

# ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO DA CAL HIDRATADA POR ESCÓRIA DE FORNO PANELA (EFP): PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

**Palavras-Chave:** RESÍDUOS INDUSTRIAIS, MATERIAIS SUSTENTÁVEIS, AGLOMERANTE  
COMPLEMENTAR.

**Autores:**

**RUBIA CARNEIRO NAKAJIMA MARQUES, FECFAU, UNICAMP**

**EVERTON DE FREITAS CORDOVA DE SOUZA, FECFAU, UNICAMP**

**TAYNÁ FRACÃO DA SILVA, FECFAU, UNICAMP**

**EDUARDO FREIRE MARIANO, FECFAU, UNICAMP**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> GISLEIVA CRISTINA DOS SANTOS FERREIRA (orientadora), FECFAU, UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

No Brasil, a produção anual de aço é de 29 milhões de toneladas, a qual é responsável pela geração de 18 milhões de toneladas de resíduos sólidos (IABr, 2023). Entre estes resíduos, encontra-se a Escória de Forno Panela (EFP), proveniente dos fornos de aciaria, durante o processo secundário de refino do aço. A cada tonelada de aço produzido, gera-se de 30 a 50kg de EFP (MAGHOOL et al., 2017).

Com esse cenário, justifica-se a necessidade de estudos sobre a utilização deste tipo de escória, buscando possibilidades sustentáveis para mitigar os impactos ambientais da indústria siderúrgica. Uma das principais utilizações da EFP é no setor da construção civil, devido à demanda que o setor exige, compatível à quantidade de escória gerada. A presença do óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>), direcionou vários estudos sobre a utilização da EFP como aglomerante ou agregado em matrizes cimentícias, a depender da granulometria e composição química de cada lote (RODRIGUEZ et al., 2009; HENRIQUEZ et al., 2021).

Entre os materiais cimentícios que podem receber a EFP, destaca-se as argamassas de assentamento. Rodriguez et al. (2009) estudaram a substituição de 30% de cimento por EFP e 20% de areia por EFP na produção de argamassas. A etapa experimental desta pesquisa envolveu a caracterização físico-química da amostra de EFP e a determinação da resistência mecânica de argamassas. Os resultados indicaram que os valores de resistência à compressão das argamassas

com 30% de EFP e Referência (0% EFP) foram estatisticamente iguais. Esse comportamento indica a viabilidade técnica do uso da EFP como aglomerante miúdo secundário.

Entretanto, ainda há poucos estudos sobre o uso da EFP em argamassas com proporções de materiais (traço) adequadas ao uso (assentamento, revestimento de paredes e tetos). Neste sentido, as principais propriedades para argamassas de assentamento são obtidas no estado fresco (ar incorporado, retenção de água e trabalhabilidade). Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades no estado fresco de argamassas de assentamento com escória de forno panela (EFP) em substituição a cal hidratada. Também é importante verificar o potencial da EFP como material ativador de adições pozolânicas, comprovando a possibilidade

## MATERIAIS E METODOLOGIA

Os materiais utilizados nas argamassas foram areia quartzosa, Cimento Portland (CP II-F), Cal Hidratada (CH), Metacaulim (MK), EFP (região de Campinas, SP). Esses materiais forma caracterização, obtendo-se e água proveniente da rede de abastecimento.

Na Tabela 1, encontram-se os quatro traços utilizados para realizar o preparo das argamassas e posteriores ensaios de caracterização no estado fresco. Foram produzidas argamassas mistas com substituição de cal hidratada por escória de forno panela no teor de 100%, considerando os resultados satisfatórios de Borges Marinho et al. (2017), além da substituição de 10% do CP por MK.

Identificação o	Aglomerante				Agregad o
	CP	CAL	MK	EFP	AREIA
REF	1	0,5	0	0	3
REF-MK	0,9	0,5	0,1	0	3
EFP	1	0	0	0,5	3
EFP-MK	0,9	0	0,1	0,5	3

Tabela 1 – Traços das argamassas (em volume), utilizados na confecção dos corpos de prova.

A Tabela 2 apresenta os ensaios para a caracterização das argamassas no estado fresco. Primeiramente, foi realizada a definição da relação água/aglomerante das argamassas de assentamento através do ensaio do Flow Table (NBR 13276 (ABNT, 2016)) e na sequência os ensaios no estado fresco, exigidos na NBR 13281-2 (ABNT, 2023).

Requisitos	Norma
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência	NBR 13276:2016
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação retenção de água	NBR 13277:2005
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da	NBR

densidade de massa e do teor de ar incorporado

13278:2005

Tabela 2 – Ensaios e respectivas normas, necessários à caracterização no estado fresco das argamassas.

Os resultados de caracterização das argamassas no estado fresco se iniciam na determinação da proporção água/aglomerante. Na Figura 1a, está apresentado o ensaio de determinação do índice de consistência das argamassas. Este ensaio possibilitou a determinação da quantidade de água de amassamento considerando uma trabalhabilidade normal de  $260 \pm 5$  mm (NBR 13276, (ABNT, 2016)).

Na Figura 1b, está representado equipamento que foi utilizado para a realização do ensaio de retenção de água, segundo a NBR 13277 (ABNT, 2005). Por este método pode-se verificar a propriedade a capacidade da amostra de argamassa de manter a trabalhabilidade após sua preparação. Do mesmo modo, foi executado o ensaio de densidade e teor de ar incorporado que segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005), define-se a massa específica da argamassa no estado fresco e permite o cálculo do teor de ar incorporado em cada uma delas.

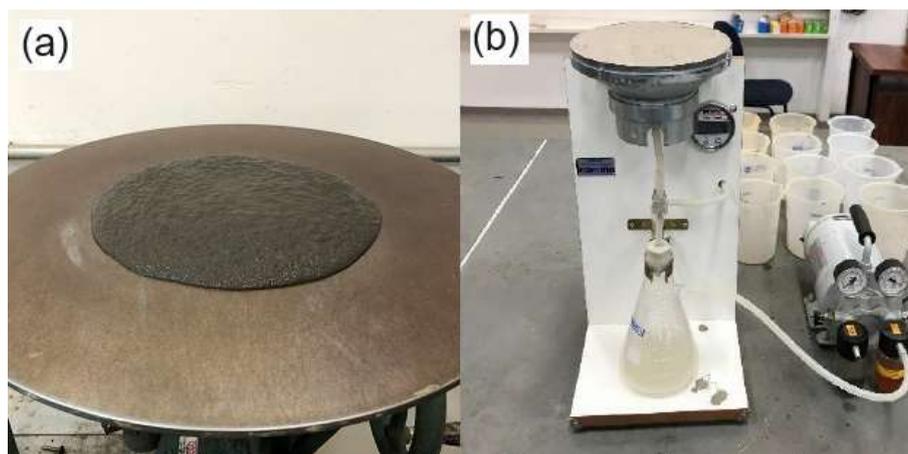


Figura 1- (a) Ensaio de determinação do índice de consistência das argamassas; (b) Equipamento de retenção de água para o ensaio de retenção de água – fonte: autores

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As relações de proporção água/aglomerante obtidas por meio do ensaio prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2016) estão descritos na Tabela 3.

Identificação o	Aglomerante				Agregado	Água/ Aglomerante	Flow Table (mm)
	CP	CAL	MK	EFP	AREIA		
REF	1	0,5	0	0	3	0,78	262
REF-MK	0,9	0,5	0,1	0	3	0,78	261
EFP	1	0	0	0,5	3	0,75	260
EFP-MK	0,9	0	0,1	0,5	3	0,75	261

Tabela 3 – Índice de consistência das argamassas analisadas.

A análise dos resultados de Flow Table indica que a presença da EFP, em substituição a CH, resulta na manutenção do espalhamento do traço e da redução da relação água/aglomerante da argamassa estudada. Este comportamento pode ser justificado pela área superficial específica da EFP (0,588 m<sup>2</sup>/g) em comparação com a CH (1,14 m<sup>2</sup>/g), assim como o d<sub>90</sub> (diâmetro correspondente a 90% do material passante) dos dois materiais: EFP: 107,96 µm e CH: 95,96 µm; o qual absorve menos água durante a hidratação. Estes resultados foram extraídos de ensaios de outros membros do grupo de pesquisa que também trabalham com a aplicação de EFP. Já a presença de MK não alterou os resultados dos traços com ou sem EFP; isto porque a área superficial específica do MK é similar ao do CP, o que não interferiu na absorção de água.

Já na Tabela 4, são apresentados os resultados dos ensaios de retenção de água, densidade e teor de ar incorporado dos traços das argamassas estudadas.

Identificação	Retenção de água (%)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
REF	82	2039	5
REF-MK	78	2053	5
EFP	84	2064	5
EFP-MK	87	2060	5

Tabela 4 – Retenção de água, densidade e teor de ar incorporado das argamassas.

Pôde-se observar que a incorporação de EFP provocou aumento da retenção de água em relação ao traço referência, o que foi mais significativo (11,5%) quando compara-se os traços REF-MK e EFP-MK. Deve-se destacar que esta propriedade é relevante para as argamassas de assentamento que perdem água pela evaporação e por sucção do substrato, durante a execução da obra (Carasek, 2017).

Em relação à densidade, verifica-se que a presença de MK na argamassa REF apresentou maior efeito do que na com escória (EFP+MK). Isso pode ser justificado pela maior retenção de água desta argamassa. Apesar da maior massa específica da EFP em relação à cal (2,75 g/cm<sup>3</sup> e 2,50 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente). Além disso, a incorporação da EFP e MK não interferiu no teor de ar incorporado das argamassas, apresentando valores iguais para todos os traços.

## CONCLUSÕES

Em relação à trabalhabilidade das argamassas com CP+EFP, é possível concluir que a presença deste tipo de escória exige menor relação água/material seco, para manter a mesma trabalhabilidade das argamassas com CP+cal. Já em relação à retenção de água, a incorporação de EFP atingiu resultados superiores aos das argamassas com CP+cal, melhorando esta propriedade. A

densidade foi mais influenciada pelo MK do que a EFP, em função da retenção de água. Sobre os resultados do teor de ar incorporado, os valores foram iguais para todas as argamassas. Portanto, pode-se concluir que a substituição da CH por EFP, melhorou as propriedades no estado fresco das argamassas analisadas.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Aos alunos de graduação e pós-graduação pelo suporte: Mylena Castro, Everton Souza, Tayná Silva e Eduardo Mariano. Os autores agradecem a empresa ArcelorMittal por fornecer amostra de EFP, utilizada neste estudo e aos Laboratórios de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU/UNICAMP) e Faculdade de Tecnologia (FT/UNICAMP).

## BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e de teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281-2. Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.
- CARASEK, H. Argamassas. In: ISAÍÁ, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: IBRACON, 2017. p. 922-967.
- HENRIQUEZ, P. A. et al. Ladle furnace slag as a partial replacement of Portland cement. **Construction and Building Materials**, v.123, p. 40-413, 2016.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. Folder Aço Brasil Sustentabilidade 2023. Disponível em: <[https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/AcoBrasil\\_SUSTENTABILIDADE\\_2023.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/AcoBrasil_SUSTENTABILIDADE_2023.pdf)>. Acesso em: 13 de maio de 2024.
- MAGHOOL, F. et al. Environmental impacts of utilizing waste steel slag aggregates as recycled road construction materials. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, p. 949–958, 2017.
- RODRIGUEZ, Á. et al. Strength and workability of masonry mortars manufactured with ladle furnace slag. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 11, p. 645–651, 2009.