

II Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

20 a 23 de novembro de 2018 - Naviraí - MS



ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO DO TRAÇO DE CIMENTO PELO COMPOSTO DE CINZA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Jefferson Augusto Raniero

Centro Universitário de Maringá (UNICESUMAR)

jeffersonraniero.eng@hotmail.com

Jaiane Aparecida Pereira

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

jaiane.pereira@ufms.br

RESUMO

A busca por diferentes tipos de matérias-primas para o ramo da construção civil tem sido intensificada na tentativa de descobrir novos materiais que possam substituir insumos, trazendo vantagens quanto à resistência e ao mesmo tempo econômicas, como o caso da cinza e do bagaço de cana-de-açúcar. Tendo em vista essa necessidade, o presente trabalho tem por objetivo analisar a resistência do concreto substituindo o traço de cimento por uma composição contendo cinza e bagaço de cana-de-açúcar, tendo por fim a diminuição do acúmulo de resíduos das usinas sucro-alcooleiras, dando uma destinação correta a esses subprodutos. Em virtude disso, foram confeccionados corpos de prova para a determinação da resistência do concreto ao inserir quantidades estipuladas de cinza e bagaço de cana. Como principais resultados, observou-se que é possível fazer a substituição da cinza de cana-de-açúcar de forma satisfatória. Contudo, a substituição por cinza somada ao bagaço de cana não apresentou a resistência esperada. Portanto, não se recomenda o uso de bagaço de cana de açúcar para substituição do traço de concreto.

Palavras-chave: Resistência do concreto; cinza de cana-de-açúcar; bagaço da cana-de-açúcar.

1 INTRODUÇÃO

O uso de diferentes tipos de materiais para serem usados no ramo da construção civil vem sendo estudados por diversos autores (SARMIENTO, 1996; SARAZ; ARISTIZABAL; MEJIA, 2007; NUNES et al., 2008; OLIVEIRA; GOUVEIA; TEIXEIRA, 2014). Esses estudos, de modo geral, tentam encontrar novos materiais que possam substituir insumos, trazendo vantagens quanto à resistência e ao mesmo tempo econômicas, como é o caso dos subprodutos da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar é oriunda do sudoeste asiático, sendo a principal matéria-prima para fabricação do açúcar e do álcool. Nesta produção, o subproduto gerado é o bagaço de cana-de-açúcar, pelo processo de moagem (SAMPAIO, 2013). A extração do caldo da cana-de-açúcar gera grande quantidade de bagaço, aproximadamente 30% da cana moída. O bagaço é uma importante fonte energética, sendo que 95% de todo o bagaço produzido no Brasil são queimados para geração de vapor, produzindo, por sua vez, a cinza do bagaço (CORDEIRO, 2006). A cinza da cana-de-açúcar é um resíduo que, se não descartado corretamente, pode trazer prejuízos ao meio ambiente. O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e álcool e maior exportador mundial de açúcar (TEODORO et al., 2013).

Nos últimos anos, tem se intensificado os estudos sobre a possibilidade de redução da produção de clínquer pela indústria cimenteira ou sobre a redução parcial do cimento por material cimenteiro e/ou pozolânico no concreto (CORDEIRO, 2006; DE PAULA et al., 2009). Materiais pozolânicos são materiais silicosos ou silicoaluminosos que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, sendo que na presença da água reagem com hidróxido de cálcio a temperatura ambiente para formar compósitos com propriedades aglomerantes, podendo ser naturais ou artificiais (NBR 12653, 1992).

A cinza de bagaço de cana é um produto que representa um importante passivo ambiental da indústria sucroalcooleira e seu emprego como pozolanas em substituição parcial do cimento Portland tem demonstrado um grande potencial de utilização (SECCHI et al., 2010; SESSA, 2013). Pelo fato de se buscar novas alternativas econômicas e sustentáveis para o ramo da construção civil, optou-se por estudar a possibilidade de substituição do traço de cimento pela cinza e pelo bagaço de cana, seguindo os estudos de Sarmiento (1996), De Paula (2006), Silveira (2010) e Oliveira, Gouveia e Teixeira (2014).

Tanto a cinza quanto o bagaço de cana são resíduos gerados pela indústria

sucroalcooleira e outras empresas que trabalham com a cana-de-açúcar como matéria-prima. Portanto, ao usá-las possibilita-se o descarte correto desses materiais, que não serão descartados de forma incorreta no meio ambiente, solucionando assim um problema das empresas envolvidas na manufatura da cana (SARAZ; ARISTIZABAL; MEJIA, 2007).

A relevância deste trabalho se dá também pelo fato da carência de estudos que enfatizem a influência das diferentes variedades da cana e seus resíduos nas propriedades do concreto (SAMPAIO, 2013). Por muitos anos, na indústria sucroalcooleira existiu um grande desafio quando se trata do descarte de resíduos gerados no seu processo de produção. Isso porque o processo produtivo gerava problemas quando os resíduos eram descartados no meio ambiente. Portanto, atualmente tornou-se uma vantagem econômica utilizar esses resíduos (LIMA et al., 2010).

Além disso, discute-se que os custos na construção civil são elevados, requerendo o máximo de economia possível. Ao substituir uma quantidade de cimento por materiais sem custo adicional, se a resistência não diminuir com determinada adição ou se manter a resistência do concreto normal, os ganhos serão atingidos. Lopes et al. (2014) verificou a viabilidade da substituição parcial de cinza de bagaço de cana, desde que a relação água/cimento e a porcentagem em massa sejam adequadas.

Neste contexto, acredita-se que misturar a cinza e o bagaço de cana no cimento Portland, pode trazer duas vantagens: por um lado, pode-se diminuir o problema do descarte incorreto; e por outro, diminuir os custos da construção civil, que são elevados.

Diante dessa discussão, o presente trabalho busca responder o seguinte problema: Qual a resistência do concreto ao substituir o traço de cimento por uma composição contendo cinza e bagaço de cana-de-açúcar? A partir da resposta a essa pergunta, almeja-se conhecer a possibilidade de diminuir o acúmulo de resíduos das usinas sucroalcooleiras por meio de uma destinação correta dos mesmos. Ao mesmo tempo, pretende-se diminuir os custos da construção civil, sem prejuízos a qualidade do material.

Parte-se da hipótese de que ao utilizar a cinza e o bagaço de cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland, pode-se aumentar a resistência do concreto.

Para responder ao problema de pesquisa, o objetivo geral do presente trabalho é analisar a resistência do concreto, substituindo o traço de cimento por uma composição contendo cinza e bagaço de cana-de-açúcar, tendo por fim a diminuição do acúmulo de resíduos das usinas sucroalcooleiras, dando uma destinação correta a esses subprodutos.

De forma específica, pretende-se: (1) identificar qual a resistência obtida considerando a substituição de diferentes quantidades de resíduos do composto aos 7, 14 e 28 dias; (2) realizar ensaio de consistência por meio do teste de abatimento do tronco de cone com adensamento manual, feito para cada uma das porcentagens; (3) determinar o módulo de elasticidade do concreto; (4) comparar os níveis de resistência obtidos com vistas à economia de concreto sem prejuízo à sua resistência; e (5) determinar o índice de atividade pozolânica.

Para atingir os objetivos propostos, este artigo está estruturado da seguinte maneira: além desta introdução, na seção seguinte exibe-se uma discussão sobre o cimento Portland e o concreto, bem como discorre-se sobre a cinza e o bagaço de cana-de-açúcar. Depois, expõe-se o método adotado nesta pesquisa. Em seguida, apresentam-se os resultados. E, por fim, as conclusões são expostas.

2 O CIMENTO PORTLAND E O CONCRETO

O cimento Portland é um dos mais utilizados, sendo patenteado por Joseph Aspdin. Esse cimento foi obtido a partir da queima de calcário e argila em elevadas temperaturas, sendo depois moídos e misturados (CORDEIRO, 2006). O autor revela que o nome Portland foi dado em razão de sua semelhança, uma vez enrijecido, com rochas calcárias da Península de Portland, localizada no sul da Inglaterra.

Ao misturar o cimento com outros materiais, cria-se o concreto. Segundo Sampaio (2013) o concreto é o material resultante da combinação em determinadas proporções dos seguintes itens: (1) um aglomerante, como o cimento Portland; (2) um agregado miúdo, geralmente areia lavada; (3) um agregado graúdo, normalmente brita; e (4) água. Além disso, podem ser adicionados aditivos que influenciem no desempenho. Os agregados são materiais granulares, geralmente inertes, sem forma e volume definidos. Podem ser de origem natural ou artificial, tendo um papel marcante na composição do concreto, pois ocupa quase 80% do peso estrutural (SAMPAIO, 2013).

Atualmente existem vários tipos de cimento. Um resumo dos diversos tipos e as normas que especificam cada um deles é mostrado na tabela 1.

II Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

20 a 23 de novembro de 2018 - Naviraí - MS



Tabela 1: Nomenclatura dos cimentos Portland

| | Nome técnico | Sigla | Classe | Identificação do tipo e classe |
|--|---|----------|--------|--|
| CIMENTO PORTLAND COMUM (NBR 5732) | Cimento Portland comum | CP I | 25 | CP I-25 |
| | | | 32 | CP I-32 |
| | | | 40 | CP I-40 |
| | Cimento Portland comum com adição | CP I-S | 25 | CP I-S-25 |
| | | | 32 | CP I-S-32 |
| | | | 40 | CP I-S-40 |
| CIMENTO PORTLAND COMPOSTO (NBR 11578) | Cimento Portland composto com escória | CP II-E | 25 | CP II-E-25 |
| | | | 32 | CP II-E-32 |
| | | | 40 | CP II-E-40 |
| | Cimento Portland composto com pozolana | CP II-Z | 25 | CP II-Z-25 |
| | | | 32 | CP II-Z-32 |
| | | | 40 | CP II-Z-40 |
| CIMENTO PORTLAND DE ALTO- FORNO (NBR 5735) | Cimento Portland composto com calcário | CP II-F | 25 | CP II-F-25 |
| | | | 32 | CP II-F-32 |
| | | | 40 | CP II-F-40 |
| | Cimento Portland de alto-forno | CP III | 25 | CP III-25 |
| | | | 32 | CP III-32 |
| | | | 40 | CP III-40 |
| CIMENTO PORTLAND POZOLÂNICO (NBR 5736) | Cimento Portland pozolânico | CP IV | 25 | CP IV-25 |
| | | | 32 | CP IV-32 |
| CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL (NBR 5733) | Cimento Portland de alta resistência | CP V-ARI | - | CP V-ARI |
| CIMENTO PORTLAND RESISTENTE AOS SULFATOS (NBR 5737) | Cimento Portland resistente a sulfatos | - | 25 | Sigla e classe dos tipos originais acrescidas do sufixo BC. |
| | | | 32 | |
| | | | 40 | |
| CIMENTO PORTLAND BRANCO (NBR 12989) | Cimento Portland branco estrutural | CPB | 25 | CPB-25 |
| | | | 32 | CPB-32 |
| | | | 40 | CPB-40 |
| | Cimento Portland branco não estrutural | CPB | - | CPB |
| CIMENTO PARA POÇOS PETROLÍFEROS (NBR 9831) | | CPP | G | CPP – classe G |

Fonte: (SAMPAIO, 2013 apud ABCP, 2002).

Observa-se a existência de diferentes tipos de cimentos, cada um com uma composição específica, dependendo de sua finalidade. As diferenças ocorrem devido a alguns aspectos como: retardamento ou aceleração da pega do cimento; o desprendimento de calor, moderado

ou de forma mais lenta; maior ou menor impermeabilidade e durabilidade; entre outros. O cimento Portland tipo 2 (CP 2 Z 32 R) foi usado no presente trabalho para a confecção dos corpos de prova.

Canova, Miotto e Mori (2015) revelam que, de todos os segmentos da construção civil, o que obteve maior desenvolvimento e abrangência com relação ao conceito de sustentabilidade foi o de materiais e componentes, principalmente aqueles que usa o cimento Portland como matriz. Esse fato evidencia a possibilidade de desenvolvimento de novos estudos que utilizem esse cimento.

Após discorrer sobre os tipos de cimento e entender sua composição, passa-se agora a algumas questões para melhor entendimento da utilização da cinza e do bagaço de cana-de-açúcar.

2.1 CINZA E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os resíduos de diferentes segmentos industriais vêm sendo estudados para a possibilidade de utilização na indústria da construção civil (CANOVA; MIOTTO; MORI, 2015), como a cinza da cana-de-açúcar. De acordo com Cortez, Magalhães e Happi (1992) a composição média da cana-de-açúcar tem as seguintes proporções: 14% de fibra, 12% de sacarose, 3% impurezas e o restante de água. Já a composição química do bagaço depende do tipo de cana-de-açúcar cultivada, dos fertilizantes e herbicidas usados e de fatores naturais como o clima, o solo e a água (CORDEIRO, 2006).

A tabela 2 apresenta uma análise de amostras de bagaço.

Tabela 2: Composição química elementar de amostras de bagaço de cana-de-açúcar seco

| Elemento | Quantidade (% em massa) | | |
|-----------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Nassar et al. (1996) | Jorapur e Rajvanshi (1997) | Jenkins et al. (1998) |
| Carbono (C) | 49,44 | 44,10 | 48,64 |
| Hidrogênio (H2) | 6,09 | 5,26 | 5,87 |
| Oxigênio (O2) | 40,57 | 44,40 | 42,82 |
| Nitrogênio (N2) | -- | -- | 0,16 |
| Cinza | 3,40 | 4,20 | 2,44 |

Fonte: Cordeiro (2006, p. 45).

Na tabela 2 observa-se que os diferentes autores retratam pequenas variações em

termos de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e cinza nas diferentes amostras, devido as diferenças apontadas anteriormente. Isso mostra a necessidade de uma análise abrangente para conhecer as diversas variações e sua influência na combinação com outros materiais.

Segundo Sessa (2013) o primeiro registro da tecnologia de cinza de bagaço de cana foi em 1996 no estudo de Freitas, no qual o material foi coletado na Unidade Agroindustrial Usina São José, localizada no Município de Campos dos Goytacazes-RJ. Esse material foi usado para a confecção de tijolos de solo-cimento, o que proporcionou um aumento na resistência à compressão e uma redução da absorção de água de todos os traços estudados (FREITAS, 1996; SESSA, 2013).

Desde então novos estudos foram desenvolvidos, pois a destinação da cinza é atualmente um dos maiores problemas enfrentados pelas usinas (FERNANDES, 2014). Fernandes (2014) revela que a fuligem gerada no processo das usinas é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação. Segundo o autor, esses materiais somados a cinza da caldeira formam os resíduos finais do processo industrial, sendo que não há possibilidade de redução. Neste caso, a utilização seria a solução mais prudente.

A utilização da cinza de cana-de-açúcar foi estudada por Fernandes et al. (2015) para verificar a sua viabilidade técnica como adição mineral em concretos. Esses autores utilizaram porcentagens de cinza como substituição parcial ao agregado miúdo. Os resultados indicaram ser possível essa substituição parcial para produção de concretos, pois os resultados quanto à durabilidade foram similares ao concreto sem adição de cinza (FERNANDES et al., 2015).

Castro e Martins (2016) examinaram a caracterização da cinza pesada e da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar com intuito de apontar a possibilidade de substituição da areia e do cimento. Os resultados mostraram que a cinza pesada mostrou uma característica semelhante a areia, podendo ser uma fonte viável de adição mineral; quanto à cinza volante, comprovou-se sua reatividade e sua possibilidade de substituir o cimento em determinadas quantidades (CASTRO; MARTINS, 2016).

O estudo de Canova, Miotto e Mori (2015), por sua vez, analisou os efeitos da cinza em argamassa mista de revestimento. A partir de diversos testes, os autores consideraram viável a utilização de até 5% de substituição da areia pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

De modo geral, verifica-se que os estudos apresentaram resultados satisfatórios no uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Entretanto, não foram encontrados estudos que utilizaram o bagaço da cana, o que reforça a necessidade de desenvolvimento do presente

estudo.

3 MÉTODO

Para desenvolvimento do trabalho foram confeccionados corpos de prova para a determinação da resistência do concreto ao inserir quantidades estipuladas de cinza e bagaço de cana. Para isso, foram utilizados os equipamentos da Unicesumar. As amostras utilizadas são resíduos do uso da cana-de-açúcar, cedidas pela Usina de Açúcar Santa Terezinha (Usaçucar) em Iguatemi-PR.

Os resíduos foram fervidos por cerca de 30 minutos para a retirada da sacarose. Depois os mesmos foram deixados em uma estufa por 24 horas, a uma temperatura de 50 graus, para remover a umidade. Tanto a cinza quanto o bagaço foram classificados para obter sua granulometria, por meio do agitador de peneiras eletromecânico com uma amostra de 150 gramas para cada. Os resultados estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado da análise granulométrica

| Peneira (mm) | Resíduo retido (g) | |
|--------------|--------------------|--------|
| | Cinza | Bagaço |
| 9,5 | 0 | 44 |
| 2 | 25 | 83 |
| 1,7 | 7 | 0 |
| 1,18 | 11 | 0 |
| 1 | 11 | 4 |
| 0,6 | 15 | 0 |
| 0,425 | 9 | 13 |
| 0,3 | 17 | 0 |
| Fundo | 55 | 6 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Depois de retiradas do agitador de peneiras, as amostras apresentaram uma característica homogênea, como mostrado na figura 1.

Figura 1: Característica das Amostras



Fonte: autores

Para a definição do traço padrão do concreto foi usado o cimento CP II Z 32 R, com base de referência o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para 20 MPa de resistência sendo o *slump test* de 10 (+ ou - 2). Este método é definido por uma dosagem experimental, na qual para sua obtenção são determinadas as características dos materiais que serão utilizados, sendo eles:

- Tipo do material e massa específica do cimento a ser utilizado;
- Análise granulométrica e massa específica dos agregados;
- Massa unitária compactada do agregado graúdo;
- Determinação da consistência desejada do concreto pelo abatimento do tronco de cone;
- Determinação da resistência que se quer obter;
- Condição de preparo da dosagem.

Após definidas as características deve-se fixar o fator água/cimento pela curva de Abrams, comparando a relação do mesmo com a resistência mecânica do concreto. Por conseguinte, determina-se o consumo de cada material definindo o traço, bem como a quantidade a ser substituída pela cinza e pelo bagaço com taxas experimentais, conforme corpos de prova C0 a C4. A porcentagem de substituição para cada traço foi apresentada na tabela 4.

Tabela 4: Porcentagem de substituição para cada traço

| Identificação do traço | Substituição de cinza (%) | Substituição de bagaço (%) |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|
| C0 | 0 % | 0 % |
| C1 | 2 % | 0 % |
| C2 | 5 % | 0 % |
| C3 | 1 % | 1 % |
| C4 | 3 % | 2 % |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

A proporção entre todos os componentes usados (cimento, areia, água, cinza e bagaço) dos traços foi apresentada na tabela 5.

Tabela 5: Componentes dos corpos de prova

| Corpo de prova | Componentes (traço) | | | | | |
|----------------|---------------------|-------|---------|-----------|-------|--------|
| | Cimento | Areia | Brita 1 | Fator A/C | Cinza | Bagaço |
| C0 | 1 | 1,76 | 2,89 | 0,53 | 0 | 0 |
| C1 | 0,98 | 1,76 | 2,89 | 0,53 | 0,02 | 0 |
| C2 | 0,95 | 1,76 | 2,89 | 0,53 | 0,05 | 0 |
| C3 | 0,98 | 1,76 | 2,89 | 0,53 | 0,01 | 0,01 |
| C4 | 0,95 | 1,76 | 2,89 | 0,53 | 0,03 | 0,02 |

Fonte: autores com base no método ABCP

Foi determinada a consistência realizando o teste de abatimento do tronco de cone com adensamento manual para os corpos de prova C0, C1, C2, C3 e C4, conforme a NBR NM67 (1998). Foram confeccionados 3 corpos de prova cilíndricos (10 cm de diâmetro por 20 cm de altura) a cada amostra para 7, 14 e 28 dias. Os corpos de prova foram imersos dentro de um tanque de água para ser realizada a cura. A cada período de tempo de 7, 14 e 28 dias, foi feita a compressão dos corpos de prova em uma prensa hidráulica, seguindo a norma NBR 7215 (1997).

Para a preparação das bases dos corpos de prova, foi realizada uma retificação da base, seguindo a norma NBR 5738 (2015). No item 9.3.1.1 da referida norma, consta a necessidade da remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada, para que a base não contenha falha de planicidade.

Também foi determinado o módulo de elasticidade inicial, conforme a NBR 6118 (2014) por meio da fórmula abaixo, pois não foi realizado ensaio para sua determinação:

$$E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \cdot f_{ck1/2} \quad (\text{para } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 50 MPa})$$

Em que:

Eci = Módulo de elasticidade

$\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio

f_{ck} = Resistência em Mpa aos 28 dias

Por fim, a atividade pozolânica da cinza foi identificada através da determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland, conforme a norma NBR 5752 (2014), definido pela seguinte fórmula:

$$IAP = (f_{cp}/f_{cc}) \times 100$$

Em que:

f_{cp} : resistência à compressão média aos 28 dias dos corpos de prova com substituição de cinza e bagaço de cana;

f_{cc} : resistência à compressão média aos 28 dias dos corpos de prova.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente, a análise inicia depois de retirado o concreto da betoneira, realizando o teste de abatimento do tronco de cone para cada traço. A tabela 6 apresenta esses resultados.

Tabela 6: Resultado do teste de abatimento do tronco de cone

| | C0 (padrão) | C1 | C2 | C3 | C4 |
|------------------------|-------------|----|-----|----|-----|
| <i>Slump test (cm)</i> | 11,4 | 10 | 5,5 | 3 | 1,5 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Ao considerar somente a cinza de cana-de-açúcar (C1 e C2), pode-se observar que conforme aumenta o teor de cinza, menor fica o resultado do teste, respectivamente 10 e 5,5 cm. Com a adição do bagaço (C3 e C4) houve uma redução ainda maior nos resultados do teste, 3 e 1,5 cm.

Após a realização do rompimento dos corpos de prova, os resultados obtidos no traço com a adição de cinza de cana-de-açúcar (C1 e C2) foram dispostos na tabela 7.

Tabela 7: Resultados obtidos com adição de cinza de cana-de-açúcar

| Idade dos corpos de prova | fc (Mpa) | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|
| | C0 (padrão) | C1 | C2 |
| 7 Dias | 26,24 | 24,70 | 22,04 |
| | 23,08 | 20,65 | 24,24 |
| | 24,49 | 22,56 | 24,95 |
| 14 Dias | 26,22 | 27,37 | 24,04 |
| | 27,56 | 26,28 | 22,36 |
| | 25,87 | 24,56 | 28,61 |
| 28 Dias | 27,54 | 29,03 | 26,51 |
| | 29,38 | 27,67 | 26,69 |
| | 27,77 | 27,24 | 28,40 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Os resultados obtidos no traço com a adição de cinza e bagaço de cana-de-açúcar (C3 e C4) foram dispostos na tabela 8.

Tabela 8: Resultados obtidos com adição da mistura do bagaço e cinza de cana-de-açúcar

| Idade dos corpos de prova | fc (Mpa) | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|
| | C0 (padrão) | C3 | C4 |
| 7 Dias | 26,24 | 25,37 | 14,01 |
| | 23,08 | 21,29 | 19,33 |
| | 24,49 | 22,72 | 17,16 |
| 14 Dias | 26,22 | 23,67 | 19,00 |
| | 27,56 | 22,48 | 16,10 |
| | 25,87 | 25,52 | 22,93 |
| 28 Dias | 27,54 | 27,33 | 21,59 |
| | 29,38 | 24,75 | 23,49 |
| | 27,77 | 25,25 | 20,80 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

A partir dos três resultados em cada corpo de prova, devido às pequenas variações, foi feita a média, apresentada nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9: Média dos resultados obtidos com cinza de cana-de-açúcar

| Idade dos corpos de prova | fc (Mpa) | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|
| | C0 (padrão) | C1 | C2 |
| 7 Dias | 24,60 | 22,64 | 23,74 |
| 14 Dias | 26,55 | 26,07 | 25,00 |
| 28 Dias | 28,23 | 27,98 | 27,20 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Observa-se na tabela 9 que o C0, que é o traço padrão, obteve um resultado de 24,60 Mpa na idade de 7 dias. Nos 14 dias, a resistência foi para 26,55, um aumento de 7,9% em relação aos 7 dias. Nos 28 dias, esse resultado foi de 28,23 Mpa, 6,3% em relação aos 14 dias. No caso do C1 (com 2% de substituição da cinza de cana), obteve-se maior resistência em relação ao traço padrão (C0). Aos 7 dias, C1 apontou 22,64 Mpa, subindo para 26,07 aos 14 dias, um aumento de 15,15%, e 27,98 Mpa aos 28 dias, 7,32% a mais.

Tabela 10: Média dos resultados obtidos com cinza e bagaço de cana-de-açúcar

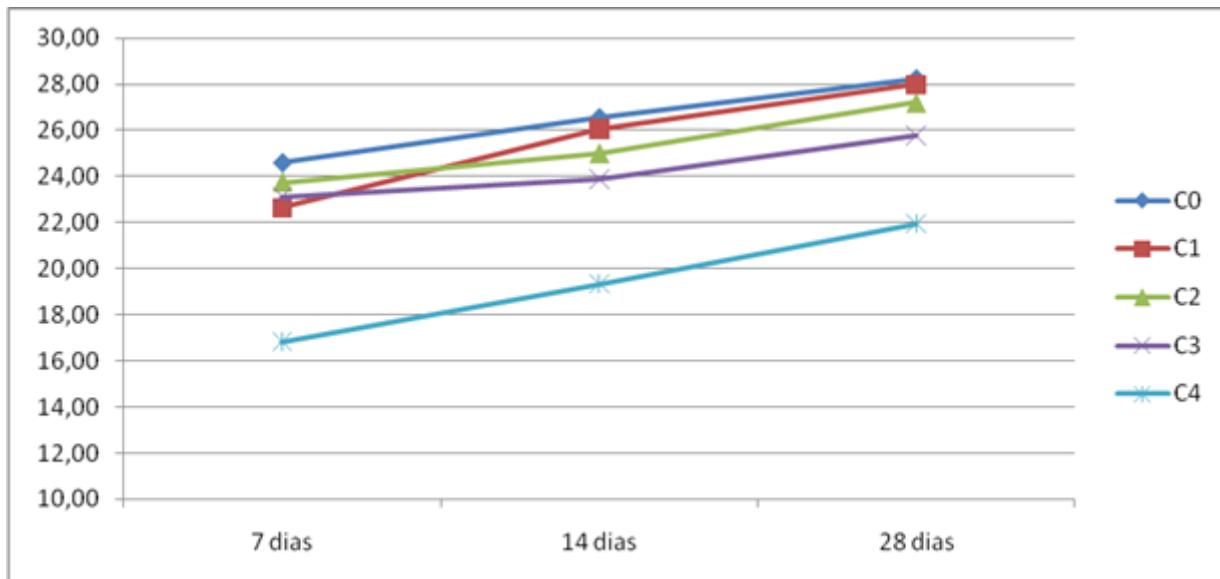
| Idade dos corpos de prova | fc (Mpa) | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|
| | C0 (padrão) | C3 | C4 |
| 7 Dias | 24,60 | 23,13 | 16,83 |
| 14 Dias | 26,55 | 23,89 | 19,34 |
| 28 Dias | 28,23 | 25,78 | 21,96 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Com a adição do bagaço, nota-se que o traço C4 (com 3% de cinza e 2% de bagaço) obteve menor resistência dentre todos os resultados. Observa-se na tabela 10 que o C4 obteve um resultado de 16,83 Mpa na idade de 7 dias. Nos 14 dias, a resistência foi para 19,34, um aumento de 14,91% em relação aos 7 dias. Nos 28 dias, esse resultado foi de 21,96 Mpa, 13,55% em relação aos 14 dias.

A figura 2 mostra a evolução dos valores médios aos 7, 14 e 28 dias.

Figura 2: Evolução dos valores médios aos 7, 14 e 28 dias



Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Observa-se que, apesar do aumento da resistência de todos os corpos de prova aos 28 dias, o traço C4 ficou bem abaixo dos demais.

A Tabela 11 mostra um comparativo percentual de elevação da resistência dos corpos de prova em relação ao traço de referência.

Tabela 11: Percentual de resistência em relação ao traço de referência

| Idade dos corpos de prova | Fc referência | C1 | C2 | C3 | C4 |
|---------------------------|---------------|--------|--------|---------|---------|
| 7 Dias | 24,60 | -8,69% | -3,62% | -6,39% | -46,16% |
| 14 Dias | 26,55 | -1,84% | -6,19% | -11,13% | -37,26% |
| 28 Dias | 28,23 | -0,89% | -3,79% | -9,52% | -28,55% |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Com base nesse comparativo, é possível avaliar de forma mais clara que o C4 possui valores bem abaixo do traço de referência. Analisando o traço C1 pode-se notar a diminuição do percentual com o aumento da idade dos corpos de prova, por isso infere-se que, com maior tempo de cura, os valores podem se igualar ou superar os valores do corpo de prova padrão.

A partir dos valores médios da resistência aos 28 dias, a tabela 12 demonstra os cálculos referentes a determinação do índice de atividade pozolânica.

Tabela 12: Determinação do índice de atividade pozolânica

| | C0 (padrão) | C1 | C2 | C3 | C4 |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Resistência média aos 28 dias | 28,23 | 27,98 | 27,20 | 25,78 | 21,96 |
| Atividade pozolânica (%) | 100 | 99 | 96 | 91 | 78 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Conforme mostra a tabela 12, os resultados obtidos para cada combinação são superiores a 75%, podendo ser classificado como pozolana, conforme a norma NBR 5752 (2014).

Por fim, a tabela 13 contém o resultado do módulo de elasticidade em GPa.

Tabela 13: Resultado do módulo de elasticidade em GPa

| Módulo de elasticidade | Traço | | | | |
|------------------------|-------------|----|----|----|----|
| | C0 (padrão) | C1 | C2 | C3 | C4 |
| 28 dias | 36 | 36 | 35 | 34 | 31 |

Fonte: autores com base nos dados da pesquisa

Na tabela 13 constata-se que, conforme aumenta a quantidade de cinza e do bagaço de cana-de-açúcar, diminui o módulo de elasticidade. A resistência obtida foi diminuindo com adição de quantidades maiores de cinza e bagaço, sendo que em C4, no qual a adição foi de 3% de cinza e 2% de bagaço, o resultado foi de 31 GPa.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que o objetivo geral do trabalho foi alcançado, pois foi desenvolvida a análise da resistência do concreto substituindo o traço de cimento por uma composição contendo cinza e bagaço de cana-de-açúcar. A partir dessa análise foi possível constatar que a cinza de cana-de-açúcar se apresenta como um componente eficiente com atividade pozolânica em substituição parcial do cimento Portland.

Entretanto, ao inserir quantidades de bagaço de cana, o resultado foi contra intuitivo, pois a hipótese de que ao utilizar a cinza e o bagaço de cana-de-açúcar para substituir o cimento Portland poderia aumentar a resistência do concreto, não foi corroborada. Isso porque os resultados ao adicionar o bagaço não foram satisfatórios.

Sendo assim, discute-se que a cinza pode ser usada de forma satisfatória como uma

alternativa à diminuição do acúmulo de resíduos das usinas sucroalcooleiras, dando uma destinação correta a esse resíduo. Porém, não se recomenda o uso de bagaço de cana de açúcar para substituição do traço de concreto.

Finalmente, aponta-se para trabalhos futuros a realização de novas análises com a cinza de cana em períodos mais longos, de 28 a 120 dias, para efeitos de comparação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653/1992**: Materiais pozolânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215/1997**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67/1998**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752/2014**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014**: Projetos de estrutura de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738/2015**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CANOVA, J. A.; MIOTTO, J. L.; MORI, L. M. Avaliação de Argamassa Mista de Revestimento com Substituição da Areia Natural por Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar. **Ciência & Engenharia**, v. 24, n. 1, p. 125-134, jun. 2015.

CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H. Caracterização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar como material alternativo para a redução de impactos ambientais. **Mix Sustentável**, v. 2, n. 1, 2016.

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) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n. 2, 1992.

DE PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de**

substituição parcial de cimento Portland. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2006.

DE PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, n. 1, p. 15-20, 2009.

FERNANDES, S. E. **Concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.** 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2014.

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

FREITAS, E. G. A. **Obtenção de tijolos de solo-cimento com adição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar para uso em construção civil.** 1996. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1996.

LIMA, S. F.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; ALMEIDA, F. C. R.; SANTOS, T. J. **Caracterização de concretos confeccionados com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar.** Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas, Córdoba, Argentina, 2010.

LOPES, B. C. S.; BRITTO, A. F. S.; SARMENTO, A. P.; DELALIBERA, R. G. Análise da viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 3, p. 32-40, 2014.

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

OLIVEIRA, C. A. S.; GOUVEIA, L. L. A.; TEIXEIRA, R. L. P. Concreto estrutural com adição de fibras vegetais. **Construindo**, v. 6, n. 2, jul./dez. 2014.

SAMPAIO, Z. L. M. **Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades SP911949, RB 92579 e SP 816949.** 2013. 134f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

SARMIENTO, C. R. **Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção.** 1996. 105f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

SARAZ, J. A. O.; ARISTIZABAL, F. V.; MEJIA, J. A. H. Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. **Dyna**, año 74, n. 153, p. 69-79, nov. 2007.

SECCHI, M.; ABE, M. A. P.; AGASSI, J. D.; VANDERLEI, R. D. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**, Canela-RS: ENTAC, 2010.

SESSA, T. C. **Avaliação da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em concreto usando construções residenciais de menor impacto.** 2013. 89f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCC) – Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2013.

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

TEODORO, P. E.; FERREIRA, M. H. Q.; CHARBEL, D. S.; NEIVOCK, M. P.; FORMAGINI, S. Comportamento físico-mecânico do concreto com substituição de cimento Portland por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, p. 22-27, 2013.