

Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico

Characterization of pottery kilns ash for application on pozzolanic cement

Lucas Henrique Pereira Silva¹, Jacqueline Roberta Tamashiro¹,
Patrícia Alexandra Antunes², Danillo Roberto Pereira²

¹ Univ. do Oeste Paulista, Mestre(a) no Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Presidente Prudente, SP, Brasil.

² Univ. do Oeste Paulista, Docente no Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. Campus II, Rodovia Raposo Tavares, Km 572, Bairro Limeiro, CEP: 19067-175, Presidente Prudente, SP, Brasil. e-mail: lucashpsilva@ifsp.edu.br, arquiteta.jtamashiro@hotmail.com, antunes@unoeste.br, danilopereira@unoeste.br

RESUMO

A caracterização de materiais com potencial para substituição do cimento representa um grande avanço no que diz respeito a mitigação de impactos ambientais provocados pela indústria da construção civil. Além disso, os materiais pozolânicos podem melhorar as propriedades dos concretos no estado endurecido. Entretanto, para que estas propriedades estejam ativas nos materiais eles precisam atender requisitos, que no Brasil são normatizados pela ABNT NBR 12653, apresentando características físicas, químicas e mineralógicas específicas. A cinza de forno de olaria é o principal resíduo sólido produzido pelas indústrias produtoras de cerâmica vermelha. A cidade de Presidente Epitácio, SP, tem estas indústrias como destaque na sua economia, por isso este trabalho realizou ensaios de fluorescência e difração de raios-X para caracterização química e mineralógica. Para caracterização física foi feita granulometria à laser e ensaios normatizados pelas ABNT NBR 5751 e 5752. Também foram ensaiadas a resistência à compressão em argamassas com substituição de 10, 20 e 30% da massa de cimento por cinza, curadas durante 7, 28 e 91 dias. Os resultados dos ensaios realizados mostraram um material que não atende a todas as demandas normatizadas, tendo resultados positivos somente no ensaio granulométrico e no índice de atividade pozolânica com cimento Portland pela ABNT NBR 5752. Os resultados sugerem a necessidade de novos testes para ativação térmica do material e ainda, possibilitar a sua incorporação na produção de cimentos compostos com potencial uso em pastas, argamassas e concretos.

Palavras-chave: Argamassa, resíduos, resistência a compressão, material pozolânico, cinza de forno de olaria.

ABSTRACT

The characterization of materials with potential for cement replacement it is an important mitigation of environmental impacts caused by the construction industry. Pozzolanic materials can improve the properties of concretes in the hardened state. However, in order for these properties to be active in the materials, they must meet the requirements, in Brazil, regulated by ABNT NBR 12653, presenting specific physical, chemical and mineralogical characteristics. Pottery kiln ash is the main solid residue produced by the industries producing red ceramics. Presidente Epitácio city, SP, has these industries as a highlight in its economy. This work performed tests of fluorescence and X-ray diffraction for chemical and mineralogical characterization. For physical characterization, laser granulometry and standardized tests were performed by ABNT NBR 5751 and 5752. Mortars with 10%, 20% and 30% of the mass of cement replaced by ash were also tested for compression, cured for 7, 28 and 91 days. The results of tests performed showed a material that does not meet all the standardized demands, having positive results only in the particle size and index of pozzolanic activity with Portland cement, by ABNT NBR 5752. The results of the tests suggest the necessity of new tests for thermal activation of the material and, also to allow it is incorporation into the production of composite cements with potential use in pastes, mortars and concretes.

Keywords: Mortars, residue, compressive strength, pozzolanic materials, pottery kilns ash

1. INTRODUÇÃO

A análise e caracterização de materiais com potencial para substituição, ainda que parcial, do cimento Portland tornou-se uma atividade importante para mitigar impactos ambientais da produção deste material que é consumido em quantidades recorde ano após ano. As pozolanas, como são chamados os materiais com propriedades aglomerantes adequadas, podem ser incorporadas ao cimento Portland durante sua fase de produção originando os cimentos CP II ou CPIII ou ainda durante as fases de produção das pastas, argamassas e concretos [1].

A incorporação de resíduos com propriedades pozolânicas em ligantes hidráulicos é considerada como uma boa alternativa para destinação e estabilização do resíduo, além disso estes materiais conferem melhora na qualidade dos compósitos. Entre as propriedades comumente melhoradas pelas pozolanas citam-se a resistência à compressão, durabilidade e retração [2].

Entretanto, as pozolanas apresentam grande complexidade de avaliação de suas características físico-químicas e mineralógicas uma vez que não existe padronização. Por esse motivo Bernal et al. [3] ressaltam a importância de realizar estudos de caracterização ao utilizar um precursor particular. Existem diversas metodologias para avaliação do potencial pozolânico de materiais e, no Brasil, a ABNT NBR 12653 [4] determina que a avaliação deve ser realizada a partir de dois métodos indiretos de quantificação do poder reativo: Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal hidratada [5] e com cimento Portland [6]. Além disso, os materiais devem atender à requisitos químicos e físicos impostos.

No processo produtivo da cerâmica vermelha uma grande quantidade de recursos naturais e energéticos é empregada, e resíduos são gerados, incluindo a cinza resultante da queima da lenha para produção da cerâmica. A combustão de lenha no Brasil gera grande quantidade de cinza sem destinação específica. De acordo com Borlini et al. [7], a produção de cinza é em torno de 3% da massa da madeira queimada, o que resulta em aproximadamente 2,55 milhões de toneladas de cinzas [8]. A indústria da cerâmica vermelha tem um raio de abrangência relativamente baixo [9], estando presente em quase todas as regiões do país e podendo fornecer a cinza residual para empresas produtoras de cimento independentemente da localização de sua implantação.

Ainda é pequena a quantidade de pesquisas que buscam utilizar a cinza de forno de olaria enquanto material ligante. Muitas pesquisas utilizam cinzas de madeira provenientes de diferentes origens como pode ser observado nas pesquisas a seguir: Couto et al. [10] avaliaram a cinza de eucalipto proveniente de fornos de aviário; Fusade et al. [11] analisaram o efeito da cinza de madeira nas propriedades e durabilidade de argamassas de cal comumente encontradas em edificações históricas; Melo et al. [12] buscaram a utilização da cinza de olaria na constituição de geopolímeros. Encontra-se, mais comumente, pesquisas que utilizam a cinza de forno de olaria (CFO), na construção civil como material inerte, como na pesquisa de Borlini et al. [7]. Outras pesquisas apontam a aptidão deste material para ser utilizado na agricultura, no preparo do solo [13,14].

A cidade de Presidente Epitácio fica localizada na região do Pontal do Paranapanema, no extremo Oeste do Estado de São Paulo, fazendo divisa a Oeste com o Reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sergio Motta e após com o Estado do Mato Grosso do Sul. No perfil econômico setorial destaca-se, entre outras atividades, as olarias. O Plano diretor de desenvolvimento turístico de Presidente Epitácio [15] cita as indústrias cerâmicas presentes no município como sendo um recurso turístico de negócios que contribui para o fluxo de até 5000 pessoas na cidade, por evento. A cidade de Presidente Epitácio passou por uma intensificação dos problemas ambientais, em 1998, causado pela formação do reservatório da usina Hidrelétrica instalada no município de Rosana. Um destes problemas foi a inundação dos depósitos de argila que afetou drasticamente a indústria local [16].

A cinza da queima da lenha é um dos principais resíduos sólidos gerados pela produção de cerâmicas, entretanto, a precisão do volume de cinza resultante do processo produtivo, se torna difícil de ser alcançada em função da qualidade/origem da madeira. Portanto este artigo tem como objetivo caracterizar este material e observar suas características enquanto material pozolânico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item são apresentados os processos de coleta, tratamento e caracterização física e química da CFO, bem como os ensaios necessários para avaliação de propriedades mecânicas das argamassas.

2.1 Cinza de forno de olaria

A CFO (Figura 1a) foi obtida diretamente de uma indústria cerâmica localizada na cidade de Presidente Epitácio, São Paulo (Figura 1b). A produção da CFO aconteceu em fornos intermitentes, do tipo abóboda. Lenhas de eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) e casca de pinus (*Pinus spp.*) foram utilizadas como combustível para gerar calor nos fornos. Termômetros instalados no interior dos fornos marcaram temperaturas que variavam entre 600 e 800°C. Após a coleta da cinza, esta foi peneirada em malha de 1,20 mm e a parte passante, moída em moinho de bolas da marca Solab, modelo SL-34/2-DT, composto por esferas cerâmicas, por um período de 40 minutos cada 2 kg de material.

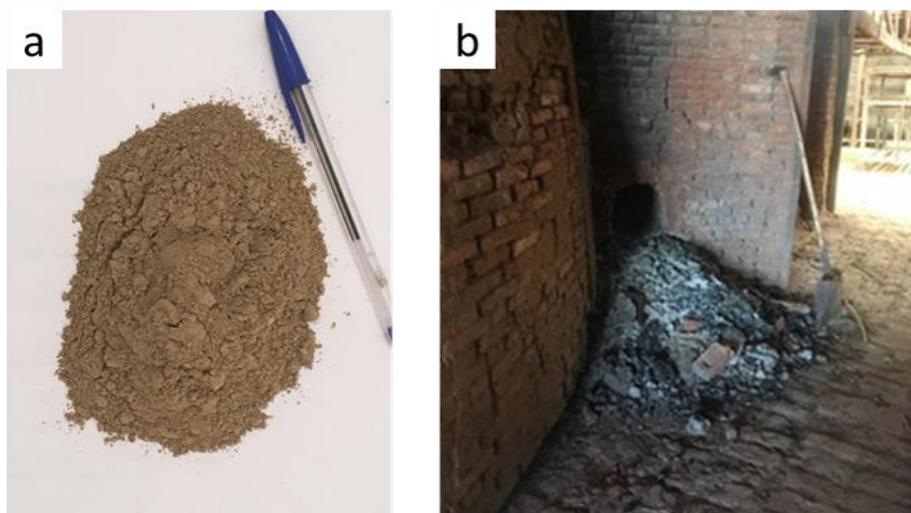


Figura 1: a) CFO pronta para uso b) Cinza disposta na saída da câmara de combustão.

2.2 Caracterização da CFO

A fim de responder se a CFO atende os requisitos físico-químicos determinados pela ABNT NBR 12653 [4] os seguintes ensaios foram realizados: - A composição química foi determinada pelo espectrômetro de fluorescência de raios-X Shimadzu, modelo XRF 180. - A distribuição do tamanho das partículas foi analisada no granulômetro à laser, modelo LS 100Q da Beckman Coulter. - A análise térmica foi realizada pelas técnicas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Termogravimetria (TG), com razão de aquecimento de 10°C/min até 1200°C sob vazão de ar sintético em cadinho de alumina no equipamento da TA Instruments, modelo SDT Q600.

Além dos ensaios de caracterização da cinza, foi realizada a análise mineralógica da CFO, uma vez que é sabido que materiais pozzolânicos reativos estão presentes em materiais amorfos. A determinação mineralógica foi realizada com o equipamento XRD-6000, LabX, e a identificação das fases cristalinas foi feita utilizando o *software* Crystallographica search-match[®].

2.3 Argamassas – Índice de atividade pozzolânica com cal

A Tabela 1 apresenta a proporção de mistura e as relações água/aglomerantes e cal/CFO. As quantidades de hidróxido de sódio e areia são fixadas pela norma [5]. A massa de material pozzolânico foi calculada em função da massa específica da cal hidratada e da CFO. A massa específica de ambos materiais foi obtida a partir da realização do ensaio descrito pela AMN NM 23 [17]. Por fim, a quantidade de água se fez variável em função da consistência de $22,5 \pm 0,5$ cm, exigida pela norma.

Tabela 1: Proporção da mistura da argamassa [5].

MASSA DOS MATERIAIS (g)				ÁGUA/AGLOMERANTE	CAL/CFO
AREIA	CAL	CFO	ÁGUA		
936,00	104,00	205,76	184,76	0,59	0,50

2.4 Argamassas – Índice de atividade pozzolânica com cimento Portland, ABNT NBR 5752

A ABNT NBR 5752 [6] estabelece o método para determinação do índice de atividade de materiais pozzolânicos.

cos com cimento Portland aos 28 dias. A Tabela 2 traz as proporções utilizadas nas misturas das duas argamassas necessárias para o cálculo do IAP. A “argamassa A” não apresenta adição, enquanto que na “argamassa B” 25% da massa de cimento Portland foi substituído por CFO.

Tabela 2: Proporção das misturas das argamassas [6].

MATERIAL	MASSA (g)	
	ARGAMASSA (A)	ARGAMASSA (B)
Cimento CP II-F-32	624,00	468,00
Material pozolânico	-	156,00
Areia normal	1872,00	1872,00
Água	300,00	300,00
Aditivo superplastificante	-	1,25

2.5 Argamassas – Com substituição de cimento Portland por CFO

Além das argamassas preconizadas pela ABNT NBR 12653 [4] foram produzidas argamassas cuja massa de cimento Portland de alta resistência inicial (CP-V-ARI) fosse substituída em 10%, 20% e 30% por CFO. O cimento CP-V-ARI foi escolhido por apresentar baixo teor de adição, sendo composto basicamente por clínquer e gipsita [18]. As argamassas, com relação aglomerante/areia de 1:2,5 e fator água/cimento de 0,50, foram usadas para moldar corpos de prova cilíndricos (5x10 cm). As mesmas proporções foram utilizadas para analisar argamassas com cimentos compostos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar [19, 20]. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida e ensaiados a compressão axial em 7, 28 e 91 dias de cura, após o capeamento dos corpos de prova, na prensa universal Instron EMIC®, modelo DL3000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da CFO

Os resultados de caracterização física e química da CFO e dos ensaios mecânicos das argamassas são apresentados nos itens a seguir

3.1.1 Análise química

A Tabela 3 apresenta o resultado do ensaio de fluorescência de raios-X (FRX), onde buscava-se que a CFO apresentasse composição química predominantemente formada por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . ABNT 12653 [4] fixa em 50% o mínimo para soma destes compostos em um material pozolânico.

Tabela 3: Composição química da CFO, obtida por FRX

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3	P_2O_5	Cl	TiO_2	MnO	PF
25,13	1,68	1,29	39,35	4,77	2,50	0,00	2,09	0,00	0,29	1,30	21,56

A FRX da CFO trouxe como resultado uma grande quantidade de óxido de cálcio (39,35%), seguido da sílica com 25,13%. Em comparação a exigência normativa – somatória de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , mínima 50% - obteve-se somente de 28,10%. A referida norma prevê ainda a quantidade máxima de SO_3 (4%) e neste sentido, a CFO não apresentou nenhuma quantidade do composto.

Borlini *et al.* [7] caracterizando quimicamente cinzas de eucaliptos provenientes de fornos de olarias também encontraram uma maior porcentagem de CaO, em 32,6%. As cascas de eucalipto são riquíssimas em cálcio, armazenando até 55% de todo cálcio da planta [8]. Melo *et al.* [12] também caracterizaram a cinza de forno de olaria e obteve resultados muito diferentes, porém este resultado pode ser explicado pelo uso de diferentes variedades, uma vez que não determina qual o tipo da lenha utilizada na queima.

3.1.2 Análise granulométrica

A Figura 2 apresenta a distribuição granulométrica da CFO. Após passar pelo processo de moagem, por 40 minutos, esperava-se que no máximo 20% do total da cinza fosse maior que 45 μm .

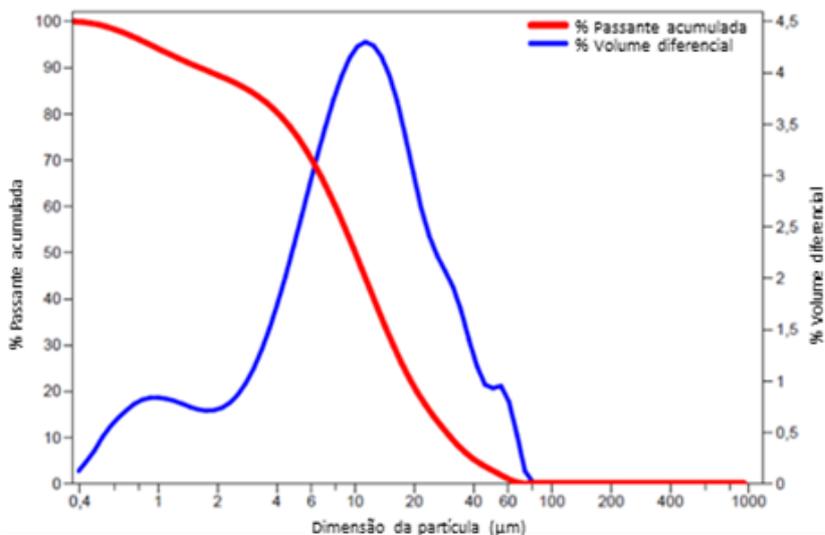


Figura 2: Distribuição granulométrica a laser da CFO

A CFO apresenta tamanho de partículas entre 0,4 e 60 μm e tamanho médio observado de 10,02 μm . Menos de 5% possuem tamanho de partículas acima de 45 μm , atendendo a exigência normativa. Borlini et al. [7] também estudou cinza de olaria e na caracterização do seu material de pesquisa observou que a cinza apresentava tamanho médio de partículas de 0,15 mm. A cinza de eucalipto, estudada por Vaske [8], após os devidos tratamentos, possuía tamanho médio de 32,59 μm .

3.1.3 Análise térmica

A Figura 3 mostra as curvas de TG, com linha contínua e DSC, linha tracejada, da CFO.

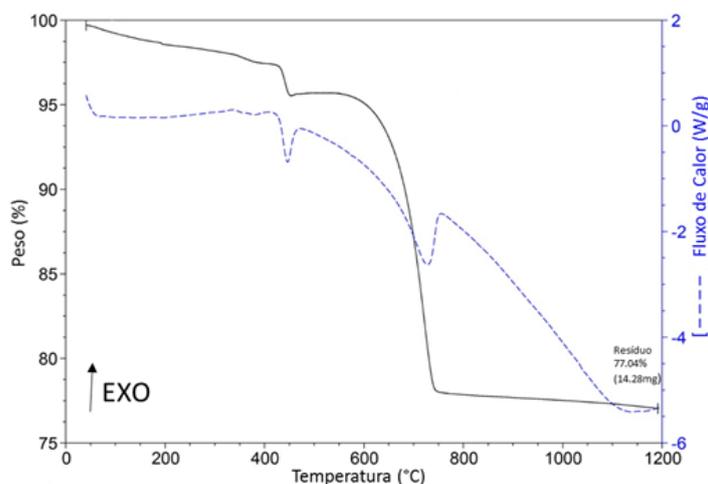


Figura 3: Curva de Calorimetria exploratória diferencial e termogravimétrica da CFO.

Na curva DSC é possível observar dois picos principais, ambos endotérmicos, o primeiro acontece aproximadamente a 450°C e o segundo a 750°C.

A curva TG nos informa as perdas de massa em função da temperatura. Pode-se observar duas perdas representativas de massa. A primeira acontece em cerca de 450°C e pode ser atribuída a desidratação do sulfato de magnésio.

Entre 600° e 800°C acontece a segunda queda na massa da amostra, de 17,77%, provavelmente associada à decomposição do carbonato de cálcio [7]. O ensaio completo foi realizado com rampa de aquecimento de 10°C/min que atingiu 1200°C e totalizou uma perda de massa de 22,96%. Tendo em vista que a perda

de massa máxima em relação ao fogo permitida é de 6 ou 10% [4] – de acordo com a classificação da pozo-lana – a CFO não atendeu este requisito. O alto valor da perda de massa em relação ao fogo pode ser atribuído à baixa qualidade dos fornos intermitentes, do tipo abóboda, cujo controle de temperatura é uma das des-vantagens.

3.1.4 Análise mineralógica

A Figura 4 apresenta o difratograma de raios-X da CFO. No difratograma foi realizada a identificação dos picos que indicam a presença de compostos cristalinos como o quartzo, portlandita e a calcita.

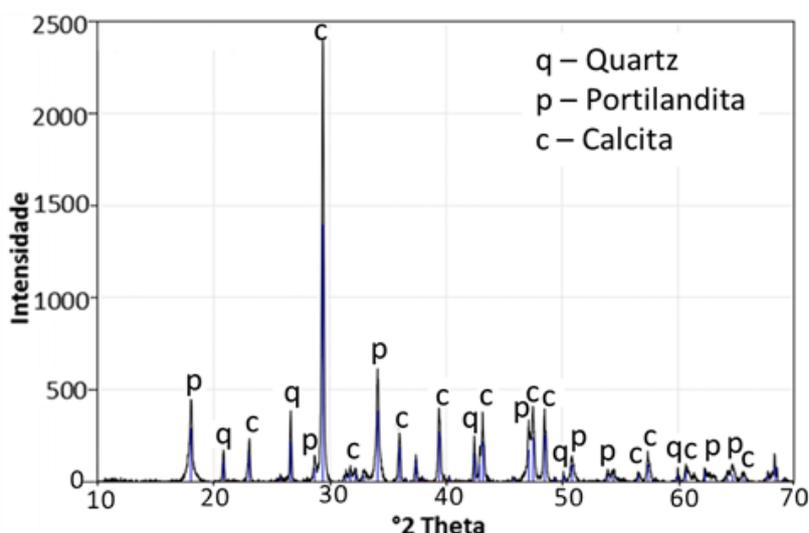


Figura 4: Difratograma da CFO

No difratograma da CFO é possível observar uma grande quantidade de picos atribuídos a materiais cristalinos. Também não é possível identificar o halo que se forma entre 15° e 35°, característico dos materiais amorfos. Cinzas de casca de arroz calcinadas com temperaturas abaixo de 600° têm maior teor de fase não-cristalina [21]. A calcinação de materiais orgânicos, como vegetais, entre 400 °C e 500 °C resulta na formação de elemento amorfo, que entre 700 °C e 800 °C pode ocorrer a formação de quartzo e outros compostos cristalinos e, complementarmente, a partir de 800°C os materiais formados terão característica predominantemente vítrea [22].

Devido aos termômetros presentes nos fornos da olaria estarem localizados na abóboda do forno, pode-se afirmar que a temperatura de produção da cinza tenha sido superior às aferidas pelos termômetros (máxima de 800°C) o que explicaria a intensa presença de picos característicos de materiais cristalinos.

Assim como o difratograma da CFO, apresentado na Figura 4, as análises conduzidas por Vaske [8], na cinza da lenha de eucalipto apresentaram intensa quantidade de picos. As grandes quantidades de calcita também foram observadas nas análises conduzidas pelo autor. O carbonato de cálcio observado corrobora com resultados da FRX expresso na Tabela 1. Picos de quartzo presentes no DRX da cinza de cana-de-açúcar já foram atribuídos à areia, possivelmente aderida aos colmos da cana no momento da colheita [22,23]. Sugere-se que uma situação semelhante possa ocorrer com a CFO, visto que estava disposta sobre revestimento de piso deteriorado e com grande concentração de solo no ambiente fabril.

3.2 Índice de atividade pozolânica com a cal

A Tabela 4 apresenta os resultados da resistência à compressão das argamassas moldadas com CFO e cal, curadas a 55°C, e rompidas com 7 dias.

Tabela 4: Resistência à compressão de argamassas com cal, conforme ABNT NBR 5751, de 2015.

MISTURA		RESISTÊNCIA (MPa)	MÉDIA (MPa)	DESVIO RELATIVO MÁXIMO (%)
CFO	CP1	0,37	0,37	0,33
	CP2	0,37		
	CP3	0,38		

Ao desmoldar os corpos de prova cujo material aglomerante usado foi a CFO pode-se observar que o corpo de prova esfarelava-se, como se a quantidade de aglomerante fosse insuficiente, evidenciando o caráter inerte desta cinza. A argamassa, de tão frágil, fez com que um dos corpos de prova quebrassem ao topo no momento da desforma. Mesmo com a ruptura do corpo de prova, a superfície fraturada foi regularizada e o mesmo foi ensaiado com resultado expresso no CP3 da Tabela 4. A resistência mínima exigida neste ensaio é de 6 MPa e como a CFO não apresentou as características químicas e mineralógicas necessárias, ela também não desenvolveu a resistência à compressão necessária quando ensaiada com cal.

3.3 Índice de atividade pozolânica com cimento Portland

O limite permitido para que a “argamassa B”, com adição de material pozolânico, ficasse abaixo da resistência da “argamassa A” era de 10%. A Tabela 5 traz as informações relativas de resistência à compressão e o índice de atividade pozolânica, então alcançado pela CFO.

Tabela 5: Resistência à compressão das argamassas, conforme ABNT NBR 5752, de 2014.

MISTURA	MATERIAL POZOLÂNICO (%)	ADITIVO (%)	RESISTÊNCIA (MPa)	DESVIO RELATIVO	CONSISTÊNCIA (cm)	IAP
Argamassa A	-	-	19,55	2,04	18,00	93%
Argamassa B	25,00	0,20	18,23	3,39	19,00	

O IAP mínimo requerido era de 90%. A “argamassa B” apresentou resistência suficiente para atingir este índice, no entanto não se deve tomar o resultado isoladamente como conclusivo, uma vez que o fracasso em todos os outros testes realizados indicou que esta amostra não apresentava reatividade suficiente para incorporação em cimentos como adição mineral. Pesquisas de diferentes autores e avaliando diferentes materiais costumam encontrar valores positivos para este ensaio, são exemplos Mendonça [24] que avaliou cinza produzida a partir de colmos de bambu e Anjos et al. [25] que ao trabalharem com microssílica de cinza densificada e não densificada, obtiveram resultados que atendiam a norma brasileira.

3.4 Argamassas com substituição de cimento Portland por CFO

A Figura 4 apresenta a resistência à compressão, aos 7, 28 e 91 dias, das argamassas de referência e com 10%, 20% e 30% de substituição da massa de cimento por cinza.

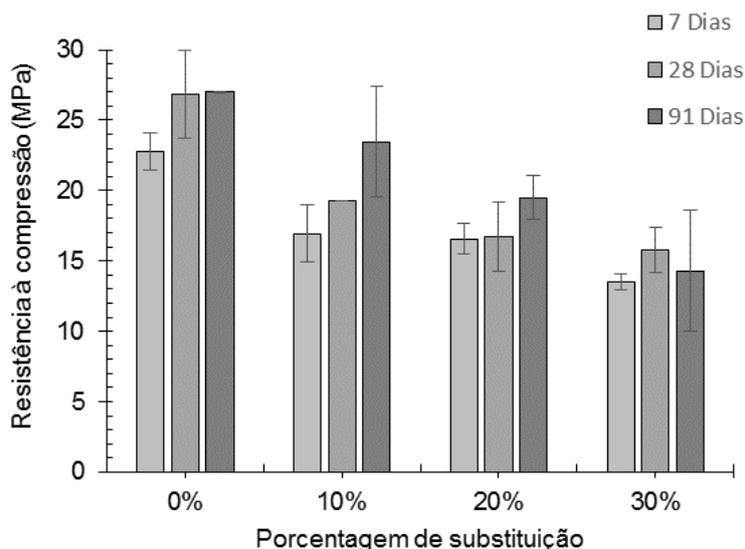


Figura 5: Resistência à compressão das argamassas com cimento Portland e diferentes porcentagens de adição

A partir da Figura 5 observa-se que as substituições de cimento por CFO levaram ao decréscimo dos valores de resistências de todas as argamassas com substituições. Na menor porcentagem de substituição (10%) a queda da resistência foi de 25,57%. A resistência aos 91 dias, nas argamassas com 30% de substituição foram 47,11% menor que na argamassa de referência. Este resultado comprova as análises de caracterização do material que indicavam que o mesmo não seria indicado para uso como material pozzolânico por não apresentar a composição química, mineralógica nem ter atingido a resistência necessária imposta pela norma [5]. Muitos autores realizam ensaios parecidos, variando a quantidade de substituição de acordo com a resposta do material. Borges et al. [26] realizaram substituições de cimento por cinza de eucalipto, em quantidades entre 5 e 20%, monitoradas até 28 dias de cura e observou queda na resistência, conforme aumentava a quantidade de substituição assim como nos ensaios conduzidos nesta pesquisa. Esta queda de resistência é explicada pela diminuição da quantidade de silicatos hidratados produzidos com a menor quantidade de cimento.

4. CONCLUSÕES

Os ensaios de caracterização da CFO mostraram que o material, dentro das condições de queima e preparo, não atende as demandas normativas para uso de resíduos enquanto adição mineral ativa em concretos, argamassas e pastas. O preparo granulométrico da cinza a enquadrar no padrão exigido, entretanto as altas temperaturas de queima da lenha, nos fornos do tipo abóboda, geraram um material vítreo sem reatividade pozzolânica. A falta de reatividade pozzolânica levou a grandes déficits de resistências a compressão axial das argamassas produzidas com substituições do material. O ensaio de FRX mostrou altos teores de CaO que apontam a possibilidade de pesquisas futuras para caracterização deste material enquanto plastificante, retardador de pega, corretor de acidez do solo ou ainda enquanto agregado miúdo que produza efeito *filler*.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de subsídios à pesquisa; Ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (PPGMADRE) da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE); Ao laboratório de Materiais Cerâmicos (LAMAC) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCT UNESP) de Presidente Prudente e ao Instituto Federal de São Paulo, campus Presidente Epitácio.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] HOPPE FILHO, J., GOBBI, A., PEREIRA, E. *et al.* “Pozzolanic activity of mineral additions to Portland cement (Part I): Pozzolanic activity index with lime (PAI), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetry (TG/DTG) and modified Chapelle”, *Matéria*, v. 22, n. 3, e11872, ago 2017.

- [2] PAYÁ, J., MONZÓ, J. M., BORRACHERO, M.V. *et al.* "Pozzolanic reaction rate of fluid catalytic cracking catalyst residue (FC3R) in cement pastes", *Advances In Cement Research*, v. 25, n. 2, pp.112-118, abr. 2013.
- [3] BERNAL, S. A., PROVIS, J. L., ROSE, V. *et al.* "High-resolution X-ray diffraction and fluorescence microscopy characterization of alkali-activated slag-metakaolin binders", *Journal Of The American Ceramic Society*, v. 96, n. 6, pp.1951-1957, mar. 2013.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. *NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos*. Rio de Janeiro, 6 p. 2015.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias*. Rio de Janeiro, 4 p. 2015.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5752: Materiais Pozolânicos – Determinação do Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias*. Rio de Janeiro, 4 p. 2014.
- [7] BORLINI, M. C., SALES, H. F., VIEIRA, C. M. F. *et al.* "Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha. parte I: características da cinza", *Cerâmica*, v. 51, n. 319, pp.192-196, set. 2005.
- [8] VASKE, N. R.. Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multi-ciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumotubular como adição ao concreto. Tese de D.Sc., Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2012.
- [9] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. *Estudo técnico setorial da cerâmica vermelha*. Brasília, DF, Brasil, 2016.
- [10] COUTO, Á. F., NOGUEIRA, G. S. F., SANDOVAL, G. F. B. *et al.* "Initial study of Eucalyptus Wood Ash (EWA) as a mineral admixture in concrete", *Dyna*, v. 86, n. 208, pp.264-270, jan. 2019.
- [11] FUSADE, L., VILES, H., WOOD, C. *et al.* "The effect of wood ash on the properties and durability of lime mortar for repointing damp historic buildings", *Construction And Building Materials*, v. 212, pp.500-513, jul. 2019.
- [12] MELO, L. M., MIRANDA, G. L., JABOUR, L. Z. *et al.* "Desenvolvimento de geopolímero a partir de cinza de olaria e metacaulim ativado com adição de cinza de ossos bovinos", *CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*, 22, 2016, Natal, RN, Brasil.
- [13] RIBEIRO, R. M., AMENDOLA, E., ANDRADE, V. *et al.* "Utilização da cinza vegetal para calagem e correção de solos – um estudo de caso para a região metropolitana de Curitiba (RMC)". *Agrarian Academy*, Goiânia, v. 2, n. 3, pp.114-124, ago. 2015.
- [14] GENTIL, D. F. O., COELHO, R. G., SILVA, Y. B. S. *et al.* "Cinza de olaria em substrato para mudas de alface", *Reunião Anual da Sociedade InterAmericana de Horticultura Tropical – ISTH*, v.61, pp. 119, Manaus, AM, Brasil, 2015.
- [15] PRESIDENTE EPITÁCIO. *Plano Diretor de turismo do município de Presidente Epitácio*. Presidente Epitácio: Turismo, 250 p., 2018.
- [16] SANTOS, R., LEAL, A. C. "Análise ambiental da estância turística de Presidente Epitácio – São Paulo – Brasil". *Revista Formação Online*, S.I., v. 2, n. 18, pp.3-28, jul. 2011.
- [17] ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. *NM 23: Cimento Portland – Determinação e massa específica*. Rio de Janeiro, 5 p., 2000.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS — ABNT. *NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro, 12 p., 2018.
- [19] MORAES, J. C. B. *Utilização da cinza de folha de cana-de-açúcar como material pozolânico em matrizes cimentantes*, Dissertação de Ms., Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2015.
- [20] PEREIRA, A.M. *Análise da viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aglomerante para a produção de matrizes cimentantes*, Dissertação de Ms., Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2014.
- [21] PAYÁ, J., MONZÓ, J. M., BORRACHERO, M.V. *et al.* "Studies on crystalline rice husk ashes and the activation of their pozzolanic properties". *International Conference on the science and engineering of recycling for environmental protection*, pp.493-503, Inglaterra, Reino Unido, jun. 2000.

- [22] DE PAULA, M. O. *Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland*, Dissertação de Ms., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 2006.
- [23] CORDEIRO, G. C., TOLEDO FILHO, R. D., TAVARES, L. M. *et al.* “Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete”, *Cement And Concrete Research*, v. 39, n. 2, pp.110-115, fev. 2009.
- [24] MENDONÇA, M. F. *Substituição parcial do cimento Portland por cinzas de bambu (Bambusa Vulgaris)*. 2018. 81 f, Dissertação de Ms., Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil, 2018.
- [25] CAMELO, H. N., LUCIO, P. S., CARVALHO, P. C. M. *et al.* “Previsão de radiação solar incidente no estado do Ceará – Brasil”, *Holos*, v. 7, pp.88-99, nov. 2016.
- [26] BORGES, D., VALVERDE, D., BIANCHI, G. *et al.* “Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável”, *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 5, n. 11, pp.89-103, set. 2017.

ORCID

Lucas Henrique Pereira Silva	https://orcid.org/0000-0002-8338-5609
Jacqueline Roberta Tamashiro	https://orcid.org/0000-0001-5607-6555
Patrícia Alexandra Antunes	https://orcid.org/0000-0003-2173-9712
Danillo Roberto Pereira	https://orcid.org/0000-0001-7934-6482