



## Análise experimental de vigas de concreto com substituição de cimento por cinzas de madeira

### *Experimental analysis of concrete beams with replacement of cement by wood ash*

Alisson Pech\*, Gustavo Savaris†,  
Lara Victória Meotti de Souza ‡, Marcos Vinícius Schlichting§

#### RESUMO

O concreto autoadensável demanda em sua dosagem uma maior quantidade de materiais finos, como cimento, fíleres e cinzas, para aumentar sua viscosidade e fluidez. Como a produção de cimento gera um elevado nível de emissão de CO<sub>2</sub>, pesquisadores tem buscado por materiais alternativos em sua substituição, como as cinzas provenientes da queima da madeira, que na maioria das vezes não possuem destinação correta. O uso de concretos com resíduos como a cinza de madeira para produção de elementos estruturais ainda apresenta restrições, por se desconhecer seu comportamento estrutural e durabilidade, e neste sentido o presente trabalho avalia a possibilidade de substituição do cimento Portland pelo resíduo industrial cinza de caldeira em concreto. Corpos de prova cilíndricos e vigas foram moldados para quantificar a resistência à compressão do concreto e a resistência ao cisalhamento de vigas sem armadura transversal, respectivamente, utilizando um traço de concreto autoadensável com substituição de 5% e 10% cimento por cinza de caldeira. Os resultados demonstraram que apesar de não ocorrer redução da resistência à compressão do concreto com o uso de cinzas, ocorreu uma redução da resistência ao cisalhamento na viga ensaiada.

**Palavras-chave:** concreto autoadensável, cinza de caldeira, substituição no concreto, sustentabilidade na construção civil

#### ABSTRACT

Self-compacting concrete demands in its dosage higher quantity of fine materials, such as cement, fillers and ashes, to increase its viscosity and fluidity. As cement production generates a high level of CO<sub>2</sub> emissions, researchers have been looking for alternative materials to replace it, such as ashes from burning wood, which in most cases do not have a correct destination. The use of concrete with residues such as wood ash to produce structural elements still has restrictions, as its structural behavior and durability are unknown, and in this sense, this work evaluates the possibility of replacing Portland cement by industrial boiler ash residue in concrete. Cylindrical specimens and beams were cast to quantify the compressive strength of concrete and the shear strength of concrete beams without transverse reinforcement, using a self-compacting concrete mix with 5% and 10% cement replacement by boiler ash. The results showed that although there was no reduction in the compressive strength of concrete with the use of ash, there was a reduction in shear strength in the tested beam.

**Keywords:** self-compacting concrete, boiler ash, replacement in concrete, sustainability in civil construction



## 1. INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA), foi desenvolvido na década de 80, no Japão, visando a concretagem de peças com seção transversal esbeltas e elevadas taxas de armadura, visando aumentar a durabilidade das estruturas. O CAA não necessita de vibração sendo autonivelante, preenchendo o elemento estrutural apenas por seu peso próprio, assim, proporcionando diversas aplicações, fáceis e rápidas, fazendo com que a mão de obra diminua e não haja ninhos de concretagem nas obras (PEREIRA, 2010; REPETTE, 2011).

A construção civil é um dos ramos que mais exerce atividades que poluem o meio ambiente, fazendo com que haja altas taxas de emissão dos gases que promovem o efeito estufa, especialmente o CO<sub>2</sub>, na produção do cimento Portland. No Brasil é estimado que seja utilizado cerca de 11 bilhões de tonelada por ano, sendo as indústrias cimentícias responsáveis por cerca de 6 a 8% da emissão do gás carbono no país (JOHN, 2000; RESENDE, 2013).

Para a redução desse elevado nível de emissão de CO<sub>2</sub> gerado pela produção do clínquer, busca-se cada vez mais um material alternativo que possa substituir parte do cimento Portland utilizado na produção do concreto. Com isso, surge a possibilidade de inserir as cinzas provenientes da queima da madeira, que são um resíduo gerado durante a combustão de madeira para a produção de energia em moinhos, indústrias, serrarias, entre outros e que não possui destinação correta, sendo descartadas em aterros e em sua maioria sem algum tipo de controle, demonstrando assim, ser uma das alternativas economicamente viáveis, utilizadas na produção do concreto (RAMOS; MATOS; COUTINHO, 2013).

Com o aumento da preocupação da população com o meio ambiente atualmente a busca por fonte de energia renovável vem se intensificando e uma das fontes é a biomassa, porém o maior problema desta fonte de energia é a quantidade de cinzas deixadas sem destino após a queima da madeira (CHOWDHURY, 2014). A cinza de caldeira é um material pozzolânico ou seja, rico em sílica e alumina e que sozinha não possui valor cimentício, mas quando presente na mistura do concreto reage com o hidróxido de cálcio, essa reação química concede valor cimentício ao material (ABDULLAHI, 2006).

Nascimento et. al. (2016) em sua pesquisa, utilizou a adição de três teores de cinza de madeira (5%, 10% e 15%) ao concreto, constando a redução fluidez e da exsudação, por conta do aumento da presença de materiais finos, aumentando a coesão no compósito, acompanhada da redução da resistência à compressão do concreto com a adição de cinzas.

Entretanto, o uso de concretos com resíduos como a cinza de madeira para produção de elementos estruturais ainda apresenta restrições, por se desconhecer seu comportamento estrutural e durabilidade. Por conta do risco de ruína de maneira frágil quando solicitada por tensões tangenciais, pesquisas sobre a resistência ao cisalhamento de vigas de concreto com adição de resíduos tem grande importância, sendo o objetivo principal deste trabalho.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Produção do concreto

O traço do concreto autoadensável empregado foi obtido em Silva (2020), dosado seguindo as recomendações de EFNARC (2005), utilizando cimento Portland tipo CP-II-Z-32 como aglomerante, areia quartzosa natural proveniente de rio e brita basáltica com dimensão máxima de 9,5mm foram empregados como agregados miúdo e graúdo, respectivamente. Além disso, filer calcário calcítico foi adicionado na composição do concreto visando uma maior quantidade de materiais finos para manter a alta fluidez, assim

como aditivo superplastificante para aumentar a viscosidade sem aumentar o fator água cimento, visando não comprometer a resistência do concreto.

A partir do traço de referência foram definidas duas misturas onde substituiu-se parte do volume de cimento por cinza de caldeira nas proporções de 5% e 10%, valores definidos com base nos estudos de Udoeyou (2006) e Gorphade (2012). A cinza de caldeira utilizada foi obtida em uma indústria do ramo alimentício da região oeste do Paraná, para a produção do concreto foi utilizada em sua forma natural, mas antes foi peneirada para a obtenção de material com granulometria inferior a 2,38 mm. As quantidades de materiais para produção de um metro cúbico de concreto apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Quantidade de material (kg) para produção de 1m<sup>3</sup> de concreto.**

Material	Mistura		
	REF	C05	C10
Cimento	363,6	345,5	290,9
Areia	896,0	896,0	896,0
Cinza	-	33,1	66,2
Agregado graúdo	660,0	660,0	660,0
Fíler	220,6	220,6	220,6
Água	200,0	200,0	200,0

Fonte: Autoria própria (2021).

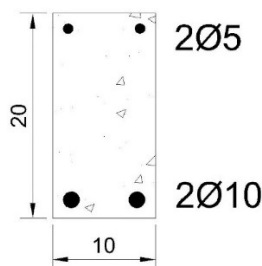
O aditivo superplastificante foi dosado durante a produção do concreto, devido a alteração da quantidade de materiais finos em cada traço com a adição de cinzas. Iniciou-se com 0,1% da massa de cimento e adicionou-se conforme necessidade para que o concreto atingisse as características de concreto autoadensável. Foram realizados os testes de caracterização do concreto no estado fresco: habilidade passante, espalhamento e viscosidade seguindo as orientações da norma NBR 15823-1 (ABNT, 2017).

Para o concreto de referência foram utilizados os resultados apresentados por Silva (2020), em trabalho desenvolvido concomitantemente à esta pesquisa. Para as misturas com 5% e 10% de adição foram produzidos 35 litros de concreto, utilizados para moldagem de uma viga e preencher outros 3 corpos de prova com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm para a realização do ensaio da resistência a compressão.

## 2.2 Ensaios de vigas.

Com o intuito de avaliar a resistência mecânica das vigas utilizando concreto autoadensável com substituição parcial da massa de cimento por cinza de caldeira, foram produzidas vigas com seção transversal 10 cm x 20 cm (FIGURA 1) e 100 centímetros de comprimento, com armadura composta de barras de CA-50 de 10 mm e CA-60 de 5 mm, sem armadura transversal.

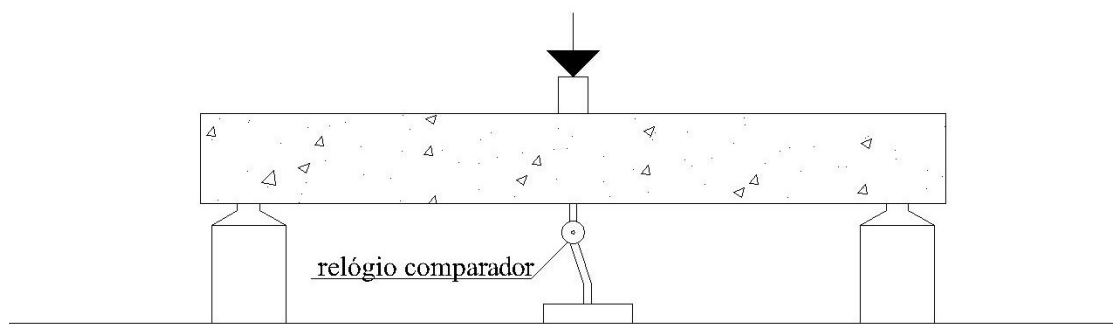
**Figura 1 – Características das vigas produzidas.**



Fonte: Autoria própria (2021).

As vigas foram submetidas ao ensaio de flexão à três pontos, como mostra a Figura 2, aos 52 dias após moldagem, utilizando um pistão hidráulico com capacidade de carga de 1.500 kN. Durante o ensaio foram monitoradas a carga aplicada, utilizando uma célula de carga, e o deslocamento vertical no meio do vão, utilizando um relógio comparador com precisão de 0,01 mm,

**Figura 2 – Viga em ensaio de flexão à três pontos.**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Resistência à compressão.

Os valores médios da resistência à compressão axial dos concretos autoadensáveis produzidos com adição de cinza são apresentados na Tabela 2, assim como a resistência à compressão obtida no concreto de referência apresentado em Silva (2020). Observa-se uma pequena variação na resistência a compressão com a adição de cinzas, porém ressalta-se que os concretos com cinzas foram ensaiados aos 52 dias de idade enquanto o concreto de referência foi ensaiado aos 28 dias, o que pode ter influenciado nesta variação entre as resistências.

**Tabela 2 – Resistência à compressão axial (MPa).**

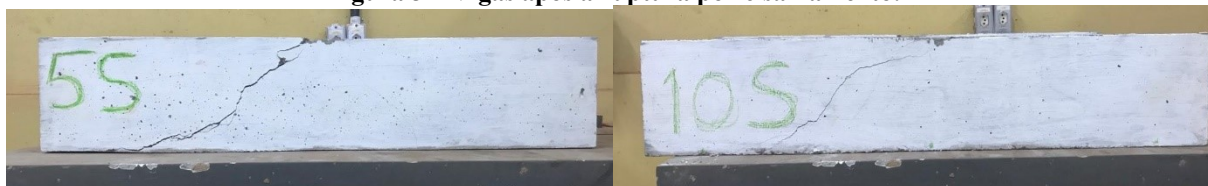
Mistura	CP1	CP2	CP3	Média
REF	24,60	25,68	24,05	24,77
C05	26,97	27,72	27,29	27,32
C10	27,92	26,11	28,25	27,76

**Fonte: Autoria própria (2021), Silva (2020).**

#### 3.2 Resistência última ao cisalhamento das vigas.

Nos ensaios de flexão das vigas com 5% e 10% de adição de cinza de caldeira observou-se a ruptura semelhante dos dois exemplares (FIGURA 3), com a formação da fissura característica de tensões de cisalhamento. Utilizando um programa de análise de imagens foram medidas as inclinações das fissuras de cisalhamento, resultando em 39° e 33° para os concretos C05 e C10, respectivamente.

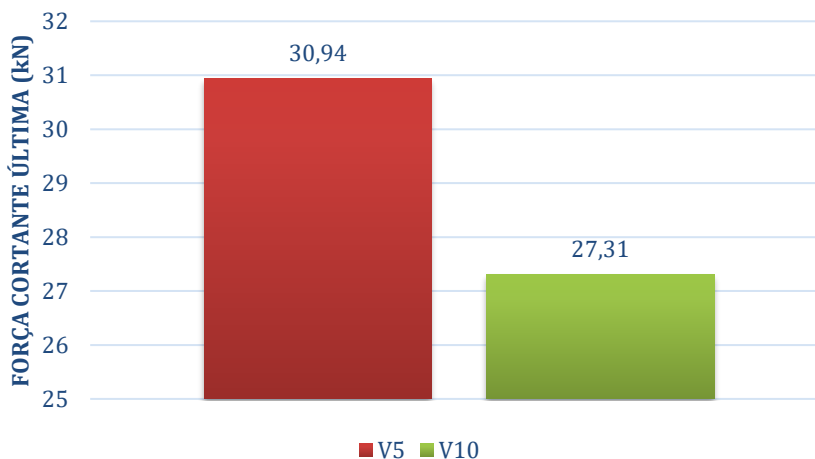
**Figura 3 – Vigas após a ruptura por cisalhamento.**



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 4 são apresentadas as forças cortantes últimas obtidas para as vigas ensaiadas, onde se verifica que a substituição de parte do cimento por cinza de caldeira ocorreu a redução da resistência com o aumento da substituição do cimento por cinza de caldeira de 5% para 10%, independente da resistência à compressão dos concretos ser semelhante.

**Figura 4 – Força cortante última das vigas (kN).**



Fonte: Autoria própria (2021).

A substituição de 5% mostrou-se a porcentagem ideal levando em consideração a maior resistência mecânica, mas com o objetivo da utilização de resíduos para conservação ambiental, o aumento dessa porcentagem é viável, uma vez que a viga com 10% de substituição apresenta uma resistência ao cisalhamento da ordem de 10%.

#### 4. CONCLUSÃO

Com bases nos resultados obtidos no programa experimental realizado com vigas para avaliar a resistência ao cisalhamento de concretos com substituição do cimento por cinza de caldeira conclui-se que utilização destas cinzas em pequenas proporções pode ser uma alternativa viável.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da UTFPR através de bolsa de pesquisa concedida ao primeiro autor deste artigo. Desta forma, os autores agradecem à UTFPR e ao Grupo de Pesquisa em Materiais e Estruturas pelo suporte para o desenvolvimento do trabalho.



## REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, M.; **Characteristics of Wood ASH/OPC Concrete**. Revista Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, pp 9-16. Minna-Nigéria, Junho 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1: Concreto autoadensável, Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco**. Rio de Janeiro. 2017.
- EFNARC. **The European Guidelines for Self Compacting Concrete**. The Self-Compacting Concrete European Project Group. 63p., 2005.
- GORPHADE, V. G.; **Effect of Wood Waste Ash on the Strength Characteristics of Concrete**. Nature Environment and Pollution Technology V. 11, p 121-124. Andhra Pradesh, India, 2012.
- JOHN, V., **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa**
- NASCIMENTO, J. E. M. F. do; SANTOS, H. M. M.; SOARES NETO, M. F.; SILVA JÚNIOR, J. C. C. **Avaliação das propriedades dos concretos nos estados frescos e endurecidos após a adição de cinza de madeira**. Científico v.16, n.34, Fortaleza, Ceará, 2016.
- PEREIRA, T. A. C. **Concreto auto-adensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Departamento de estruturas, EESC. Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2010.
- RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion. LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal – 2013.
- REPETTE, W. L. **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Capítulo 49. IBRACON, 2011.
- RESENDE, D. S., **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**, PhD. Dissertação, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, São Paulo, 2013.
- SILVA, I. E. **Resistência ao Cisalhamento de Vigas de Concreto Autoadensável Reforçado com Fibras de Aço e Macrofibras Sintéticas**. Orientador: Gustavo Savaris. 2020. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2020.
- UDOEYO, F. F.; **Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete**. Vol.4 No.7. Journal of Materials Science and Chemical Engineering. Julho, 2016. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/245308142\\_Potential\\_of\\_Wood\\_Waste\\_Ash\\_as\\_an\\_Additive\\_in\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/245308142_Potential_of_Wood_Waste_Ash_as_an_Additive_in_Concrete)>. Acesso em: 04/06/2021.