UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA DE BIOMASSA DE PINUS TAEDA COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND NO CONCRETO CONVENCIONAL

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081131

BARCAROLI; BRUNO CRIMAROSTI; SALAMONI; NATÁLIA; ROHDEN; ABRAHÃO BERNARDO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU - FURB.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ABRCIVIL@GMAIL.COM

RESUMO: Com a evolução das cidades, há uma maior geração de resíduos sólidos, que são depositados em aterros sanitários ou de maneira incorreta, no meio ambiente. Com a intenção de reduzir esse impacto e proteger os recursos naturais da produção de cimento Portland, esta pesquisa analisa a substituição parcial de cimento pelas cinzas pesadas provenientes da combustão do *Pinus Taeda* em concreto convencional. Para isso, amostras de concreto e argamassa foram moldadas, e algumas propriedades físicas foram determinadas. A partir dos resultados encontrados, constatou-se que a substituição de até 10% pela cinza apresenta valores satisfatórios em relação ao traço referência.

PALAVRAS-CHAVES: Concreto convencional, cinza de *Pinus Taeda*, combustão, pozolana.

ABSTRACT: With the evolution of cities, there is a greater generation of solid waste, which is deposited in landfills or incorrectly, in the environment. With the intention of reducing this impact and protecting the natural resources of Portland cement production, this research analyzes the partial replacement of cement by heavy ash from the combustion of *Pinus Taeda* in conventional concrete. For this, samples of concrete and mortar were molded, and some physical properties were determined. From the results found, it was concluded that the substitution of up to 10% by ash presents satisfactory values in relation to the reference mixture.

KEYWORDS: Conventional concrete, ash from *Pinus Taeda*, combustion, pozzolan.

1 | INTRODUÇÃO

O cimento Portland é um dos materiais mais utilizados do mundo. Entretanto, sua produção causa sérios impactos ambientais, como a escassez dos recursos naturais empregados e o aumento da emissão de dióxido de carbono (CO_2). A utilização do cimento pode ser diminuída com o emprego materiais alternativos, substituindo parcialmente o cimento em argamassa e concreto, reduzindo os danos ambientais causados pela fabricação do cimento [1].

Mas não é só a indústria cimentícia que gera impactos ambientais. Outras indústrias, como siderúrgicas e agroindústrias, geram rejeitos que devem ser destinados corretamente à aterros sanitários. Entretanto, com alguns estudos, esses rejeitos podem vir a serem aplicados em outros processos ou indústrias, tornando-se resíduos e contribuindo com os aspectos ambientais desses processos. Materiais cimentícios

alternativos podem advir desses resíduos.

As cinzas de origem vegetal podem ser utilizadas como adição mineral ao cimento Portland quando possuírem uma quantidade predominante de sílica no estado amorfo e apresentarem finura adequada [1]. Algumas cinzas têm suas propriedades pesquisadas para a substituição parcial do cimento, como cinza da casca do arroz [2] e cinza do bagaço da cana de açúcar [3-4].

Com intuito de estudar um novo material cimentício, reutilizando um resíduo da indústria madeireira, investiga-se a possibilidade da substituição parcial do cimento Portland por cinza de fundo de *Pinus Taeda,* proveniente da sua combustão, no concreto convencional. São verificadas as propriedades mecânicas do concreto convencional perante a adição da cinza e ainda ao efeito Spalling. Submeter o concreto estudado à altas temperaturas é importante, pois o material sofre transformação em sua estrutura, podendo levar à sua deterioração [5].

2 | MATERIAIS E MÉTODO

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (CPs) de concreto, para caracterização física e mecânica, e análise ao spalling, e CPs de argamassa, para verificação do desempenho do cimento[6] e atividade pozolânica[7]. Os materiais utilizados para a pesquisa foram: cimento Portland CP II-Z-40 (Votoran) e CP II-F-32 (Cauê); cal hidratada CH-III (Cibracal) com massa específica de 2,30 g/cm³ e massa unitária no estado solto de 0,50 g/cm³; agregado miúdo com módulo de finura de 2,21 e massa específica de 2,46 g/cm³; agregado graúdo com dimensão máxima característica de 19 mm, módulo de finura de 8,04 mm e massa específica 2,86 g/cm³.

A cinza proveniente da queima do Pinus Taeda foi coletada em uma indústria madeireira da cidade de Caçador/SC. A secagem da madeira dentro da estufa ocorre a uma temperatura aproximada de 76°C, com tempo de permanência de 10 a 81 h, dependendo da sua espessura. Para atingir tal temperatura, o queimador é abastecido por cavaco de pinus, com cerca de 500°C de temperatura de combustão.

O resíduo no estado natural foi utilizado na mistura do concreto, com dimensão máxima característica de 19 mm, módulo de finura do material de 1,37 e massa específica de 2,20 g/cm³ [8]. Já, para a argamassa, após a coleta no queimador, o resíduo passou por um processo de moagem em Abrasão Los Angeles, com relação carga resíduo de 1x5, durante 3 h. O produto resultante é passante na peneira de 75 µm e retido na peneira 45 µm.

2.1 Concreto

O método de dosagem utilizado para o concreto foi o ACI 211 [9], para 30 MPa e abatimento de 25 a 50 mm. Quatro traços foram executados: referência (0% de cinza), 5%, 10%, 15% e 20% de substituição do cimento Portland pela cinza da combustão do pinus (Tabela 1).

Materiais	Porcentagem de adição da cinza de pinus				
	0%	5%	10%	15%	20%
CP II-Z-40	351,8	334,3	316,7	299,1	281,5
Agregado Graúdo	1123,8	1123,8	1123,8	1123,8	1123,8
Agregado Miúdo	701,7	701,7	701,7	701,7	701,7
Cinza de *Pinus Taeda*	0	8,7	17,3	26,0	34,7
Água	190	190	190	190	190

Tabela 1 - Traços de concreto (kg/m³)

A execução do concreto foi realizada com o auxílio de betoneira de 120 litros, seguido de ensaio de abatimento, moldagem, desmoldagem e cura submersa em tanque com água e cal. Antes dos ensaios, os CPs foram secos em estufa por 24 h. 15 CPs foram expostos à 600°C em forno mufla, e posteriormente foram realizados ensaios de perda de massa e análise de fissuras, absorção por capilaridade e resistência à compressão axial. Os 120 CPs que não foram expostos à 600°C, passaram por ensaios de absorção de água por capilaridade e resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral (Figura 1).



Figura 1 – Fluxograma dos traços de concreto com adição de cinza da combustão do pinus

2.2 Argamassa

A caracterização da cinza foi realizada através de ensaios com argamassa. Foram realizados três traços de argamassa, com e sem utilização de cinza da combustão do pinus [6], e um terceiro traço com a cinza e cal hidratada, para avaliação da atividade pozolânica [7] (Tabela 2).

Material	Referência [6]	Cinza de pinus [6]	Cal hidratada [7]
CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4	-
Cinza de *Pinus Taeda*	-	156 ± 0,2	268
Areia Normal [10]	1872	1872	1872
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Hidróxido de cálcio	-	-	104

Tabela 2 - Traços de argamassa (g)

Posteriormente à mistura em argamassadeira e ensaio de índice de consistência, os CPs foram moldados [11]. Após 24 h, os traços de referência e com cinza de pinus, são desmoldados e deixados em cura submersa com água e cal até ensaio de resistência à compressão axial [6]. Já, para o traço de cal hidratada, passadas as 24 h da moldagem, os CPs continuaram nos moldes e são levados à estufa à 55°C, permanecendo lá por 6 dias, até ensaio de compressão[7].

3 | RESULTADOS

3.1 Concreto

Para os traços com 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de substituição de cimento pela cinza proveniente da combustão do pinus, os abatimentos encontrados foram, respectivamente, 27,5, 25, 48, 25 e 35 mm. Como na dosagem do concreto foi determinado o abatimento de 25 a 50 mm, os abatimentos encontrados atenderam o intervalo estipulado, não sendo necessário realizar qualquer tipo de correção.

3.1.1 Perda de massa e análise de fissuras

Os ensaios de perda de massa e análise de fissuram foram realizados em todos os CPs expostos à 600°C. A perda de massa se deu pela diferença de massa antes e após a exposição dos CPs a 600°C. Após ensaio, a perda de massa para os traços de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de substituição do cimento Portland pela cinza estudada foram de respectivamente: 5,81%, 7,52%, 7,24%, 7,81% e 6,95%. A maior perda de massa foi encontrada no traço com 15% de substituição, com 287,46 g de diferença de massa antes e após a exposição.

A análise de fissuras foi feita de forma aleatória, nas regiões superior, intermediaria e inferior de cada um dos CPs, com auxílio de um fissurômetro (Figura 2). Foram encontradas e quantificadas fissuras de 0,1 a 0,3 mm de espessura (Figura 3Figura 2), com maior incidência das fissuras menores. Ainda, vale ressaltar que não houve desplacamento de concreto dos CPs.

3.1.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi executado nos 15CPs expostos a 600°C e em 30 CPs que não passaram por elevação de temperatura (23°C) [12].



Figura 2 – Corpos de prova após análise de fissuração

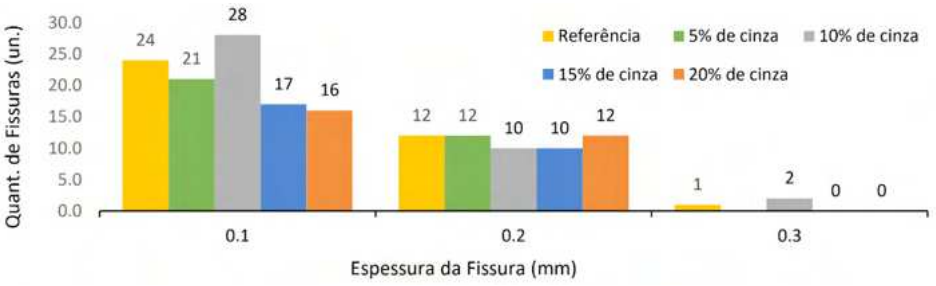

Figura 3 – Quantitativo das fissuras encontradas

Observa-se através do ensaio que os CPs não expostos à 600°C (Figura 4) apresentaram valores mais reduzidos de absorção de água por capilaridade do que os expostos a 600°C (Figura 5). Ainda referente aos CPs com exposição a altas temperaturas, os diferentes traços obtiveram uma evolução mais uniforme da absorção durante o tempo.

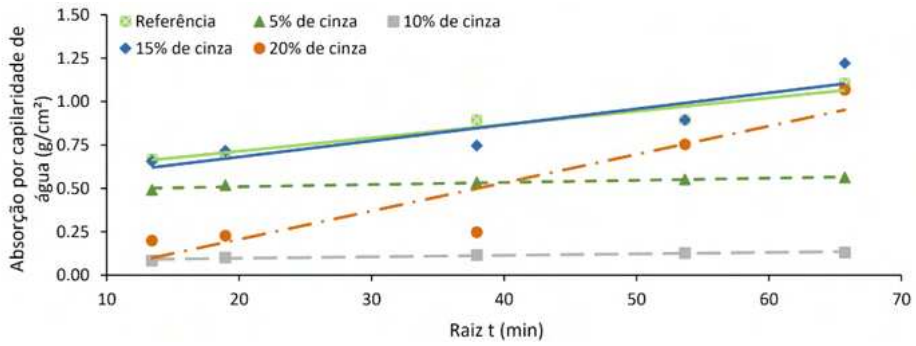

Figura 4 – Absorção de água por capilaridade no concreto sem exposição a 600°C

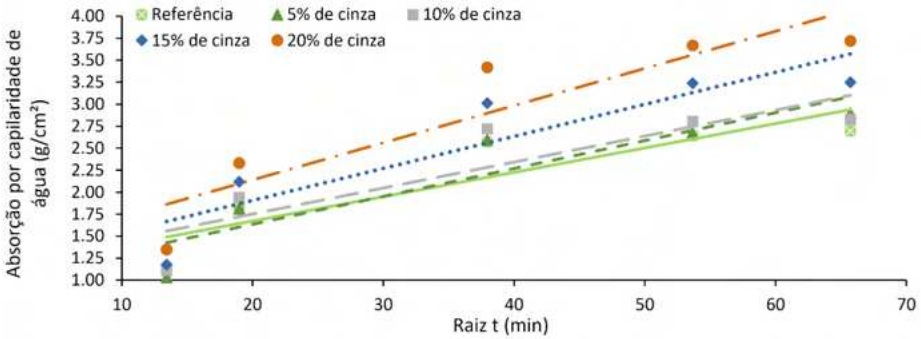

Figura 5 – Absorção de água por capilaridade no concreto com exposição a 600°C

3.1.3 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência a compressão axial foi realizado nos 15 CPs expostos a 600°C aos 28 dias de idade, e em 60 CPs sem a exposição a altas temperaturas, com 30 CPs ensaiados aos 9 dias e outros 30 CPs aos 28 dias de idade (Figura 6).

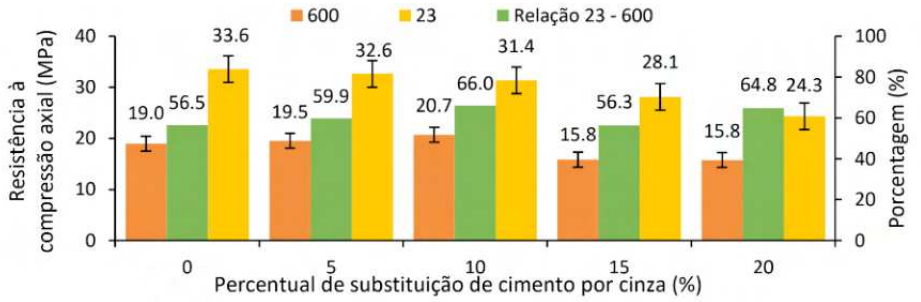

Figura 6 – Resistências características à compressão axial

A dosagem desses traços foi realizada para resistência característica de 30 MPa, e apenas os traços referência (0%), 5 % e 10% de substituição mantiveram a resistência desejada, quando analisados a sem exposição à 600°C (23°C). Como já era esperado, observa-se redução da resistência dos CPs expostos à 600°C, com maiores reduções para os traços referência e 15%.

3.1.4 Resistência à tração por compressão diametral

Os CPs ensaiados para resistência à tração por compressão diametral não sofreram exposição à temperatura a 600°C, e foram rompidos aos 14 e 28 dias (Figura 7). Como os concretos convencionais apresentam resistência à tração em torno de 10% da resistência à compressão axial[9], os resultados foram satisfatórios para os traços

de concreto com até 10% de substituição, assim como para o ensaio de resistência a compressão axial.

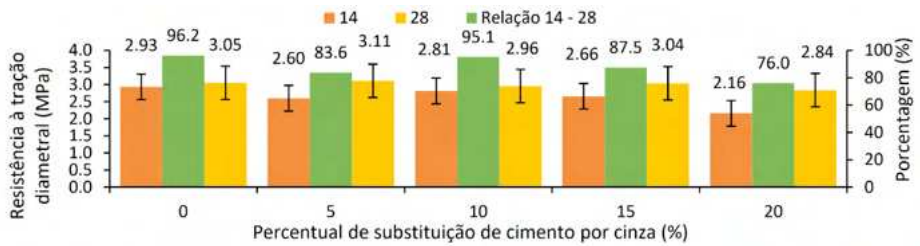

Figura 7 – Resistências à tração diametral

3.2 Argamassa

O índice de consistência da argamassa de cal hidratada foi de 220 mm [7], sendo que o limite especificado em norma é de 225 ± 5 mm. Logo, o espalhamento encontrado respeitou o intervalo de abatimento da norma. Para ensaio de desempenho das argamassas, todos os CPs moldados foram ensaiados à compressão axial (Tabela 3).

Argamassa	Resistência à compressão axial média (MPa)
Referência	20,2
Cinza de *Pinus Taeda*	8,4
Cal hidratada	2,0

Tabela 3 – Resistência à compressão axial da argamassa

Para o material ser considerado pozolânico, a relação entre as médias das resistências à compressão axial do traço referência com o traço de cinza de *Pinus Taeda* precisaria ser igual ou superior a 90% [13]. Entretanto, o resultado encontrado foi de 42%, inferior ao exigido por norma. Outro fator que deve ser levado em consideração é que a média dos CPs de cal hidratada precisa ser igual ou superior a 6 MPa [13]. Contudo, obteve-se 2 MPa.

4 | CONCLUSÃO

No ensaio de índice de fissuras, os CPs expostos a 600°C apresentaram uma maior absorção em relação aos que não foram expostos (23°C). Ainda, apresentaram maior absorção de água por capilaridade e maior perda de massa, se comparado aos que não foram submetidos à elevação de temperatura. Para os ensaios de compressão axial, os CPs com substituição parcial do cimento de 10% pela cinza pesada proveniente da combustão do *Pinus Taeda*, mantiveram os resultados de um traço referência sob temperatura ambiente (23°C). Já, os CPs expostos a 600°C, apresentaram redução da resistência característica, pois as propriedades do concreto são perdidas ao serem

submetidos a elevação de temperatura.

Em relação aos estudos realizados com argamassa, o material não é considerado Pozolânico, pois os resultados encontrados são inferiores aos definidos em norma. Sendo assim, a cinza pesada proveniente da combustão do *Pinus Taeda* não pode ser utilizada como substituição do cimento Portland. Recomenda-se a realização de pesquisas com a utilização de cinza leve da combustão do *Pinus Taeda*, e, também, a caracterização química das cinzas.

REFERÊNCIAS

1. FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção: cinzas e aglomerantes alternativos**. Campinas: UNICAMP, 2003.

2. RODRIGUES, M. S.; BERALDO, A. L. Caracterização física e mecânica de argamassas à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz residual. **Engenharia Agrícola**, [S.L], v. 30, n. 2, p. 193-204, 2010.

3. PAULA, M.O. de et al. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 353-357, 2009.

4. DINIZ, H. A.et al. Caracterização e avaliação das propriedades de concretos autoadensáveis com adições minerais e baixo consumo de cimento. **HOLOS**, [S.L], v. 5, p. 51-64, 2018.

5. KIRCHHOF, L. D. **Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos - determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente.Rio de Janeiro:ABNT, 2009.

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

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. Versão corrigida: 2015.