

## **ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CARVÃO VEGETAL NO CONCRETO ESTRUTURAL**

DUTRA, Ana Carolina Pizoni<sup>1</sup>  
Neto, Julio Tozo<sup>2</sup>

**RESUMO:** A busca por sustentabilidade na construção civil impulsiona a utilização de resíduos agroindustriais. Assim, este trabalho analisou a viabilidade técnica da incorporação de cinza de carvão vegetal como adição ao cimento Portland. A metodologia consistiu em um estudo experimental com os cimentos CP II Z e CP-V-ARI, com teores de 0%, 10% e 20% de adição de cinza. Foram avaliadas a trabalhabilidade, pelo abatimento de cone, e resistência à compressão, aos 3 e 28 dias. Os resultados indicaram que a adição de cinza reduziu a trabalhabilidade, especialmente no traço com CP-V-ARI. Aos 28 dias, o achado mais relevante foi o aumento da resistência à compressão para a incorporação de 10% no concreto com CP V ARI, que superou o desempenho do traço de referência (30,7 MPa contra 28,8 MPa). Em contraste, a cinza retardou o ganho de resistência nas idades iniciais, e o teor de 20% mostrou-se prejudicial em todos os cenários. Conclui-se que a adição de 10% de cinza no cimento CP V ARI é tecnicamente viável e uma alternativa sustentável, mas teores mais elevados comprometem o desempenho do concreto.

**Palavras-chave:** Concreto, carvão, cinza, sustentabilidade, resistência.

### **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com Degani (2020), a construção civil é um dos setores que mais emprega e movimenta a economia nacional. Apesar da queda significativa durante a pandemia mundial, no início de 2022, o setor voltou a apresentar crescimento e, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), registrou um aumento de 4,3% no PIB em 2024.

Entretanto, mesmo com tais benefícios econômicos, esse segmento enfrenta desafios ambientais expressivos. Ataídes et al. (2020) destacam que a perspectiva ambiental é preocupante, pois esse setor é responsável pelo consumo intensivo de recursos naturais e gera uma quantidade expressiva de resíduos. Portanto, é essencial a busca por práticas mais sustentáveis.

Nesse contexto, Reis et al (2019) destacam que diversos resíduos são descartados inadequadamente, como os provenientes da produção de carvão vegetal, sendo o Brasil o

---

<sup>1</sup>Ana Carolina Pizoni Dutra, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: acpdutra1@minha.fag.edu.com.br

<sup>2</sup> Julio Tozo Neto, Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: jtneto@minha.fag.edu.br

maior produtor e consumidor de tal produto no cenário mundial. Além disso, esse material pode ter suas cinzas reaproveitadas na indústria da construção. Entretanto, deve-se realizar mais estudos para confirmar a viabilidade técnica e científica da qualidade desses materiais.

Embora haja uma ampla gama de estudos envolvendo a incorporação de diferentes tipos de cinzas, como a de casca de arroz, bagaço de cana de açúcar e de carvão mineral, geradas em termelétricas em compósitos cimentícios, observa-se uma lacuna significativa no que diz respeito à utilização das cinzas de carvão vegetal. Apesar de o Brasil ser o maior produtor e consumidor mundial desse insumo, poucos têm explorado o potencial das cinzas na produção de concretos. Essa escassez de estudos reforça a relevância deste trabalho, que busca contribuir para o avanço do conhecimento científico sobre a viabilidade do reaproveitamento de cinzas de carvão vegetal no setor da construção civil.

Para tanto, este trabalho busca responder à seguinte pergunta: é tecnicamente viável a incorporação de cinzas de carvão vegetal no concreto estrutural não armado sem comprometer as propriedades mecânicas?

Diante desses fatores, este estudo tem como propósito geral analisar a viabilidade da incorporação de cinzas de carvão vegetal no concreto estrutural não armado, com a utilização do cimento CP II e V ARI, visando melhorar as propriedades do concreto e, consequentemente, reduzir os resíduos do setor da construção civil. Em adição, essa abordagem se torna crucial mediante a crescente preocupação com a sustentabilidade no setor da construção civil e da busca por soluções alternativas que reduzam o impacto ambiental sem comprometer a qualidade e segurança das edificações.

Salienta-se que, para que este trabalho tivesse êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Identificar a consistência pelo abatimento do tronco de cone para as diferentes proporções de incorporação de cinza de carvão vegetal e cimentos utilizados;
- b) Avaliar qual porcentagem e tipo de cimento apresenta maior resistência à compressão por meio do teste de compressão axial;
- c) Verificar qual proporção de cinzas de carvão vegetal e em qual tipo de cimento apresentam o melhor desempenho nas propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cinzas de carvão vegetal**

O carvão vegetal é um subproduto da madeira obtido por meio da pirólise, um processo de decomposição térmica na ausência de oxigênio. No cenário brasileiro, sua utilização tem se destacado na indústria metalúrgica e siderúrgica, além de ser uma fonte renovável para diversos setores. Da mesma forma, a tendência é de que o consumo de carvão vegetal aumente nos próximos anos por ser uma fonte de energia renovável, conforme afirma Froehlich e Moura (2014).

De acordo com Depoi (2007), na região Sul do Brasil, o carvão apresenta menor porcentagem de matéria inorgânica, contendo, em média, 10% de enxofre e 36% de matéria inorgânica e, da mesma forma, esses fatores têm influência direta no poder calorífico e na quantidade de resíduos que pode gerar durante a queima. Quanto menor o teor de matéria inorgânica, maior tende a ser a eficiência energética, resultando em uma menor produção de cinzas. Além disso, a menor produção de cinzas reduz a emissão de poluentes atmosféricos, reduzindo seus impactos ambientais.

No contexto contemporâneo, o carvão vegetal é responsável pela produção de aproximadamente 30% do ferro gusa, liga metálica que dá origem ao aço utilizado em diversos produtos. No entanto, no âmbito global, essa participação é inferior a 1%, de acordo com Oliveira (2011). Segundo Stefanello (2011), as cinzas de carvão vegetal podem ser reaproveitadas na produção de tijolos ecológicos, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e à destinação adequada dos resíduos gerados.

Vaske (2012) destaca que as cinzas são um tipo de resíduo que podem conter metais pesados e poluir o ar, representando um risco à qualidade do ar e à saúde pública. Diante desse cenário, a incorporação desses resíduos em produtos da indústria da construção civil surge como uma alternativa sustentável e eficiente. Além disso, a cinza apresenta grande potencial para absorver outros materiais, podendo ser utilizada como aglomerante, aditivo, material fino ou agregados em diferentes composições.

### **2.2 Estudos relacionados**

De acordo com Vaske (2012), as cinzas de casca de arroz, que também são um tipo de biomassa, são obtidas por meio da combustão da casca de arroz para secagem e melhoramento de grãos. Da mesma forma, em testes para resistência à compressão, com substituição parcial de cimento por cinza, obtiveram uma resistência média aos 28 dias de 35,64 MPa, sendo que, em todas as amostras, foram encontrados valores de resistência maior que o traço de controle.

Reis *et al.* (2020) destacam que, em outro estudo, foram incorporadas cinzas de carvão vegetal em argamassas para verificar a resistência à compressão aos 7, 28 e 60 dias com substituição de areia fina em 10%, 20% e 30%. Aos 7 dias, na amostra de 10%, notou-se aumento na resistência em relação à amostra de referência. Já nos outros traços, encontrou-se uma redução na resistência. Aos 28 dias, todos os traços tiveram um resultado positivo. E, aos 60 dias, os resultados foram similares às amostras de referência, sendo que apenas a de 20% apresentou um aumento.

Outro estudo, realizado por Passini (2007), com concreto de alto desempenho (CAD), investigou a substituição parcial do cimento por cinzas de carvão proveniente da queima em termelétricas. Os resultados mostraram que a incorporação de até 20% de cinzas não compromete significativamente a resistência à compressão. Entretanto, nos ensaios de resistência axial, a substituição de 10% apresentou um efeito positivo, pois as cinzas, por possuírem granulometria mais fina que o agregado miúdo, contribuem para o preenchimento dos vazios.

## 2.3 Influência da utilização de cinzas de carvão nas propriedades do concreto

### 2.3.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade transitória que depende de características variadas, como a dosagem e o modo de produção. Ela está relacionada à consistência, homogeneidade e coesão do concreto quanto ainda se encontra no estado plástico, assim como a facilidade de adensamento e moldagem e resistência à segregação. Essas características formam o que chamamos de trabalhabilidade. Também está relacionada à facilidade de adensamento e moldagem do concreto (CÔRREIA, *et al.* 2014).

Reis *et al.* (2020) afirmam que, com a incorporação de um material, deve-se aumentar a quantidade de água na mistura, pois aumenta-se a área superficial a ser molhada,

alterando-se, assim, o abatimento. Além disso, o uso de cinzas de carvão vegetal implica mudanças na resistência mecânica do concreto.

### 2.3.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto é a capacidade do material suportar cargas sem deformações ou rupturas, característica fundamental para garantir a segurança, qualidade e durabilidade de estruturas. Essa propriedade pode ser determinada por meio de ensaios realizados em uma máquina de compressão, no qual uma força gradativa é aplicada ao corpo de prova até a sua ruptura (Oliveira, 2023).

Diversos fatores influenciam essa resistência, como a porosidade do concreto, a qualidade dos agregados, a composição do cimento e a compatibilidade entre cimentos e agregados. De maneira geral, quanto maior a porosidade, menor é a resistência do concreto, devido à relação inversamente proporcional entre essas propriedades. A porosidade da pasta de cimento endurecida e a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo são pontos críticos que afetam diretamente a resistência mecânica do material (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para a realização dos ensaios, os corpos de prova são moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015) e rompidos de acordo com a NBR 57389 (ABNT, 2009). Após o rompimento, a máquina gera um relatório contendo gráficos e parâmetros essenciais para verificar se os resultados obtidos estão dentro do esperado. Caso ocorra alguma não conformidade, deve-se investigar as possíveis causas para os desvios observados.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de um estudo experimental realizado no laboratório de construção civil do Centro Universitário Assis Gurgacz, com o intuito de incorporar cinzas de carvão vegetal no concreto estrutural não armado.

Neste experimento, foram produzidos seis traços de concreto; dentre eles, os traços T1 e T4 foram estabelecidos como referência sem a utilização de cinzas, a fim de servirem como

base comparativa de desempenho. Para cada traço, foram moldados corpos de prova cilíndricos

com diâmetro de 10 cm e altura igual a 20 cm, utilizados no ensaio de abatimento de tronco de cone e de compressão simples na idade de 7 e 28 dias, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Definição dos traços para as amostras

<b>Tipo de cimento</b>	<b>Traço</b>	<b>% Cinza</b>
<b>CP II-Z-32</b>	T1	0%
	T2	10%
	T3	20%
<b>CP V ARI</b>	T4	0%
	T5	10%
	T6	20%

Fonte: Autora (2025).

### 3.1.2 Materiais

#### 3.1.2.1 Agregados miúdos

São considerados agregados miúdos os grãos que passam na peneira número 4 (malha quadrada com 4,8mm de lado), conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011), e ficam retidos na peneira de 150 µm de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003) e as especificações da NBR 3310-1 (ABNT, 2010). A areia utilizada foi areia média, obtida por meio do processo de britagem de rochas.

#### 3.1.2.2 Cinzas de carvão vegetal

Para este trabalho, foram utilizadas cinzas provenientes da queima de carvão vegetal fornecidas por uma empresa situada em Cascavel, Paraná. As cinzas utilizadas foram as que passaram pela peneira número 4, conforme ilustra a Figura 01.

**Figura 01:** Peneiramento das cinzas de carvão



Fonte: Autora (2025).

A investigação desse resíduo é relevante devido à sua alta geração de finos e à presença de materiais similares já incorporados em compósitos à base cimentícia. Segundo Reis *et al.* (2019), estudos indicam que sua utilização pode melhorar as propriedades do concreto, agregando benefícios científicos e técnicos.

De acordo com Kniess *et al.* (2011), as cinzas possuem propriedades similares aos materiais utilizados nas indústrias cerâmicas, favorecendo seu aproveitamento com desempenho satisfatório. Ressalta-se, ainda, que o reaproveitamento das cinzas não só promove benefícios técnicos, mas também se alinha às práticas de desenvolvimento sustentável.

### 3.1.2.3 Agregado graúdo

Agregados graúdos são aqueles que ficam retidos na peneira número 4 e passam pela abertura de malha de 75mm, de acordo com a ABNT ISO 3310-1 (ABNT, 2010), em ensaio realizado segundo a NBR 248 (ABNT, 2003). O agregado utilizado foi a brita 1, com diâmetro máximo de 19mm. Optou-se por utilizar esse agregado devido à sua uniformidade e à capacidade de melhorar o desempenho quanto ao adensamento e trabalhabilidade na moldagem dos corpos de prova.

### 3.1.2.4 Cimentos

Para a produção das amostras, foram utilizados dois tipos de cimento: o cimento Portland composto (CP-II-Z-32) e o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI). O CP II-Z-32 foi escolhido por ser amplamente utilizado em obras convencionais na cidade de Cascavel, enquanto o CP V-ARI foi selecionado para verificar se a aplicação resulta em um aumento significativo da resistência à compressão nos primeiros dias de cura para verificar a viabilidade em peças que necessitam de desforma rápida ou peças pré-moldadas, por exemplo.

### 3.1.3 Concreto

#### 3.1.3.1 Traço do concreto

A produção dos corpos de prova do concreto foi realizada utilizando dois tipos de cimento. A escolha dos traços teve como critério principal a replicabilidade e a comparabilidade com parâmetros encontrados em estudos de referência citados neste trabalho, que analisaram a adição de diferentes tipos de cinzas em compósitos cimentícios.

Para o cimento CP II, adotou-se o traço unitário 1:2,70:3,30 (cimento:areia:brita) com relação água/cimento de 0,5, resistência à compressão e *slump* esperados de 25 MPa e 100 mm, respectivamente. Para o cimento CP V-ARI, o traço empregado foi 1:2,53;2,67 com fator água/cimento 0,40, resistência e *slump* esperados de 40 MPa e 50 mm, respectivamente. A escolha desse traço foi influenciada por estudos como de Passini (2007), que investigou concretos de alto desempenho (CAD) utilizando o CP V ARI com adição de cinzas. Esses traços foram escolhidos para o concreto de referência sem adição de resíduos e, nos demais, houve a incorporação de 10% e 20% da massa de cimento por cinza.

#### 3.1.3.2 Produção do concreto

A dosagem dos materiais foi realizada em betoneira, seguindo a sequência: adicionou-se o agregado graúdo, agregado miúdo e 50% da água, com homogeneização por 1



(um) minuto. Em seguida, adicionou-se o cimento e o volume remanescente de água, mantendo a mistura por mais 5 (cinco) minutos, conforme ilustra a Figura 02.

**Figura 02:** Homogeneização dos materiais



Fonte: Autora (2025).

Após esse processo, foi realizado o ensaio de abatimento e a moldagem dos corpos de prova, conforme as diretrizes da NBR 5738 (ABNT, 2015), ilustrado pela Figura 03.

**Figura 03:** Corpos de prova moldados e identificados



Fonte: Autora (2025).

Foram moldados e identificados 3 (três) corpos de prova para cada traço, em forma cilíndrica metálica de 10 (dez) cm de diâmetro por 20 (vinte) cm de altura. Após 24 (vinte e quatro) horas, os corpos de prova foram retirados da fôrma e levados à câmara úmida, onde permaneceram até a idade de ruptura. Após a cura, os corpos foram levados para a prensa hidráulica para realização do teste de compressão simples.

### 3.1.4 Ensaios

#### 3.1.4.1 Ensaio de abatimento de cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado conforme a NBR 67 (NM, 1998), com objetivo de determinar a trabalhabilidade do concreto fresco. Inicialmente, o molde troncocônico e a placa de base foram umedecidos. O concreto foi colocado em 3 camadas de  $\frac{1}{3}$  da altura do molde, sendo cada uma delas adensada com 25 golpes uniformemente distribuídos, utilizando uma haste de compactação, de acordo com a Figura 04. O abatimento foi determinado pela diferença entre a altura original do molde e a altura do concreto moldado imediatamente após a retirada do molde. O valor foi arredondado para o múltiplo de 5 mais próximo.

**Figura 04:** Ensaio de abatimento de cone



Fonte: Autora (2025).

#### 3.1.4.2 Ensaio de compressão simples

O ensaio de compressão simples foi realizado aos 3 (três) e aos 28 (vinte e oito) dias de idade, utilizando três corpos de prova por traço, totalizando 36 (trinta e seis) amostras. Seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018), os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até o momento do ensaio. Antes da execução, as faces dos pratos e dos corpos de prova foram devidamente limpas. Da mesma forma, garantiu-se o correto posicionamento das amostras, de

maneira que o eixo do corpo de prova foi alinhado com o eixo da máquina de ensaio, ilustrado pela Figura 05. A aplicação da carga aconteceu de maneira contínua, com velocidade de carregamento controlada entre 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Para o cálculo da resistência à compressão, foi considerada a divisão da carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova, conforme norma supracitada.

**Figura 05:** Ensaio de compressão simples



Fonte: Autora (2025).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados obtidos nos ensaios experimentais foi realizada por meio de tabulação em planilhas organizadas no software Microsoft Excel, o qual também foi utilizado para o cálculo de médias e a geração de gráficos. A organização sistemática dos dados foi essencial para permitir a comparação entre os diferentes traços e teores de substituição de cinza de carvão vegetal.

### 4.1 Adequação da Relação Água/Cimento

Para garantir a trabalhabilidade mínima necessária para a homogeneização e a correta moldagem dos corpos de prova, foi imprescindível a adição de volumes suplementares de água. Tais correções, embora necessárias, resultaram na alteração da relação a/c efetiva para os traços aditivados com cinza.

O plano de dosagem inicial previa uma relação água/cimento (a/c) de 0,50 para ambos os cimentos. Contudo, ao se adicionar a cinza de carvão vegetal, observou-se uma perda de consistência, atribuída à elevada finura do material e consequente aumento da área superficial

a ser umedecida. No grupo com cimento CP II, essa correção elevou a relação a/c de 0,50 (referência) para 0,51 e 0,53 nos traços com 10% e 20% de adição de cinza, respectivamente. De maneira análoga, para o grupo com cimento CP V-ARI, a relação a/c subiu de 0,50 (referência) para 0,54 nos traços com incorporação do material. Portanto, toda a análise de desempenho apresentada deve ser interpretada à luz dessas relações água/cimento efetivas, que refletem as condições reais sob as quais os concretos foram produzidos e ensaiados.

#### 4.2 Ensaio de abatimento do tronco de cone

Os resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone indicaram diferenças significativas entre os cimentos CP II e CP V com a incorporação das cinzas de carvão vegetal. Para o CP II, observou-se pouca variação entre os traços de referência e os que receberam substituição parcial de 10% e 20% de cinza, mantendo a consistência em níveis próximos. Já para o CP V, houve uma redução progressiva no abatimento à medida que aumentou o teor de cinza, evidenciando menor trabalhabilidade das misturas. Esse comportamento pode estar associado ao aumento da área superficial das partículas finas, que demandam maior quantidade de água, conforme apontado por Reis et al. (2020). Ainda assim, todos os valores se mantiveram dentro da faixa aceitável para concretos convencionais.

Da mesma maneira, para o ensaio de consistência, os resultados de abatimento do tronco de cone (em milímetros) foram registrados conforme o traço, o tipo de cimento e o percentual de substituição de cinza. Para cada traço de concreto, o ensaio de consistência foi executado uma única vez. Os resultados individuais de abatimento foram registrados e estão apresentados no Quadro 1, que também inclui as médias calculadas e arredondadas para o múltiplo de 5 mais próximo, para cada conjunto de cimento a fim de facilitar a análise comparativa.

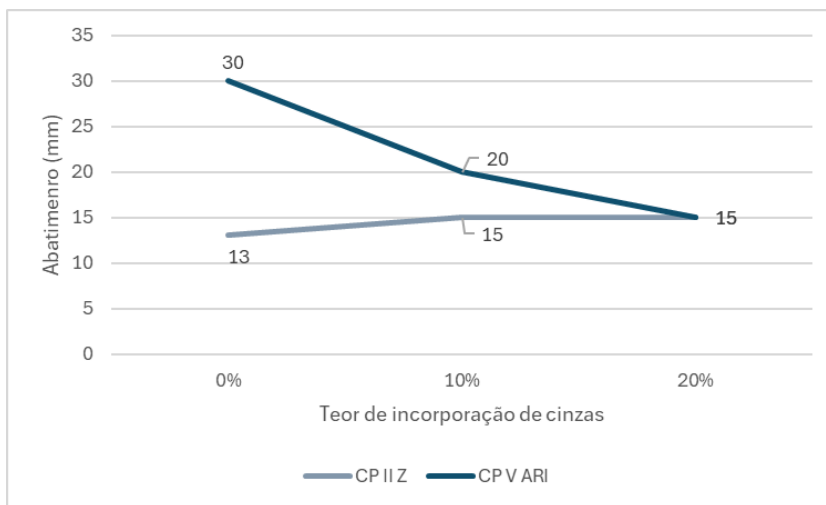
Quadro 1: Resultados obtidos no ensaio de consistência

CONCRETO	TRAÇO	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	ABATIMENTO (mm)	MÉDIA (mm)
CP – II - Z	T1	0%	13	15
	T2	10%	15	
	T3	20%	15	
CP – V - ARI	T4	0%	30	25
	T5	10%	20	
	T6	20%	15	

Fonte: Autora (2025).

Dessa forma, os resultados foram representados graficamente em um gráfico de linhas, ilustrado na Figura 6, com o objetivo de visualizar as variações de abatimento conforme a proporção de cinza incorporada, permitindo identificar possíveis tendências e comportamentos no concreto fresco.

**Figura 06:** Comparação entre abatimentos das amostras



Fonte: Autora (2025).

#### 4.3 Resistência à compressão aos 3 dias

Nos ensaios de compressão axial aos 3 dias, o cimento CP II apresentou valores de resistência característicos para a idade inicial, variando entre 3,1 e 3,7 MPa, sem que a adição de cinzas demonstrasse diferenças significativas. Em contraste, o CP V-ARI, como esperado por sua característica de alta resistência inicial, alcançou 23,9 MPa no traço de referência. No entanto, a incorporação por 10% e 20% de cinza reduziu expressivamente esses resultados para 20,3 MPa e 14,6 MPa, respectivamente. Essa queda inicial de resistência corrobora os estudos de Passini (2007), que apontam que a presença de cinzas pode retardar o ganho de resistência nas primeiras idades. Isso ocorre porque, nesta fase inicial, a cinza atua primordialmente com efeito fíler, enquanto suas reações pozolânicas, responsáveis pelo ganho de resistência a longo prazo, ainda não se desenvolveram plenamente. Dessa forma, a análise aos 3 dias indica que a utilização da cinza pode ser inviável para aplicações que demandem

alta resistência em curtas idades, como em peças pré-moldadas ou estruturas que necessitem de desforma rápida.

Os valores individuais foram registrados e a média de resistência foi calculada para o conjunto de amostras, como ilustrado no Quadro 2.

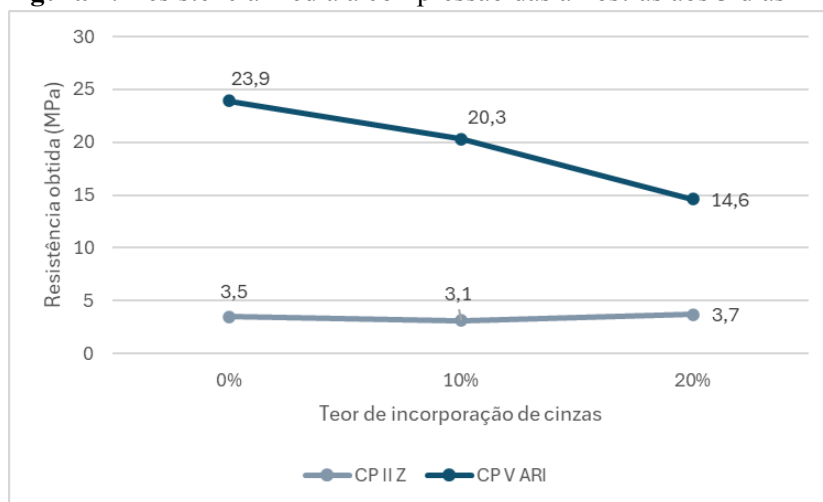
**Quadro 2:** Resultados do teste de compressão aos 3 dias

CIMENTO	AMOSTRA	TRAÇO	TEOR SUBSTITUIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
CP – II - Z	1	T1	0%	2,2	3,5
	2	T1	0%	3,9	
	3	T1	0%	4,4	
	4	T2	10%	3,3	3,1
	5	T2	10%	3	
	6	T2	10%	3	
	7	T3	20%	4	3,7
	8	T3	20%	3,7	
	9	T3	20%	3,4	
CP – V - ARI	10	T4	0%	24,8	23,9
	11	T4	0%	24,3	
	12	T4	0%	22,5	
	13	T5	10%	20,2	20,3
	14	T5	10%	20,4	
	15	T5	10%	20,4	
	16	T6	20%	16,9	14,6
	17	T6	20%	13,6	
	18	T6	20%	13,4	

Fonte: Autora (2025).

Da mesma forma, os resultados foram representados graficamente em um gráfico de linhas, com o objetivo de visualizar as variações de resistência conforme a proporção de cinza incorporada, permitindo identificar possíveis tendências e comportamentos no concreto endurecido, como ilustra a Figura 7.

**Figura 7:** Resistência média à compressão das amostras aos 3 dias



Fonte: Autora (2025).

#### 4.4 Resistência à compressão aos 28 dias

De forma semelhante, foi realizado o ensaio de compressão axial aos 28 dias de cura; as amostras com CP II apresentaram desempenho semelhante ao traço de referência, o qual obteve 9,3 MPa, com médias variando entre 7,4 MPa, para 10% de cinza, e 9,1 MPa, para 20%, indicando que a incorporação não comprometeu a resistência final e, em proporções maiores, até proporcionou ligeira melhora. Entretanto, os resultados estão significativamente abaixo da meta de 25 MPa. Em diálogo com a equipe técnica do laboratório, constatou-se que o cimento utilizado estava armazenado há um período prolongado, o que provavelmente comprometeu sua reatividade devido à hidratação prévia. Apesar do baixo desempenho, a análise comparativa interna para esse grupo evidencia que a amostra de incorporação de 20% de cinza (9,1 MPa) resultou em um desempenho quase equivalente ao da referência.

Para o CP V ARI, o traço de referência (28,8 MPa) também se situou abaixo da meta de 40 MPa. Tal fato é atribuído à necessidade de adição de água durante a mistura para se atingir a trabalhabilidade mínima para a moldagem, o que elevou a relação água/cimento efetiva do traço. Mesmo nesse cenário, é notável que a incorporação de 10% resultou em

resistência média de 30,7 MPa superior ao traço de referência, sugerindo efeito benéfico da incorporação nesse

nível. Contudo, o teor de 20% ocasionou queda significativa, com média de 22,9 MPa. Esses achados corroboram os resultados de Reis *et al.* (2020) e Vaske (2012), os quais evidenciam que adições moderadas de cinza podem melhorar a resistência, enquanto teores elevados tendem a reduzir o desempenho mecânico devido à diluição do cimento ativo.

Cada traço foi representado por três corpos de prova, totalizando 18 amostras para as diferentes proporções de substituição de cinza de carvão vegetal e tipos de cimento utilizados. Os resultados obtidos foram organizados no Quadro 3, que apresenta a resistência individual de cada corpo de prova e as respectivas médias para cada condição testada, permitindo a análise comparativa do comportamento do concreto com diferentes teores de cinza.

**Quadro 3:** Resultados do teste de compressão aos 28 dias

CIMENTO	AMOSTRA	TRAÇO	TEOR SUBSTITUIÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	MÉDIA (MPa)
CP – II - Z	1	T1	0%	9	9,3
	2	T1	0%	9	
	3	T1	0%	9,8	
	4	T2	10%	8,9	7,4
	5	T2	10%	6	
	6	T2	10%	7,2	
	7	T3	20%	8,5	9,1
	8	T3	20%	10,1	
	9	T3	20%	8,6	
CP – V - ARI	10	T4	0%	31,6	28,8
	11	T4	0%	24,5	
	12	T4	0%	30,3	
	13	T5	10%	30,6	30,7
	14	T5	10%	30,8	
	15	T5	10%	30,8	
	16	T6	20%	25,2	22,9

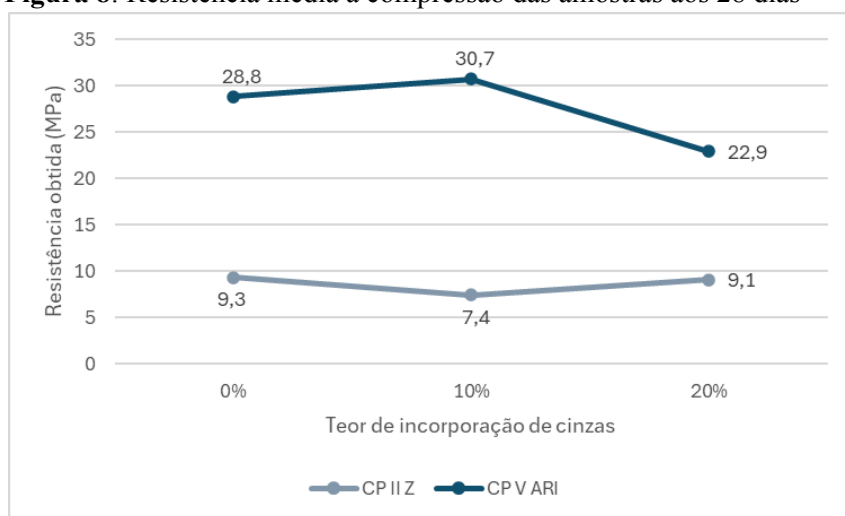


	17	T6	20%	21,5	
	18	T6	20%	22,1	

Fonte: Autora (2025).

Os resultados foram apresentados graficamente em um gráfico de linhas, com o objetivo de visualizar as variações de abatimento conforme a proporção de cinza incorporada, o que permitiu identificar possíveis tendências e comportamentos no concreto fresco, como mostrados na Figura 8.

**Figura 8:** Resistência média à compressão das amostras aos 28 dias



Fonte: Autor (2025).

Diante do exposto, essa abordagem possibilita uma análise clara, objetiva e comparativa entre as diferentes combinações testadas, subsidiando conclusões técnicas sobre a viabilidade da incorporação de cinzas de carvão vegetal em concretos estruturais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a analisar a viabilidade da incorporação de cinza de carvão vegetal em concretos estruturais, avaliando seu impacto na trabalhabilidade e na resistência à compressão. A partir dos ensaios experimentais realizados, foi possível obter conclusões relevantes que respondem aos objetivos propostos.

Em relação à consistência do concreto fresco, verificou-se que a adição de cinza impactou negativamente a trabalhabilidade do traço com cimento CP V ARI, que possuía

menor relação água/cimento, corroborando a literatura que aponta um aumento da demanda de água por materiais finos. Para o cimento CP II, com maior teor de água, a redução de água também foi um fator determinante.

A análise da resistência à compressão revelou que, aos 3 dias, a incorporação de cinza retardou o ganho de resistência do CP V ARI, um comportamento esperado e documentado por Passini (2007), que atribui o fenômeno à lenta reatividade pozolânica da cinza em idades iniciais.

O resultado mais expressivo do estudo foi observado aos 28 dias para o cimento CP V ARI com 10% de substituição. Esse traço alcançou uma resistência média de 30,7 MPa, superando a própria referência (28,8 MPa). Tal desempenho positivo é particularmente notável, pois ocorreu mesmo sob condições experimentais adversas, como a necessidade de adição de água para melhorar a trabalhabilidade, que reduziu a resistência potencial dos traços. Isso sugere que o efeito benéfico da cinza, provavelmente o efeito filer de preenchimento de vazios, foi robusto o suficiente para compensar tanto a remoção de 10% do cimento quanto o excesso de água na mistura.

Em contrapartida, os resultados negativos também forneceram aprendizados importantes. A queda de resistência para o teor de 20% de cinza em ambos os cimentos indica que a diluição do aglomerante ativo se sobrepõe a qualquer benefício, o que está de acordo com os estudos de Vaske (2012). Além disso, o baixo desempenho geral dos traços com cimento CP II foi atribuído ao uso de cimento com reatividade comprometida por armazenamento prolongado. Embora essa intercorrência tenha limitado a avaliação absoluta do material, a análise comparativa interna ainda se mostrou válida.

Respondendo à pergunta da pesquisa, conclui-se que a incorporação de cinza de carvão vegetal é tecnicamente viável, mas sob condições específicas. A substituição no teor de 10% para concretos demonstrou ser uma alternativa promissora para melhorar a resistência em idades avançadas. No entanto, seu uso não é recomendado em teores elevados (20%) ou em aplicações que demandem alta resistência inicial.

As limitações deste estudo, como as intercorrências com os materiais, reforçam a necessidade de trabalhos futuros que utilizem cimentos novos e explorem aditivos que melhoram a trabalhabilidade dos traços, apontando um caminho viável para sua valorização na construção civil e para o desenvolvimento de concretos mais sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ATAÍDES, Flávia de Oliveira; SILVA, Luiz Filipe Rocha da; ROSA, Bárbara Braga Barbosa da. **A importância da gestão ambiental para a engenharia civil**. 2020.

CARDOSO, Maurício de Freitas. **Utilização de resíduos da queima de biomassa para a produção de argamassa**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (TCC).

CORRÊIA, A. E.; SOUZA, D. P. B. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos de construções na cidade Caratinga-MG**. Monografia (Graduação de Engenharia Civil) – Instituto Tecnológico de Caratinga (ITC), Minas Gerais, 2014.

DEPOI, Fernanda dos Santos. **Desenvolvimento de métodos analíticos para a caracterização dos carvões brasileiros e suas cinzas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Porto Alegre, 2007.

DUBOC, Eny; COSTA, Caroline Jácome; VELOSO, Rui Fonseca; OLIVEIRA, Leonardo Santos; PALUDO, Adriano. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. 2007.

FROEHLICH, Paulo Leandro; MOURA, Angela B. D. **Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações**. Tecnologia e Tendências, v. 9, n. 1, 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PIB fecha 2024 em 3,4% e registra maior taxa desde 2021**. Agência IBGE, 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/42775-pib-fecha-2024-em-3-4-e-registra-maior-taxa-desde-2021>. Acesso em: 27 mar. 2025.

JONATHAN, Degani. **O impacto e a importância da construção civil no país**. Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/construcao-civil-no-pais/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

KNIESS, C. T. OLIVEIRA, C. B.; BORGONOV, L.; AGUIAR, B. M.; PRATES, P. B. **Obtenção e caracterização de artefatos de cimento com adição de cinzas pesadas de carvão mineral**. Revista Ibirapuera, São Paulo, n.1, p. 20-25, 2011.

LUIZA, Moura Cardoso. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>. Acesso em: 26 nov. 2020.

MEHTA, Paulo Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5739. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 7211. **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_.NBR NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_.NBR NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_.NBR NM 5738. **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_.NBR NM 12655. **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_.NBR 7222:2011. **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_.NBR 3310-1:2010. **Agregados – Determinação da composição granulométrica – Parte 1: Agregados miúdos e graúdos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

OLIVEIRA, Bruna Karoline de. **Análise da adição de cinzas, provenientes da combustão da madeira, como material cimentício suplementar no concreto.** 2023. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2023.

PASSINI, Flávio. **Concreto de alto desempenho com adição de cinza de carvão.** 2007. Trabalho de conclusão de curso (TCC).

REIS, Marielza Corrêa dos; REIS MAIA, Mariele Corrêa dos; SERRA, Sheyla Mara Baptista;

ZAMPIERON, João Vicente. **Análise estatística da resistência à compressão de corpos de prova de argamassa incorporados com resíduos de carvão vegetal (RCV).** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 89828-89840, 2020.

REIS, Marielza Corrêa dos; SERRA, Sheyla Mara Baptista; ZAMPIERON, João Vicente. **Incorporação de resíduos de carvão vegetal em compósitos à base cimentícia.** 2019.

REIS, Marielza Corrêa dos; ZAMPIERON, João Vicente; SERRA, Sheyla Mara Baptista. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais em matrizes cimentícias.** 2019.

REIS, Marielza Corrêa dos; REIS MAIA, Mariele Corrêa dos; SERRA, Sheyla Mara Baptista; ZAMPIERON, João Vicente. **Resíduos agroindustriais aplicados a compósitos cimentícios.** 2020.

STEFANELLO, Guga. **Uso de cinzas de carvão como subproduto traz benefícios ao meio ambiente.** Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 05 jun. 2010. Disponível em:

<https://www.estado.rs.gov.br/uso-de-cinzas-de-carvao-como-subproduto-traz-beneficios-ao-m-eio-ambiente>. Acesso em: 26 mar. 2025.



**VASKE, Nei Ricardo. Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2012.**