleo (PROÁLCOOL,2012).

Após quatro décadas da criação do programa, a produção de cana-de-açúcar no Brasil cresceu 718,8%, e atingiu mais de 657 milhões de toneladas na safra 2016/2017 de acordo com o MAPA (2017). Atualmente, é o responsável por cerca de 60% da produção de álcool etílico do planeta e é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e de açúcar, além de ser o maior exportador de açúcar no mundo. A cana-de-açúcar é produzida em mais de 130 países, e no Brasil, só no ano de 2016, era cultivada em mais de 10,5 milhões de hectares, representando cerca de 13,5% da área plantada no país, sendo então o terceiro maior cultivo brasileiro atrás apenas da soja e do milho (IBGE, 2017). Observa-se na figura 1, o mapa das áreas em que se produz cana-de-açúcar.

**Figura 1 – Mapa da distribuição da cana-de-açúcar no Brasil**



Fonte: IBGE (2017)

Além da grande produção de açúcar e etanol, a indústria da cana-de-açúcar produz, também como subproduto, energia elétrica, obtida a partir da queima do bagaço da matéria-prima em centrais termelétricas para uso próprio das usinas e/ou

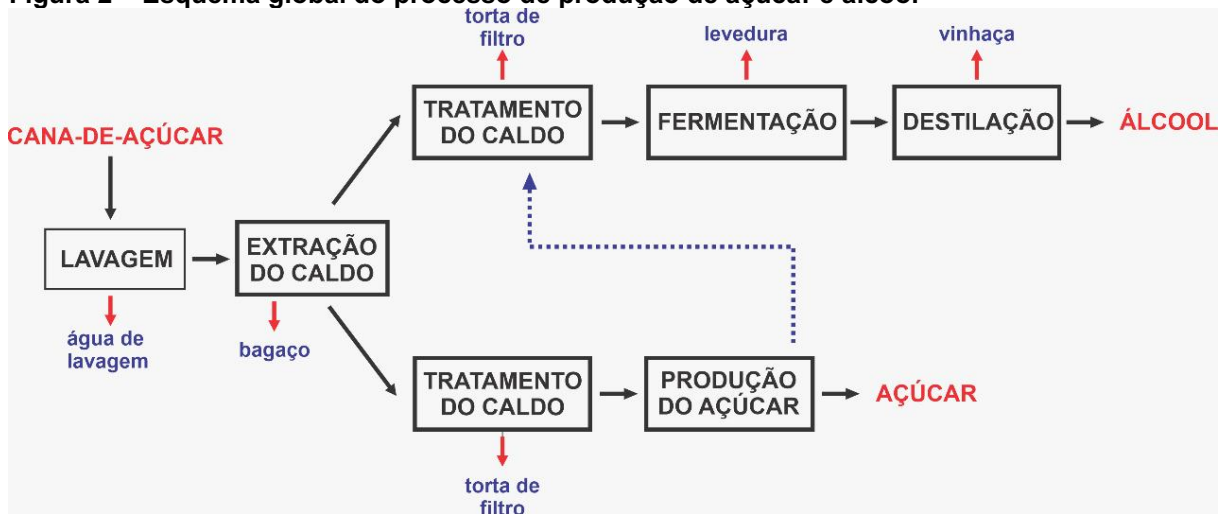
venda para as concessionárias locais de energia elétrica, sendo tratada então como uma biomassa energética (CAVALCANTI; RIBEIRO, 2013). São conhecidas nos dias de hoje várias fontes renováveis de biomassa como a lenha, o carvão vegetal, o biogás, a casca de arroz, a cana-de-açúcar (bagaço da cana, palha e álcool) entre outros. A energia de biomassa é aquela fornecida por materiais de origem vegetal renovável ou por decomposição de dejetos (BESSA, 2011).

Apesar desse benefício energético, as produções de açúcar, álcool e energia elétrica podem causar problemas ambientais, em função da destinação inadequada dos resíduos gerados como a palha, o bagaço e as suas respectivas cinzas (CAVALCANTI; RIBEIRO, 2013) e essa cogeração libera carbono na forma de CO<sub>2</sub>, mas que no balanço das emissões é praticamente nulo pois, através da fotossíntese a biomassa que é queimada é repostada no ciclo seguinte da cultura da cana (BESSA, 2011).

#### 4.1.2 O bagaço e a cinza da cana-de-açúcar

O bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agricultura brasileira, gerado durante a extração do caldo da cana no processo de moagem (BESSA, 2011). No fluxograma, figura 2, é possível verificar o passo a passo da produção de açúcar e álcool e seus resíduos gerados.

Figura 2 – Esquema global do processo de produção de açúcar e álcool



Fonte: Adaptado Bessa, 2011.

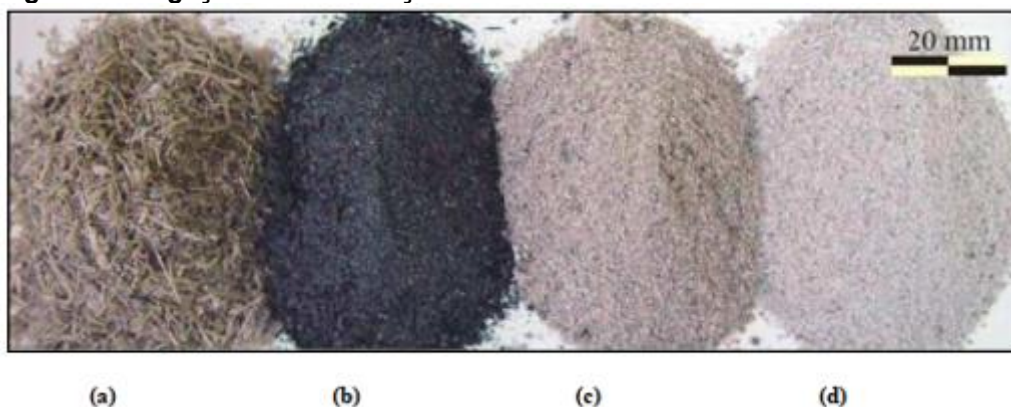


Cordeiro (2006) considera que para cada tonelada de cana-de-açúcar sejam gerados 260 kg de bagaço com cerca de 50% de umidade, e dessa tonelada de bagaço são gerados aproximadamente 25 kg de cinza residual, resultado do processo de cogeração de energia elétrica. Essa cinza residual geralmente é descartada no meio ambiente de forma inadequada ou utilizada para a adubação das lavouras, mesmo não possuindo propriedades para este fim.

Historicamente, o bagaço vem sendo empregado como combustível em usinas e destilarias. Queimado em caldeiras, pelo sistema de cogeração, que consiste na produção de vapor que em seguida é levado as turbinas de acionamento mecânico para a produção de energia elétrica, e assim possibilitando suprir parte das necessidades energéticas ou até mesmo a autossuficiência, proporcionando a exportação de excedentes às concessionárias (MACEDO, 2009).

A queima do bagaço influencia diretamente nas características da cinza. Para Cordeiro (2006), de acordo com a temperatura no interior da caldeira e o tempo de exposição da cinza ao calor, podem ser geradas diferentes colorações das mesmas. Essa coloração mostra o grau de calcinação e o teor de carbono ao qual o bagaço foi submetido. Pode-se observar na figura 3, que para as cinzas em tons mais escuros significa que possuem alto teor de carbono e com os tons mais claros uma combustão completa.

**Figura 3 – Bagaço da cana-de-açúcar**



**Fonte: Cordeiro, 2006.**

- a) Diferentes cinzas residuais geradas após a queima do bagaço em caldeira;
- b) Cinza escura com alto teor de carbono característico de combustão incompleta;
- c) Cinza com menor teor de carbono;
- d) Cinza gerada após a combustão completa.

Ainda segundo Cordeiro (2006), conforme as condições de queima, é possível manter em estado amorfo, a sílica contida no bagaço possibilitando o uso deste subproduto como pozolana, e por causa dos teores de dióxido de silício e a perda ao fogo, alguns estudos mostraram que a cinza residual do bagaço possui uma composição química compatível ao uso como aditivo mineral.

#### 4.1.3 O uso de cinzas em argamassas e concretos

Por serem geradas no final da cadeia produtiva de atividades industriais e/ou agroindustriais, as cinzas podem causar problemas de armazenamento e de impacto ambiental devido aos seus vários processos de geração de energia, de secagem e descarte, ocupando assim, um lugar de destaque dentre os resíduos agroindustriais (CINCOTTO, 1988).

As cinzas predominantemente siliciosas, de origem industrial ou vegetal, podem ser utilizadas como adição mineral, desde que possam ser produzidas no seu estado amorfo e com finura adequada. Ou seja, podem ter sua utilização viável como adição mineral, se as cinzas possuírem elevado teor de sílica. A reatividade depende da composição química, essa influenciada pelo solo, pelo processo de produção da cinza e pelo produto que gerou a cinza. (JOHN et al., 2003)

As adições minerais foram divididas em três grupos, por Dal Molin (2005), de acordo com a sua ação físico-química: material cimentante, pozolânico e não reativo.

- a) Material cimentante: Para formar produtos cimentantes, não é necessário o hidróxido de cálcio presente no cimento Portland. Entretanto, para a aplicação do material para fins estruturais, a quantidade de cimentantes formados não é suficiente e sua hidratação acontece de forma lenta. Assim para que tenha uma hidratação mais acelerada, usa-se com adição ou substituição de cimento Portland. A escória de alto-forno é um exemplo desse material.
- b) Material pozolânico: Existem diversos tipos de pozolanas, que podem ser naturais, artificiais ou de origem vulcânica. Por ser um material silicioso ou sílico-aluminoso, a pozolana possui pouco ou nenhum valor cimentício. Porém, quando está na presença de umidade e é finamente dividida, ela reage quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos que possuem propriedades cimentícias.

- c) Material não reativo: A ação desse tipo de material tem apenas um efeito físico de empacotamento granulométrico, que preenche os vazios entre as partículas de cimento disperso, promovendo o aumento na compacidade da mistura e assim também o refinamento dos poros. O fíler, por exemplo, quando finamente dividido (com diâmetro próximo ao do cimento), não possui atividade química.

De acordo com Bessa (2011), a maior parte das cinzas utilizadas como adição mineral pozolânica são pouco reativas, na maior parte delas, permitindo utilizá-las apenas como material não reativo. Muitos estudos identificam o problema em relação ao consumo de energia fornecido ao resíduo para tornar este reativo ou pozolânico, fazendo com que o material possa ser inviável economicamente.

Os processos industriais raramente possuem controle operacional da temperatura de combustão dos resíduos e do tipo de resfriamento das cinzas, não garantindo a homogeneidade na produção das cinzas e assim produzindo-as sem reatividade hidráulica (BESSA, 2011).

Tem-se alguns exemplos como o da casca de arroz e a temperatura em que é queimada, onde alteram-se a estrutura dos seus compostos, modificando-a do estado amorfo para o cristalino. No estado cristalino, a sílica pode ser ofensiva à saúde humana, tendo que ser mantida na forma amorfa com um controle na queima (MALHOTRA e MEHTA, 1996). A cinza da casca de arroz, utilizada como pozolana artificial, é um material potencialmente ativo que contém um teor considerável de sílica (ODA e LIBÓRIO, 2002) e, segundo Mehta et. al (1994), a temperatura de queima da casca de arroz situa-se entre 500 °C e 700 °C, para que a sílica se mantenha em seu estado amorfo.

Já para a casca de castanha de caju, segundo Lima et al. (2009), a temperatura de queima nas caldeiras deve ficar em torno de 800 °C, produzindo uma cinza sem reatividade pozolânica.

Bessa (2011), diz que as cinzas podem ser aproveitadas como material de carga e/ou inerte, como substituição de agregados em matrizes cimentícias, quando essas não possuírem reatividade.

Assim o uso de cinzas pesadas tem mostrado grande potencial de substituição da areia natural para produção de materiais à base de cimento Portland, a qual tem textura normalmente grossa, vítrea e fundida com um alto teor de sílica. Levando em consideração que a areia natural é um material de custo mais elevado e a

problemática ambiental da disposição final dessas cinzas, como demonstrado na figura 4, motivaram diversos autores a desenvolverem pesquisas sobre o material e seu emprego para a produção de materiais à base de cimento Portland (BESSA, 2011).

**Figura 4 – Disposição final das cinzas em bacias de decantação**



Fonte: Bessa (2011)

#### 4.1.4 Aplicações da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Em função da alta produção de álcool combustível e de açúcar nos últimos anos, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) vem sendo estudada tanto como material inerte quanto adição mineral aplicado em materiais cimentícios.

Para Bessa (2011), deve-se levar em conta algumas observações sobre a substituição da areia (agregado miúdo), e não do cimento, pela CBC. Em primeiro, tem-se a questão de a cinza ser predominantemente pozolânica, provocando na mistura um efeito químico ao invés de um efeito físico, causado pelo descontrole industrial do processo de geração da cinza, a alta temperatura de queima e a contaminação por areia. E em segundo, o fato de argamassas e concretos conterem maior quantidade de areia do que cimento, ou seja, o consumo de CBC por unidade de volume é maior quando substitui-se a areia.

No entanto, tem-se diversos estudos e variadas substituições como a de Singh et al. (2000). Foram analisados a resistência à compressão, o tempo de pega e a

expansão em meio ácido sulfúrico de concretos produzidos com teores de 0%, 10%, 20% e 30% da CBC em substituição ao cimento Portland. Valores maiores de resistência à compressão dos concretos, foram observados nos corpos de prova com 10% da CBC, porém acima desse teor houve uma queda nos valores. Ocorreu também, um aumento nos tempos de início e final de pega em até 8 vezes, comparando os concretos com 0% e 30%.

Ganesan et al. (2010), produziram sete traços de concreto utilizando o CBC como substituto do cimento Portland, 5% a 30% da CBC, em volume. Foi observado nas amostras com até 20% da CBC, que obtiveram os melhores resultados aos ensaios de resistência à compressão, nas três idades analisadas, superando o concreto de referência.

Nos estudos de Souza et al. (2007), a queima do bagaço da cana-de-açúcar realizada nas usinas, a uma temperatura que varia entre 850 °C e 920 °C, com 50% de umidade, podendo alcançar valores acima de 1000 °C, quando se tem umidade inferior a 35%, podem produzir cinzas com baixa reatividade pozolânica. Os autores estudaram a influência da substituição parcial do cimento CII F 32 pela CBC na produção de argamassas, conforme a tabela 2.

**Tabela 2 - Traço das argamassas (em massa)**

<b>Componentes</b>	<b>Padrão (A0S)</b>	<b>10% de substituição (A10S)</b>	<b>20% de substituição (A20S)</b>
Cimento (g)	400	360	320
Cinza do bagaço (g)	0	40	80
Silica ativa (g)	40	40	40
Areia (g)	1380	1380	1380
Aditivo (g)	5	5	5
Água (g)	258	258	258

**Fonte: Souza et al., 2007.**

Os resultados indicaram que a substituição de 10% do cimento pela CBC, diminuiu em 2% a resistência à tração da argamassa e, com a substituição de 20% do cimento, apresentou queda de 7% na resistência em relação à argamassa de referência. Concluíram então que para os teores de substituição estudados, as argamassas produzidas com o uso da CBC, queimada em caldeira, sem controle de temperatura e tempo de queima, somente com controle de moagem, possibilitaram

maiores valores para resistência à compressão em comparação com a de referência com 0% da CBC.

Para os estudos de De Paula et al. (2007), foram feitas duas queimas do bagaço da cana-de-açúcar. A primeira em mufla por 6 horas a 600 °C e a segunda por 3 horas a 700 °C. Os autores fizeram a substituição do cimento Portland pela CBC e constataram que as argamassas com maiores teores de cinza ficaram mais porosas e apresentaram uma maior absorção de água. Os ensaios de compressão, aos 28 dias, indicaram a viabilidade de substituição de até 20% de cimento pela CBC sem prejuízo da resistência.

Já nos estudos de Martins et al. (2010), foram utilizadas CBC como substituto total para o agregado miúdo natural, obtendo-se valores de resistência mecânica duas vezes maiores que os concretos de referência (sem a substituição da CBC). Também outra análise com a substituição do agregado miúdo pela CBC, foi feita por Macedo (2009). O autor analisou argamassas, no traço 1:3 (em massa) com relação água/cimento de 0,48 com teores de substituição de 0%, 3%, 5%, 8% e 10%, e cinco corpos de prova para cada traço. Aos 56 dias, foram coletados os resultados do ensaio de resistência à compressão, onde para o traço de 10% de CBC, obteve-se 23% de resistência superior ao traço de controle.

Com a coleta da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) realizada no estado do Paraná, Vanderlei et al. (2011), aplicaram a CBC como substituto parcial da areia em concretos com cimento Portland (CPV-ARI). Foram dosados 3 tipos de traços (rico, normal e pobre), dois tipos de abatimento e teores de substituição entre 0% e 30% em massa. O consumo de cimento variou entre 291,98 kg/m<sup>3</sup> e 517,70 kg/m<sup>3</sup> e os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão na idade de 3, 7 e 28 dias. O teor de 15% de substituição foi o que obteve o melhor comportamento em relação aos demais aos 28 dias, na série rica, e atingiu-se um ganho de 23,7% de resistência em relação ao traço de referência, com um valor de 45,2 MPa.

Segundo Zordan (1997) e Lima (1999), o elevado custo da areia natural abre espaço para a entrada de materiais como os resíduos no mercado, com estes sendo de custo bem inferior. Assim, para Cordeiro et al., (2008), desde que sejam observadas as características intrínsecas, como o alto teor de sílica em forma de quartzo, um dos principais elementos presentes na areia natural, a CBC tem se mostrado um subproduto viável para aplicação em materiais de construção.

## 4.2 Agregados

### 4.2.1 Agregados naturais

De acordo com Frazão e Paraguassu (1998), os agregados são materiais granulares, com volumes e formas indefinidos, de propriedades e dimensões apropriadas para o uso na construção civil, que podem ser classificados em três grupos: quanto à densidade do agregado (leves/normais/pesados), quanto à sua origem (naturais/artificiais) e quanto ao tamanho dos fragmentos (miúdos/graúdos).

A norma ABNT NBR 7225:1993 define que agregado é o material natural, de características adequadas ou obtido por despedaçamento artificial de pedra de dimensão nominal mínima igual ou maior a 0,075 mm e de dimensão nominal máxima menor a 152 mm.

O principal uso do agregado miúdo natural é na construção civil para concreto, argamassa, filtros, abrasivos, bases de pavimentos de concreto e asfalto, dentre outros. O pequeno construtor costuma ser o principal consumidor desse material, cerca de 80% do consumo total, seguido pelo empreiteiro em segundo lugar (FRAZÃO, 2002).

Segundo Lima (1999) os agregados, quando utilizados para confecção de concreto, o consumo médio (por m<sup>3</sup>) é de 42% de agregado graúdo, 40% de agregado miúdo, 10% de cimento, 7% de água e 0-1% de aditivos. Sendo assim são considerados produtos básicos para a indústria da construção civil.

A produção no ano de 2004 de areia bruta no Brasil foi de mais de 210 milhões de toneladas, segundo o Anuário Mineral Brasileiro (2005). Os setores que mais consumiram a areia em suas atividades foram a construção civil (61,94%), o comércio de materiais de construção (0,91%) e a produção de argamassas para construção (0,28%).

Segundo Silva Filho et al. (2002), a produção de areia e pedra britada caracteriza-se pelo baixo valor unitário e pela produção de grandes volumes, sendo o transporte o fator que mais aumenta o valor do produto, cerca de 65%, impondo a necessidade de ser produzido o mais próximo possível do mercado consumidor.

Por constituir uma atividade mineradora, a extração de areia e pedra britada para uso na construção civil, e normalmente, como acontece com toda atividade de mineração, trata-se de um empreendimento exploratório que degrada o meio

ambiente, entretanto, a indústria da construção civil torna-se inviável se não houver areia e brita (BESSA, 2011).

De acordo com Lelles et al. (2005), porém, as atividades de extração mineral são de grande importância para o desenvolvimento social, mas também são responsáveis por impactos ambientais negativos e muitas vezes irreversíveis.

Na extração mineral de agregados, os principais impactos ambientais que podem ser causados são a alteração na calha dos cursos d'água; a instabilidade de margens e taludes; a alteração da paisagem e a supressão da vegetação, principalmente da mata ciliar. Nota-se, na figura 5, o grau de destruição da paisagem natural em uma área de extração de areia (BESSA, 2011).

**Figura 5 – Local de extração de areia para construção civil em Seropédica, RJ**



Fonte: Bessa, 2011.

De acordo com Bessa (2011), a maior parte da areia produzida no Brasil é de leito de rios ou extraídas de veios de areia subterrâneos (minas), com formação de cavas inundadas pelo lençol freático. Um exemplo do sistema de mineração de areia em corpos d'água pode ser observado na figura 6. Juntamente com a água, a areia é bombeada para silos suspensos ou acumulada no terreno, para posteriormente ser embarcada em caminhões basculantes com destino ao distribuidor final.



**Figura 6 – Sistema de mineração da areia extraída de rios: (a) e (b) barcaça extraíndo a areia; (c) silo de estocagem de areia; e (d) separação e controle no areal.**



Fonte: Bessa, 2011.

O efeito da extração de areia em leitos de rio, segundo Faria et al. (2005), tem trazido consequências degradantes para o ambiente aquático. Quando a extração é feita de modo inadequado, tem como resultado a poluição das águas, devido à agitação de sedimentos finos, a presença de combustível e óleos lubrificantes oriundos das instalações de equipamentos utilizados.

Segundo Margon (2002), sendo a argamassa composta por aglomerantes e agregados, suas propriedades decorrem de uma interação desses constituintes, podendo ser diferenciadas conforme a distribuição granulométrica do agregado. A influência da distribuição granulométrica do agregado pode ser observada a partir das propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

De acordo com Tristão (1995), as diferentes composições granulométricas da areia influenciam as propriedades das argamassas e procurou então quantificar a influência deste parâmetro em algumas propriedades das argamassas. O resultado foi apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Influência da areia nas argamassas

Propriedades da argamassa	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de elasticidade	Quanto mais descontinua for a areia	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Pior	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Aumenta	Aumenta	Variável
Aderência	Variável	Pior	Variável
Resistência Mecânica	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Fonte: Adaptado Tristão (1995)

Conhecendo-se a influência dos agregados miúdos nas propriedades das argamassas é possível racionalizar a sua utilização e o seu consumo, bem como dos outros materiais que a constituem (GUACELLI, 2010).

#### 4.2.2 Substituição de agregados por resíduos

Em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos supera a quantidade de bens consumidos, sabendo-se que tudo a nossa volta um dia será resíduo, é quase improvável imaginar um modo de vida sem a geração dos mesmos. Nesse contexto, a indústria da construção civil se mostra com grande potencial para a incorporação desses resíduos como materiais de construção, desde que analisadas suas propriedades, possibilitando assim a redução nos custos desses produtos (BESSA, 2011).

Segundo Bessa (2011) diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas sobre a viabilidade da substituição de agregado miúdo natural por resíduos de diferentes origens, por conta dos riscos ambientais inerentes a extração de areia natural.

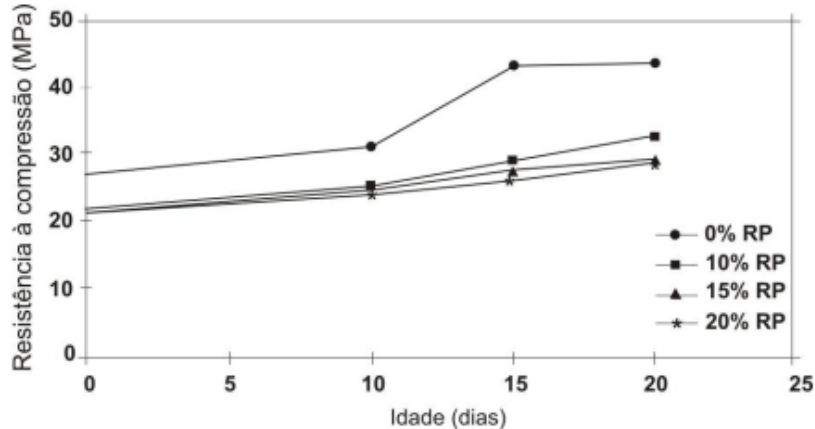
No estudo de Faria et al. (2005), foi pesquisado o uso de argila montmorilonítica, resíduo sólido da indústria química, na substituição da areia em argamassas, concluindo que a mesma pode ser utilizada em teores de até 5% de substituição sem comprometimento da resistência mecânica.

Canellas (2005), investigou o uso de material granulado proveniente de garrafas PET em substituição do agregado miúdo, concluindo ser possível a substituição de 30% de areia por resíduos de PET sem perdas significativas na

plasticidade e nos valores de resistência à compressão e à tração, podendo ser utilizado na confecção de artefatos de concreto sem grande responsabilidade estrutural, e em artefatos de mobiliário urbano.

Ismail e Al-Hashmi (2008) estudaram a substituição de resíduos de plásticos não-biodegradáveis (RP - 80% polietileno e 20% poliestireno) por agregado miúdo, em teores de 10%, 15% e 20%, para a produção de concretos. Os resultados do ensaio de resistência à compressão das misturas ficaram abaixo dos valores de referência para todas as idades analisadas, de acordo com o gráfico 1.

**Gráfico 1 – Resistência à compressão dos corpos de prova em concreto com substituição de areia por RP.**



Fonte: Adaptado Ismail e Al-Hashmi, 2008

Em outro trabalho, Ismail e Al-Hashmi (2009) testaram a substituição de agregado miúdo na produção de concretos, por resíduos de vidro. Os teores testados foram de 0%, 10%, 15% e 20% de resíduo de vidro. Os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão e à flexão dos prismas, mostrou que a substituição de até 20%, em massa, de areia por resíduo não alterou as propriedades testadas, e em alguns, até superou as amostras de referência, como observado na tabela 4.

**Tabela 4 – Resistência à compressão dos concretos confeccionados com resíduo de vidro**

%Resíduo de vidro	Idade (dias) / Resistência à compressão (MPa)			
	3	7	14	28
0%	26,9	31,5	43,8	44,0
10%	29,1	34,6	39,1	40,3
15%	28,9	32,0	38,3	42,0
20%	27,6	31,7	38,0	45,9

Fonte: Adaptado Ismail e Al-Hashmi, 2009

Oliveira et al. (2007), estudaram o uso de pó de mármore como substituto da areia natural em argamassas de assentamento. Em todos os ensaios, os resultados mostraram que o pó de mármore tem melhor desempenho que a areia de rio, tendo o aumento dos valores de resistência à compressão da ordem de 20% e do módulo de elasticidade que foi da ordem de 30%.

Em outro estudo, Freitas et al. (2009), aplicou raspas de borracha vulcanizada proveniente da indústria de moldagem de pneus como substituto do agregado miúdo. O teor de água foi mantido constante e os teores de borracha foram de 5%, 10% e 15%. A conclusão foi que a adição do resíduo de borracha diminuiu a trabalhabilidade do concreto e a resistência mecânica do traço de 15%, foi de 48,3% menor que o concreto referência.

## 5 METODOLOGIA DE PESQUISA

A seguir apresenta-se os materiais e procedimentos utilizados para análise do uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como substituição parcial ao agregado miúdo em argamassas.

### 5.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizados os materiais descritos a seguir.

#### 5.1.1 Cimento

Foi utilizado o cimento *Portland* composto com pozolana classe 32 (CP II Z – 32), disponível no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Campo Mourão (UTFPR-CM), armazenado em uma bombona plástica em um local seco e protegido contra umidade.

#### 5.1.2 Água

A água utilizada para a confecção das argamassas foi da rede de distribuição da Instituição onde foi realizada a pesquisa.

#### 5.1.3 Cal hidratada

A cal foi disponibilizada pelo laboratório da Instituição. Para a preparação das argamassas de referência e as com os teores de substituição da cinza, foram feitas previamente as misturas de cal, areia, CBC e 700ml de água. Essas misturas passaram por um período de descanso (24h) para depois dar continuidade nos processos.

#### 5.1.4 Agregado miúdo: areia e cinza do bagaço da cana-de-açúcar

- **Areia:** Foi utilizada areia disponibilizada pela UTFPR. Inicialmente a areia estava em uma pilha na parte externa do laboratório, sem proteção contra umidade. Foi coletada uma porção dessa areia e levada até o laboratório, onde ficou em uma estufa para a secagem total da amostra. Com o material seco, foram feitos dois ensaios de caracterização do agregado miúdo: determinação da massa unitária e análise granulométrica. Os ensaios foram realizados seguindo as normas NBR NM 45:2006 e NBR NM 248:2003, respectivamente.

Para a determinação da massa unitária foi utilizado uma fôrma retangular com as dimensões apresentadas na tabela 5.

**Tabela 5 – Dimensões da fôrma para ensaio da areia**

<b>Amostras</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>
1	29,810	19,590	6,170
2	29,760	19,640	6,160
3	30,000	19,720	6,150
<b>Média</b>	<b>29,857</b>	<b>19,650</b>	<b>6,160</b>

Fonte: Do autor, 2019.

Com os valores das medias das dimensões, obteve-se um volume de 3613,97 cm<sup>3</sup>. Na figura 7 pode-se visualizar a realização do ensaio.

**Figura 7 – Ensaio massa unitária da areia**



Fonte: Do autor, 2019.

O ensaio foi realizado três vezes, e com o auxílio de uma balança de precisão foram obtidas as massas expressas na tabela 6. Com a média das massas obtidas em cada pesagem, obteve-se o valor da massa unitária de 1,519 g/cm<sup>3</sup>. A massa unitária foi calculada com o valor da massa do agregado e dividido pelo volume do recipiente, no caso a fôrma retangular.

**Tabela 6 – Massa areia seca**

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>
1	5,486
2	5,502
3	5,482
<b>Média</b>	<b>5,490</b>

Fonte: Do autor, 2019.

Para a análise granulométrica da areia foram usadas duas amostras do material seco, cada amostra com massa de 0,5 Kg. A série de peneira utilizada, as massas retidas e as porcentagens retidas e acumuladas estão expostas na tabela 7. O conjunto de peneiras foi montado respeitando-se a ordem crescente (base para topo) da abertura das malhas.

**Tabela 7 – Granulometria da areia**

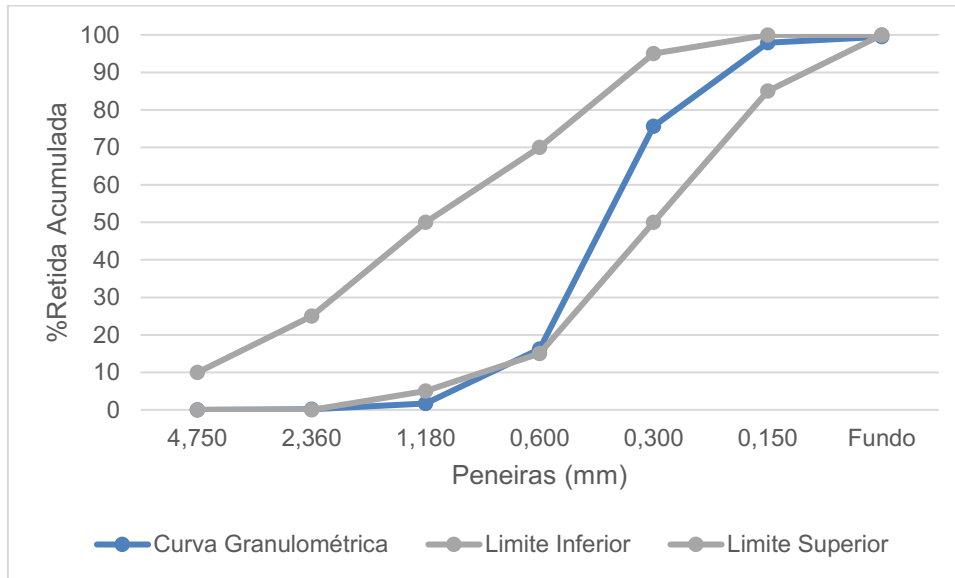
<b>Peneira (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>		<b>Amostra 1</b>		<b>Amostra 2</b>		<b>Média</b>	
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>%Retida</b>	<b>%Acumulada</b>	<b>%Retida</b>	<b>%Acumulada</b>	<b>%Retida</b>	<b>%Acumulada</b>
4,750	0	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
2,360	1	1	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,2
1,180	7	8	1,400	1,600	1,600	1,800	1,500	1,7
0,600	71	74,00	14,200	15,800	14,800	16,600	14,500	16,2
0,300	295	299,00	59,000	74,800	59,800	76,400	59,400	75,6
0,150	116	107	23,200	98,000	21,400	97,800	22,300	97,9
Fundo	8	8	1,600	99,600	1,600	99,400	1,600	99,5
<b>Total</b>	<b>498</b>	<b>497</b>	<b>99,600</b>		<b>99,400</b>		<b>99,500</b>	

Fonte: Do autor, 2019.

A amostra 1 foi colocada sobre a peneira superior do conjunto foi ligado o agitador de peneiras mecânico por 1 minuto e 30 segundos. Após o período de agitação, o material retido em cada peneira e no fundo, foi pesado e então repetiu-se

o procedimento para a amostra 2. No gráfico 2 apresenta-se a curva granulométrica da areia.

**Gráfico 2 – Curva Granulométrica da areia**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Com os valores médios das porcentagens acumuladas, foi calculado o módulo de finura do material, fazendo-se a soma das porcentagens acumuladas dividido por 100. Obteve-se um valor de módulo de finura de 2,91. Segundo a tabela 8, o material caracteriza-se como areia média.

**Tabela 8 – Classificação pelo módulo de finura**

Módulo de Finura	Classificação
MF > 3,9	Muito Grossa
3,3 < MF < 3,9	Grossa
2,4 < MF < 3,3	Média
MF < 2,4	Fina

**Fonte: Do autor, 2019.**

- CBC: as amostras de cinzas foram coletadas na usina de açúcar e álcool, localizada no distrito de Iguatemi, no município de Maringá. Após a coleta, as cinzas foram levadas ao laboratório da instituição e passaram por um processo de secagem em estufa por dois dias, em seguida uma quantidade foi peneirada para a realização dos ensaios. Na figura 8 é possível visualizar a cinza após o peneiramento e pode-se observar a quantidade de resíduos retirados. Os ensaios realizados foram: de massa



unitária e análise granulométrica, de acordo com as normas NBR NM 45:2006 e NBR 248:2003, respectivamente.

**Figura 8 – Preparação da cinza para ensaios**



Fonte: Do autor, 2019.

Para o ensaio de massa unitária, foi utilizado uma fôrma retangular de dimensões descritos na tabela 9 e calculado o volume do recipiente com os valores médios apresentados.

**Tabela 9 – Dimensões da fôrma para ensaio da CBC**

<b>Amostras</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>
1	29,87	19,65	6,10
2	29,83	19,56	6,16
3	30,02	19,66	6,19
<b>Média</b>	<b>29,91</b>	<b>19,62</b>	<b>6,15</b>

Fonte: Do autor, 2019.

O volume da fôrma foi de 3609,241 cm<sup>3</sup> e observa-se na figura 9, a realização do ensaio de massa unitária para a cinza do bagaço da cana.

**Figura 9 – Ensaio massa unitária da CBC**



Fonte: Do autor, 2019.

Com uma balança de precisão, obteve-se as massas do CBC seco, conforme a tabela 10. Com os valores das médias das massas e volume do recipiente, foi encontrado o valor de  $0,37 \text{ g/cm}^3$  de massa unitária do material seco.

**Tabela 10 – Massa do CBC seco**

<b>Amostra</b>	<b>Massa (kg)</b>
1	1,327
2	1,350
3	1,327
<b>Média</b>	<b>1,335</b>

Fonte: Do autor, 2019.

O ensaio granulométrico do CBC foi realizado com duas amostras de 50 g de material seco. O conjunto de peneiras utilizadas, as massas retidas e as porcentagens retidas e acumuladas foram dispostas na tabela 11. A série de peneiras foi montada respeitando a ordem crescente (base para topo) da abertura das malhas. As amostras foram colocadas, uma de cada vez, sobre a peneira superior do conjunto e, logo após, ligou-se o agitador de peneiras mecânico por 1 minuto e 30 segundos.

Tabela 11 – Granulometria da CBC

Peneira (mm)	Massa Retida (g)		Amostra 1		Amostra 2		Média	
	Amostra 1	Amostra 2	%Retida	%Acumulada	%Retida	%Acumulada	%Retida	%Acumulada
1,180	0,31	0,36	0,620	0	0,720	0	0,670	0,000
0,600	1,27	1,30	2,540	2,540	2,600	2,600	2,570	2,570
0,300	3,48	3,50	6,960	9,500	7,000	9,600	6,980	9,550
0,150	14,91	14,85	29,820	39,320	29,700	39,300	29,760	39,310
0,075	18,39	18,40	36,780	76,100	36,800	76,100	36,790	76,100
Fundo	11,59	11,61	23,180	99,280	23,220	99,320	23,200	99,300
Total	49,95	50,02	99,900		100,040		99,970	

Fonte: Do autor, 2019.

Passado o tempo de agitação, foi pesado o material retido em cada peneira e no fundo. Na figura 10, é possível visualizar a (a) quantidade retida em cada peneira e a (b) quantidade retida do fundo, no ensaio granulométrico da CBC, respectivamente.

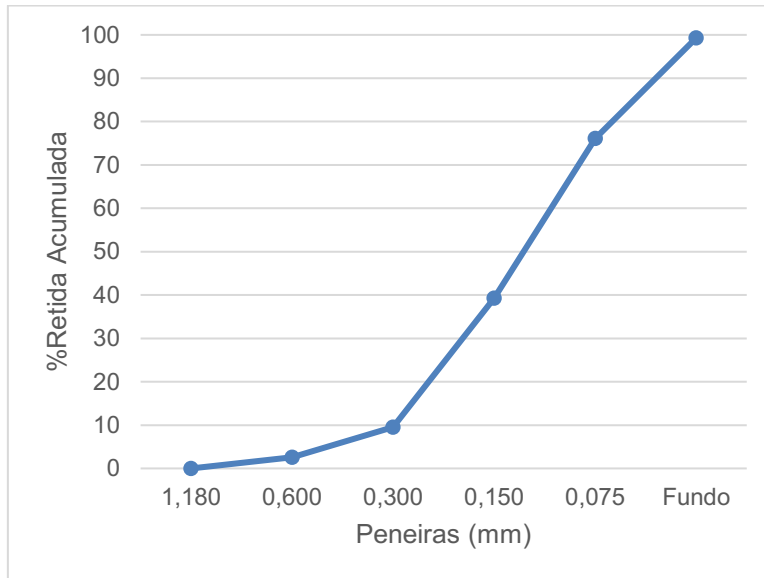
Figura 10 – Cinza retida nas peneiras de ensaio granulométrico



Fonte: Do autor, 2019.

A partir dos dados da tabela 11, foi possível desenhar a curva granulométrica da CBC, com a média das porcentagens retidas, como apresentado no gráfico 3.

**Gráfico 3 – Curva granulométrica da CBC**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Com os valores médios das porcentagens acumuladas, foi calculado o módulo de finura do material, fazendo-se a soma das porcentagens acumuladas dividido por 100. Obteve-se um valor de módulo de finura de 2,27. Segundo a tabela 8, o material caracteriza-se como material fino.

## 5.2 Métodos

Para determinação da quantidade de material a ser utilizado para a confecção dos corpos de prova, foram adotados teores de substituição do material CBC de 0%, 10%, 20% e 30%. Com a definição das porcentagens da CBC, utilizou-se um traço referência de 1:2:8 (em volume) para elaboração de outros três traços com teores de substituição apresentados na tabela 12. Então, foi considerado o volume total de massa que seria utilizado para a produção dos corpos de prova, e assim com o volume total, calculou-se a massa necessária de cada material, conforme a proporção dos traços já definidos.

Tabela 12 - Traços unitários em volume e em massa

Argamassa	Traços em Volume	Traços em massa			
		Cimento: cal hidratada: areia	Cimento: cal hidratada: 90% areia: 10% CBC	Cimento: cal hidratada: 80% areia: 20% CBC	Cimento: cal hidratada: 70% areia: 30% CBC
0%	1:2:8	1:1,24:10,22			
10%	1:2:7,2:0,8	1:1,24:9,64:0,57			
20%	1:2:6,4:1,6	1:1,24:9,07:1,15			
30%	1:2:5,6:2,4	1:1,24:8,50:1,72			

Fonte: Do autor, 2019.

### 5.2.1 Produção dos corpos de prova

Foram produzidos 6 corpos de prova para cada teor de substituição, totalizando 24 corpos de prova para a realização dos ensaios.

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se os seguintes equipamentos e ferramentas: 1 balança com capacidade de 100kg  $\pm$  20g, 1 balança de precisão com capacidade de 5kg  $\pm$  0,01g, recipientes para medir e coletar os materiais, uma fôrma grande para a executar a mistura, 2 colheres de pedreiro, 1 concha metálica, 24 moldes cilíndricos e 1 soquete.

Inicialmente, para a preparação da argamassa, separou-se a cal, a areia e a CBC, para o tempo de maturação da cal de acordo com especificação pela ABNT NBR 7200:1998. A quantidade de água utilizada de início foi de 700ml para cada um dos 4 traços (0%, 10%, 20% e 30% de CBC). Após, as misturas foram colocadas na fôrma, adicionando-se o cimento e, misturando-se manualmente por cerca de 1 minuto. Em seguida, foi acrescentado mais 300 ml de água, sendo misturados por mais 3 minutos. Na figura 11, é possível observar a (a) mistura de massa contendo cal e areia, para o traço com 0% de CBC e a (b) mistura contendo cal, areia e CBC, para o traço com substituição de 10% de CBC. Verifica-se visualmente um aumento de volume na massa que contém o teor de 10% de CBC.



**Figura 11 – Massas com 0% e 10% de CBC**



Fonte: Do autor, 2019.

Para a execução das misturas, contendo as porcentagens de substituição da CBC, fez-se necessário adição de maiores proporções de água, visto que o material de reciclagem absorve maior quantidade da mesma, e para que ficasse com uma textura homogênea e com maior trabalhabilidade. Na tabela 13 se encontra a quantidade de água utilizada para cada teor de substituição, onde é possível verificar os altos valores da relação a/c que foram utilizados.

**Tabela 13 – Quantidade de água**

Consumo de Materiais	Cimento (Kg)	Água (l)	Fator a/c
0% CBC	0,398	1,00	2,51
10% CBC	0,398	1,05	2,64
20% CBC	0,398	1,30	3,27
30% CBC	0,398	1,65	4,15

Fonte: Do autor, 2019.

Então, seguindo-se a ABNT NBR 13279:2005, foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos para cada um dos traços descritos na tabela 12, de diâmetro de 5cm e altura de 10cm. Logo após a moldagem, os corpos de prova foram levados à câmara úmida, protegidos de intempéries, sobre uma superfície horizontal rígida e livre de vibrações, durante as primeiras 24h. Na figura 12 pode-se visualizar o modo de armazenamento dos corpos de prova.

**Figura 12 – Armazenamento corpos de prova**



Fonte: Do autor, 2019.

Após 24h horas, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e mantidos em câmara úmida à temperatura de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , para processo de cura durante 28 dias, conforme figura 13.

**Figura 13 – Processo de cura**



Fonte: Do autor, 2019.

### 5.2.2 Ensaio de absorção de água por imersão

Este ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 9778:1987, fazendo-se o uso de uma balança, recipientes para a imersão dos corpos de prova e uma estufa com dimensões apropriadas para o armazenamento das amostras à temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Primeiramente determinou-se a massa de cada corpo de prova mantido em estufa à temperatura de  $(105\pm 5)$  °C, pelos períodos de 24h, 48h e 72h. Na figura 14, observa-se os corpos de prova 72h após permanência em estufa. Nesta etapa, foi possível visualizar o clareamento da coloração dos corpos de prova que continham a cinza, nos quais anteriormente, possuíam a coloração bem escura, característica da cinza com uma combustão incompleta.

**Figura 14 – Corpos de prova após 72h em estufa**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Com a completa secagem em estufa, iniciou-se o processo de imersão dos corpos de prova durante 72h. Estas, foram mantidas com  $\frac{1}{3}$  de água durante as primeiras 4h,  $\frac{2}{3}$  nas 4h seguintes, estando completamente submersos ao final de 64h restantes, conforme a figura 15.



**Figura 15 – Corpos de prova imersão total em água**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Assim, foi possível coletar os dados necessários para calcular a absorção após imersão em água.

### 5.2.3 Resistência à compressão

Para início do ensaio com os corpos de prova, foram retiradas duas medidas de altura e diâmetro, do topo e da base dos corpos de prova, com o auxílio de um paquímetro. Em seguida, foi utilizada a máquina de ensaio de resistência à compressão modelo EMIC, para a realização do ensaio de resistência a compressão axial da argamassa.

Conforme a norma ABNT NBR 13279:2005, se faz necessária a limpeza dos pratos da prensa e faces do corpo de prova para o adequado posicionamento na máquina. Na figura 16, pode-se observar o modo como foi posicionado os corpos de prova para a realização do ensaio.

**Figura 16 – Ensaio de resistência à compressão axial**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Após a colocação cuidadosa e centralizada no prato inferior dos corpos de prova, deu-se início aos ensaios em cada corpo de prova, realizando a aplicação de uma carga sem choques e de forma contínua de  $(50 \pm 10)$  N/s até a ruptura. Então, com a coleta desses dados foi possível calcular a resistência à compressão, dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Características físicas

Com a realização dos ensaios de massa unitária e granulometria foi possível obter os resultados expressos na tabela 14.

**Tabela 14 – Características físicas dos agregados**

<b>Propriedades</b>	<b>CBC</b>	<b>Areia</b>
Módulo de Finura	2,27	2,91
Dimensão Máxima Característica (mm)	0,6	1,18
Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	0,37	1,52

Fonte: Do autor, 2019.

Verifica-se através dos dados, diferenças entre os materiais utilizados (areia e CBC), como por exemplo o módulo de finura dos materiais que se classificou a areia como média e a CBC como fina, assim como os resultados das massas unitárias onde, a densidade da areia se mostrou quatro vezes maior que a das cinzas.

### 6.2 Absorção de água por imersão

Os resultados do ensaio de absorção de água por imersão estão apresentados na tabela 15. Verifica-se que a utilização de CBC como substituição do agregado miúdo, promoveu um aumento da absorção de água de 10,77%, 19,51% e 37,35%, para os teores de 10, 20 e 30%, respectivamente em relação a substituição de referência. Assim, nota-se que quanto maior a quantidade de cinza substituída, maior foi a absorção de água.

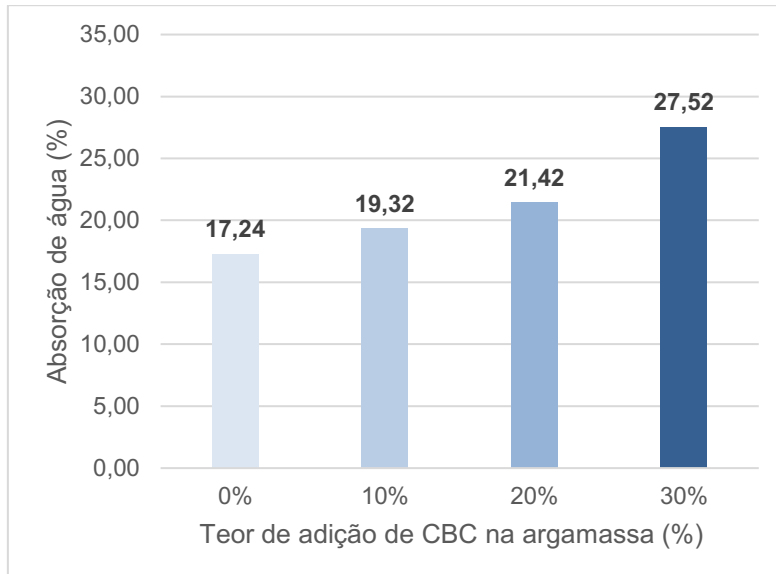
**Tabela 15 - Absorção de água por imersão (g)**

<b>CP</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
1	17,05	19,34	21,65	28,07
2	17,69	18,89	21,29	25,73
3	17,41	19,68	21,56	27,74
4	16,98	18,88	21,16	27,57
5	16,92	19,69	21,44	28,59
6	17,41	19,41	21,43	27,43
<b>Média</b>	<b>17,24</b>	<b>19,32</b>	<b>21,42</b>	<b>27,52</b>

Fonte: Do autor, 2019.

No gráfico 4, observa-se o aumento da absorção de água por imersão para as amostras contendo a cinza, em relação a argamassa de referência. Comparando com os resultados de Canova, Miotto e De Mori (2015), verificaram em seus estudos que ocorreu uma redução de absorção para o teor de 5%, e a partir de 10%, houve um aumento na absorção de água como observado no atual estudo.

**Gráfico 4 – Resultados médios de absorção de água**



Fonte: Do autor, 2019.

Analisando os estudos de Macedo (2009), que realizou ensaio de absorção por capilaridade, ao utilizar a cinza como adição em argamassas e não substituição ao agregado miúdo, observou-se uma redução da absorção de água, verificando o preenchimento dos vazios na argamassa com a adição de finos, o que dificulta a movimentação da água.

### 6.3 Resistência à compressão

Após a realização do ensaio nos corpos de prova, obteve-se os resultados expostos na tabela 16.

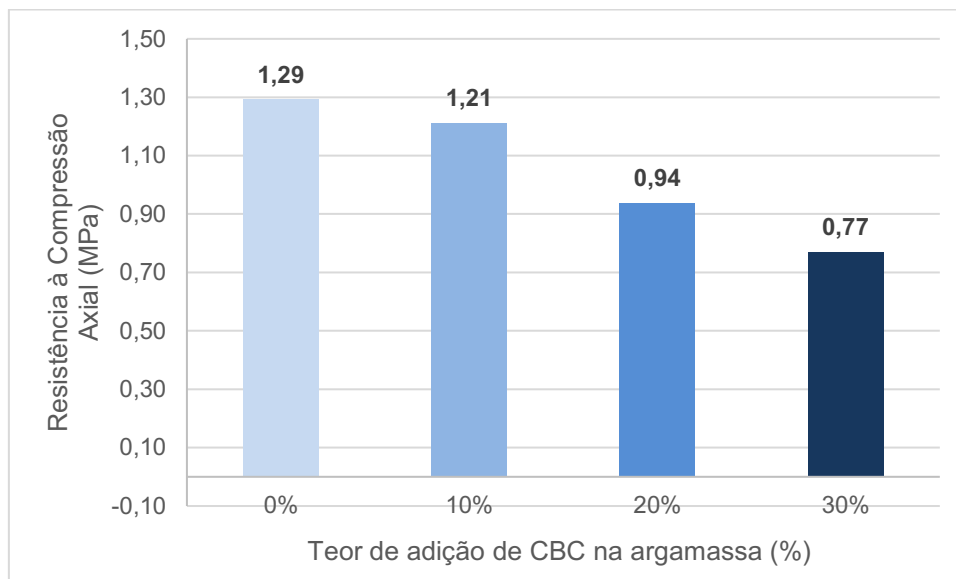
Tabela 16 - Ensaio de compressão axial

Teor CBC / Amostra	Força (KN)			
	0%CBC	10%CBC	20%CBC	30%CBC
CP1	3,00	2,30	1,80	1,60
CP2	2,50	2,40	1,90	1,60
CP3	2,70	2,10	2,00	1,50
CP4	2,60	2,60	1,90	1,50
CP5	2,60	2,60	1,80	1,20
CP6	1,90	2,30	1,60	1,60
<b>Média</b>	<b>2,55</b>	<b>2,38</b>	<b>1,83</b>	<b>1,50</b>

Fonte: Do autor, 2019.

Com os dados coletados, foi possível então através dos cálculos, alcançar os seguintes resultados de resistência média dos corpos de prova conforme gráfico 5.

Gráfico 5 – Resistência à compressão axial média



Fonte: Do autor, 2019.

Pode-se observar que houve uma queda na resistência à compressão axial da argamassa com a substituição parcial pela CBC, em relação a que não possui nenhum teor de substituição, especialmente quando analisadas as substituições iguais ou acima de 20%, que ocorreu uma redução de 27,13% e, para 30% de substituição reduziu-se 40,31%. Realizando-se a análise da queda na resistência com o fator a/c utilizado em cada teor, disponível na tabela 13, é possível verificar novamente que

conforme foi aumentando-se a quantidade de água, foi-se diminuindo a resistência nos corpos de prova com a adição da CBC.

Tomando como base o trabalho de Canova, Miotto e De Mori (2015), no qual substituíram uma porcentagem de 5, 10, 15 e 20%, notou-se um aumento nas resistências com substituição de até 10%, a partir daí percebeu-se uma queda nas resistências, que pode ter ocorrido pelo material apresentar excesso de finos em função da quantidade de material pulverulento encontrado na CBC.

Já no presente trabalho, é possível dizer que, além das características do material – como o tipo da queima do bagaço, que é realizada sem controle nas caldeiras da usina, de maneira a ser identificada pela coloração escura das cinzas (combustão incompleta com alto teor de carbono), conforme Cordeiro (2006) – e da quantidade de material pulverulento, cuja alta exigência de água foi constatada neste trabalho, há uma queda de resistência devido aos fatores mencionados: aumento de fator a/c e aumento do teor de CBC.

Considerando os estudos de Lima et.al (2009), em que se utilizou teores de substituição de 10, 15, 20, 30, 50 e 100% de CBC, os resultados obtidos foram bem diferentes, pois as resistências alcançadas mostraram valores elevados, exceto para a substituição de 100% de CBC. Mas observa-se que, neste estudo, foi utilizado cimento CP V – ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos) e o fator a/c foi mantido constante para todos os traços.

**Figura 17 – Corpos de prova após o rompimento**



**Fonte: Do autor, 2019.**

Na figura 17, pode-se observar os corpos de prova já rompidos, onde é possível analisar a forma com que estes romperam de acordo com a ABNT NBR 5739:1994.

Para a maior parte das amostras, o tipo de ruptura foi do tipo cônico cisalhada, o que demonstra a homogeneidade das misturas, mas algumas, assim como observa-se na figura 17, no corpo de prova de referência, houve rupturas do tipo colunar, que ocorre quando o corpo de prova sofreu algum defeito de moldagem ou retificação.

## 7 CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas e ensaios realizados, pode-se concluir que:

O setor da construção civil, no Brasil, é o que mais consome areia para suas atividades, dentro delas destaca-se a produção de argamassas e concretos, e o comércio de materiais de construção, respectivamente. Considerando esse consumo, e ainda a extração da areia, que se constitui numa atividade mineradora responsável por impactos ambientais muitas vezes irreversíveis, que degradam o meio ambiente, torna-se necessário estudos de materiais que possam substituir os agregados.

Na preparação das argamassas, notou-se a necessidade de aumentar o fator a/c, o que claramente, influenciou na diminuição da resistência à compressão, como é possível observar, a partir dos ensaios realizados que, na substituição de 30% da CBC, ocorreu uma redução de 40,31% da resistência em relação ao traço referência (0% CBC). Para o ensaio de absorção de água, verificou-se um aumento de aproximadamente 11%, na argamassa com teor de substituição de 10% da CBC, em relação à argamassa de referência (0% de CBC), assim como nos teores de 20% e 30%, afirmando que, conforme o aumento da adição de cinza, maior seria a quantidade de água utilizada, o que não é muito interessante.

Avaliando os resultados dos ensaios, observou-se que o material demonstrou diversas características não favoráveis como substituição ao agregado miúdo, por exemplo o aumento de volume na massa que continha a adição da cinza, que se apresentou excessivamente poroso, notando-se um inchamento da argamassa em sua preparação e a necessidade de adições excessivas de água, que causam a redução na resistência do material com a adição da CBC.



## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7225**: Materiais de pedra agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2006.

\_\_\_\_\_. **NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. 2003.

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

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de Pet, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Rio de Janeiro, 2005, 78p. Dissertação (Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

CANOVA, J.A.; MIOTTO, J. L.; DE MORI, L.M. **Avaliação De Argamassa Mista De Revestimento Com Substituição Da Areia Natural Por Cinza De Bagaço De Cana-De-Açúcar**. Ciência E Engenharia, ISSN 1883-4071, 2015.

CAVALCANTI, L.M.A.; RIBEIRO, D.V. **Análises físicas e mecânicas de argamassas de cimento Portland com areia contendo cinzas da queima do bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo**. Fórum Ambiental, v.9, n.1, ISSN 1980-0827, 2013.

CINCOTTO, M. A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. Editora PINI/IPT. São Paulo, 1988.

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

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

DE PAULA, M. O.; TINOCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, 2007, Bento Gonçalves, RS. Anais do 49º. CBC. São Paulo, SP: IBRACON, 2007.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro: 2005**. Brasília, 2005.

EVANGELISTA, R.G. **Avaliação da resistência mecânica do concreto utilizando areia artificial**. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

FARIA, D. F.; OLIVEIRA, P. S. M.; SANTOS, R. J.; ORTEGA, F. S.; ALBERS, A. P. S. **Reaproveitamento de resíduos sólidos de indústria química para produção de argamassas.** In: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2005, São José dos Campos.

FRAZÃO, E. B, **Tecnologia de rochas na construção civil.** Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 132 p. 2002.

FRAZÃO, E.B., PARAGUASSU, A.B. **Materiais rochosos para construção.** In: **Geologia de engenharia.** São Paulo:ABGE,1998.

FREITAS, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; GALVÃO, J. C. A.; FILHO, C. V. G.; FERREIRA, E. S. **Desempenho físico-químico e mecânico de concreto de cimento Portland com borracha de estireno-butadieno reciclada de pneus.** Química Nova, Vol. 32, No. 4, 2009.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; TCHANGANEL, K. **Evaluation of bagasse ash as supplementary cementious material.** Cement & Concrete Composites, v. 29, 2010.

GUACELLI, P. A. G. **Substituição Da Areia Natural Por Areia De Britagem De Rochas Basálticas Para Argamassas De Revestimento,** 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual De Londrina, Londrina, 2010.

HERNÁNDEZ, J. F. M.; M.; MIDDENDORF, B.; GEHRKE, M.; BUDELMANN, H. **Use of wastes of sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reactions.** Cement and Concrete Research, v.28, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **A geografia da cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro, 2017.

ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHIMI, E. A. **Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete.** Waste Management, v.29, 2009.

ISMAIL, Z. Z.; AL-HASHIMI, E. A. **Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement**. Waste Management, v.28, 2008.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. G. **Cinzas e aglomerantes alternativos**. In: Tecnologias e materiais alternativos de construção / W. J. Freire, A. L. Beraldo (coord.) – Campinas, SP: Ed. UNICAMP, 2003.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**. Revista Árvore (online). 2005, v.29. ISSN 0100-6762.

LIMA, J. A. R., **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 246p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A.; SAVASTANO JR., H.; FIORELLI, J. **Physico-chemical analysis of the cashew nut production waste aiming their use in cement composites**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, Campinas, v.3 n.3, Set/Dez., 2009.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials**. Advances in Concrete Technology, ISSN 1024-5308; v.1, 1996.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Dados estatísticos. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> (Acesso em 05/2019).

MARGON, P. V. **Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétricas em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MARTINS, C. H.; MACHADO, P. H. T. **Estudo da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas e concretos.** In: ECMEC2010 – Encontro Nacional de Materiais e Estruturas Compósitas, 2010, Porto. Anais do ECMEC 2010. Porto: Editora da Universidade do Porto, 2010. v.1.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – estrutura, propriedades, materiais.** São Paulo: PINI, 1994.

NETO, G. T. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concreto de cimento Portland.** 2006. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NUNES, I. H. S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

ODA, G. A.; LIBÓRIO, J.B.L. **Estudo da adição da sílica ativa da casca do arroz em matrizes de cimentos Portlands.** In: V Simpósio em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, 2002.

OLIVEIRA, P.V.; BARBOSA, M.T.G.; DARWISH, F.A. **Estudo da viabilidade do emprego do pó de mármore, como agregado miúdo, na confecção de argamassas.** In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, RS. Anais do 49º CBC. São Paulo: IBRACON, 2007.

PróAlcool – **Programa Brasileiro de Álcool.** Portal do Biodiesel, 2012. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol>. (Acesso em 05/2019).

SINGH, N. B.; SINGH, V. D.; RAI, S. **Hydration of bagasse ash-blended Portland cement.** Cement and Concrete Research. Elmsford, n. 30, p. 1485-1488, 2000.

SILVA FILHO A. F.; MOURA, W. A.; LEITE, R. S. **Caracterização de escória de ferro-cromo como agregado graúdo para produção de concreto.** Revista Sientibus, n.26, p. 95-110, 2002.

SOUZA, G. N.; FORMNAGINI, 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.** In: Congresso Brasileiro de Concreto, 49, 2007, Bento Gonçalves, RS. Anais... IBRACON, 2007

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades mecânicas das argamassas.** Goiânia, 1995.

VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M.A.P.; AGASSI, J. D. **Estudo de dosagens e propriedades mecânicas de concretos utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como adição mineral.** In; II Encontro Nacional sobre Resíduos Sólidos, Maceió, 2011.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Campinas, 1997.