

## ESTUDO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Wanner Kelly Damasceno Silva (Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará)

E-mail: [kellydamasc@gmail.com](mailto:kellydamasc@gmail.com)

Felipe Alves Amancio (Mestrando em Engenharia Civil, PEC-UFC)

E-mail: [felipeamancio@hotmail.com](mailto:felipeamancio@hotmail.com)

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias (Mestrando em Engenharia Civil, PEC-UFC)

E-mail: [rodrigues\\_alisson@live.com](mailto:rodrigues_alisson@live.com)

Douglas Alexandre Lima (Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará)

E-mail: [douglas.edif@gmail.com](mailto:douglas.edif@gmail.com)

Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará)

E-mail: [eduardo.cabral@ufc.br](mailto:eduardo.cabral@ufc.br)

**Resumo:** A indústria siderúrgica produz significativo volume de resíduo anualmente, sendo responsável por gerar cerca de 20 milhões de toneladas de rejeitos siderúrgicos no Brasil em 2017. As destinações majoritárias deste resíduo, atualmente, são aplicações em bases e sub-bases de estradas, bem como em nivelamento de terrenos e aterros. Assim, observa-se a incipiência do reaproveitamento de escória de aciaria como agregado em compósitos cimentícios para construção civil, visto que esse setor necessita da utilização de grandes quantidades de matéria prima, intensificando a extração de recursos naturais. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial de areia natural por escória de aciaria BSSF (*Baosteel Slag Short Flow*) para produção de argamassa de revestimento. Foram produzidas argamassas mistas na proporção de 1:1:6, em volume, para quatro traços com teores de substituição, em volume, de 0%, 10%, 20% e 30% de escória BSSF em substituição ao agregado natural. Constatou-se resultado favorável à aplicação de escória BSSF nos teores de 10% e 20%, apresentando propriedades semelhantes às argamassas convencionais.

**Palavras-chave:** Argamassa; escória de aciaria; siderurgia; reaproveitamento de resíduo.

## PRELIMINARY STUDY OF STEEL SLAG USE AS FINE AGGREGATE IN COATING MORTAR

**Abstract:** The steel industry produces a significant amount of waste annually, and is responsible for generating about 20 million tons of steel residue in Brazil in 2017. The majority of this waste is currently used in bases and sub-bases of roads, as well as in leveling of land and landfills. Thus, the incipience of the reuse of steel slag as an aggregate in cementitious composites for civil construction is observed, since this sector requires the use of large amounts of raw material, intensifying the extraction of natural resources. In this sense, the present study aimed to evaluate the technical feasibility of partial replacement of natural sand by steel slag BSSF (*Baosteel Slag Short Flow*) for the production of coating mortar. Mixed 1:1:6 were produced by volume for four mixes with 0%, 10%, 20% and 30% substitution contents of BSSF slag replacing the natural aggregate. It was observed a favorable result to the application of BSSF slag in the contents of 10% and 20%, presenting properties similar to conventional mortars.

**Keywords:** Mortar; steel slag; steel industry; reuse of waste.

### 1. Introdução

No Brasil, a geração de resíduos e coprodutos diretos, sendo estes as escórias, as lamas, os pós, as carepas, representou 20,88 milhões de toneladas em 2017. Assim, a produção de agregados siderúrgicos foi da ordem de 607 kg por tonelada de aço bruto nacional, onde foram produzidos 42% de escória de alto-forno, 27% de escória de aciaria e o restante representado por finos, pós, lamas, dentre outros coprodutos. Também, no referido ano, 92% do agregado siderúrgico de alto forno foram vendidos ao mercado,

principalmente para a produção de cimento, enquanto apenas 36% da escória de aciaria foram vendidas e 23% do volume produzido deste coproduto foram utilizados internamente, tendo como principal aplicação a execução de base para pavimentação de estradas e vias (IAB, 2018).

Em relação à escória BSSF, o sistema intitulado como *Baosteel Slag Short Flow* é pioneiro, não somente no Brasil, mas em todo Ocidente, sendo uma tecnologia desenvolvida pelas indústrias siderúrgicas sul-coreanas e chinesas (IAB, 2018). Através desse processo foi possível resfriar a escória mais rapidamente e reciclá-la, sendo a mesma fundida a altas temperaturas em um recipiente rotativo. O resíduo é solidificado e, posteriormente, triturado em pequenas partículas. A escória líquida gerada é transferida para um tambor de granulação, onde é realizada a injeção de água com um tempo de permanência entre três e cinco minutos, e posterior separação magnética (SOUZA, 2016)

Castelo (2004) evidencia os diversos usos de escória de aciaria como material para a construção civil, tais como matéria prima para produção de cimento, devido à composição química do resíduo siderúrgico se semelhar ao clínquer gerado na produção do cimento Portland; agregado para concreto, onde se indicou o aumento da resistência à compressão e durabilidade à abrasão; componentes de base e sub-base de pavimentos; agregado para misturas asfálticas; construção de lastro de leitos de ferrovias; aterros e contenções; dentre outras aplicações.

Na construção civil, o agregado siderúrgico substitui parcialmente a areia e/ou a brita, a depender da competitividade regional com os agregados naturais, sendo a utilização comum em pavimentação, concreto e confecção de tijolos e blocos (GEYER, 2001). O uso destes resíduos podem contribuir para resolver problemas de falta de agregados em vários locais de construção e reduzir problemas ambientais relacionados à mineração e disposição final de resíduos (OUDA; ABDEL-GAWWAD, 2015).

França et al. (2013) analisaram os parâmetros de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e resistência de aderência à tração para argamassas com aplicação de escória de aciaria elétrica, averiguando que as amostras com agregado siderúrgico possuem resistências mecânicas e de aderência à tração superiores à argamassa produzida com agregado miúdo natural, além de resultados equivalentes para trabalhabilidade.

Neste sentido, o objetivo do presente estudo é avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial de agregado miúdo por escória desenvolvida através do processo BSSF (*Baosteel Slag Short Flow*) para produção de argamassa para revestimento.

## 2. Materiais e métodos

Foram produzidas argamassas mistas de revestimento com o traço usual em obras na proporção de cimento, cal hidratada e areia úmida 1:1:6, recomendado para fachadas externas, tendo em vista a agressividade inerente a exposição do revestimento ao meio. Salienta-se que o traço equivale a um saco de cimento (50 kg), um saco de cal hidratada (20kg) e seis padiolas de areia úmida, com capacidade de 40L cada. Assim, foram realizados quatro traços com teores de 0%, ou seja, o valor referência; 10%; 20% e 30% de escória com substituição, em volume, do agregado miúdo natural por escória de aciaria. A substituição ocorreu conforme a Equação 1, sendo a massa do material ( $m$ ) e a massa específica ( $\gamma$ ) do mesmo indicadas.

$$M_{escória} = M_{areia} \frac{\gamma_{escória}}{\gamma_{areia}} \quad \text{Equação (1)}$$

A Tabela 1 apresenta os traços unitários em massas.

Tabela 1 – Traço unitário em massa

Traço	Teor de escória (%)	Cimento	Cal	Areia	Escória
ARG0	0	1	0,4	4,77	0,00
ARG10	10	1	0,4	4,29	0,70
ARG20	20	1	0,4	3,81	1,41
ARG30	30	1	0,4	3,34	2,11

Fonte: Autores, 2018

## 2.1. Materiais

Para a produção das argamassas foram utilizados o cimento CP V ARI e a cal hidratada CH I. As Tabelas 2 e 3 apresentam as propriedades do cimento utilizado.

Tabela 2 – Características físicas e químicas do cimento utilizado

Ensaio	Norma	Resultado	Especificação – Norma NBR 16697/2018
Perda ao fogo	NM 18/12	4,39 %	≤ 4,5
Óxido de Magnésio – MgO	NM 11-2/12	4,17 %	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico – SO <sub>3</sub>	NM 16/12	3,24 %	≤ 3,5
Resíduo Insolúvel	NM 15/12	0,69 %	≤ 1,0
Anidrido Carbônico – CO <sub>2</sub>	11578/91	2,97 %	≤ 3,0
Área específica (Blaine)	16372/15	4198 cm <sup>2</sup> /g	≥ 3000 cm <sup>2</sup> /g
Massa específica	NM 23/01	3,06 g/cm <sup>3</sup>	Não aplicável
Finura (#200)	11579/12	0,2 %	≤ 6,0
Finura (#325)	12826/14	4,8 %	Não aplicável
Início de pega	NM 65/03	2:15 h:min	≥ 1,0
Fim de pega	NM 65/03	3:45 h:min	≤ 10,0
Expansibilidade a quente	NM 11582/16	0,00 mm	≤ 5,0

Fonte: Boletim técnico - Apodi, 2018

Tabela 3 – Resistência à compressão (MPa) do cimento utilizado

Idade (dias)	Média (MPa)	Especificação - NBR 16697/2018
1	25,9	≥ 14,0 MPa
3	36,6	≥ 24,0 MPa
7	44,3	≥ 34,0 MPa
28	53,2	-

Fonte: Boletim técnico - Apodi, 2018

O agregado miúdo natural utilizado para produção da argamassa em estudo foi areia de rio, proveniente do Rio Curu, localizado na bacia de São Luís do Curu/CE. A escória de aciaria utilizada como agregado foi proveniente do processo BSSF desenvolvido pela Companhia Siderúrgica do Pecém no Ceará. O material foi seco em estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  até a constância de massa. Após seca a escória, foi realizada o peneiramento, conforme estabelece a ABNT NBR NM 248:2003.

Em seguida, foi realizado o ajuste da distribuição granulométrica da escória para se igualar ao da areia natural, no intuito de evitar influência do tamanho dos grãos na

trabalhabilidade e demais propriedades das argamassas, conforme pode ser observado na Figura 1. A Tabela 4 apresenta as características dos agregados.

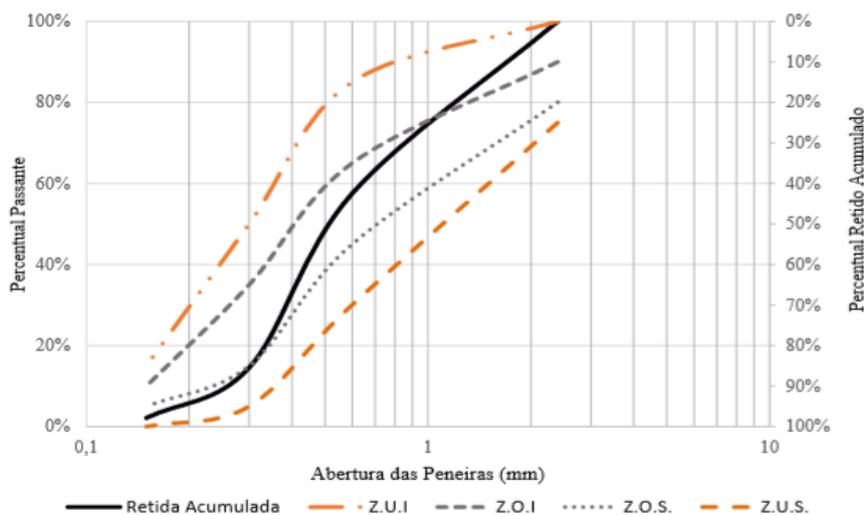


Figura 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado (Legenda – Z.U.I: Zona Útil Inferior; Z.O.I: Zona Ótima Inferior; Z.U.S: Zona Útil Superior; Z.O.S: Zona Ótima Superior)

Tabela 4 – Caracterização física da areia e da escória BSSF

Propriedades	Areia	Escória BSSF	Norma
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	3,86	ABNT NBR NM 52:2009
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,61	2,08	ABNT NBR NM 45:2006(13)
Absorção (%)	0,4	2,1	ABNT NBR NM 52:2009
Módulo de finura (adm)	2,26	2,26	ABNT NM 248:2003
Dimensão máxima característica (mm)	1,18	1,18	ABNT NM 248:2003
Teor de material pulverulento (%)	0,5	1,3	ABNT NBR NM 46:2003

Fonte: Autores, 2018

Foi determinada a composição química da escória por meio da Fluorescência de raios X (Tabela 5). Destaca-se que a escória é composta predominantemente de CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> (±92%). Valores próximos foram obtidos por Campos; Rafael; Cabral (2018) utilizando o mesmo resíduo.

Tabela 5 – Composição química da escória BSSF por meio do FRX

Amostra (%)	Óxidos								
	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	33,46	52,98	5,84	0,63	5,09	0,04	1,01	0,63	0,21

Fonte: Autores, 2018

### 2.1. Métodos

No estado fresco, foram averiguadas as características de trabalhabilidade da argamassa mista, em estudo, através da determinação do índice de consistência, segundo a NBR

13276 (ABNT, 2016), da densidade de massa e do teor de ar incorporado, sendo estes obtidos segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005).

Para o estado endurecido, foram executados os ensaios de resistências à tração na flexão e à compressão axial na idade de 28 dias após cura ao ar segundo os critérios indicados na NBR 13279 (ABNT, 2005). Para análise da permeabilidade, foi utilizado o método do cachimbo aos 28 dias, executando duas amostras para cada traço. Foram seguidos os procedimentos do teste nº II.4 da Rilem Commission 25-PEM (RILEM, 1980).

A determinação da resistência de aderência à tração foi obtida através do seguimento às especificações apresentadas na norma NBR 13528 (ABNT, 2010) na idade de 28 dias de cura ao ar, onde foram executados quatro painéis nas dimensões 50cm x 50cm x 2cm sobre alvenaria de vedação como substrato à aplicação da argamassa analisada, conforme apresentado na Figura 2. Salienta-se que foram ensaiados 12 corpos de prova por traço em estudo, por tanto totalizando 48 amostras, distribuídas de forma aleatória e com espaçamento mínimo de 50 mm das extremidades, conforme preconizado pela NBR 13528 (ABNT, 2010).

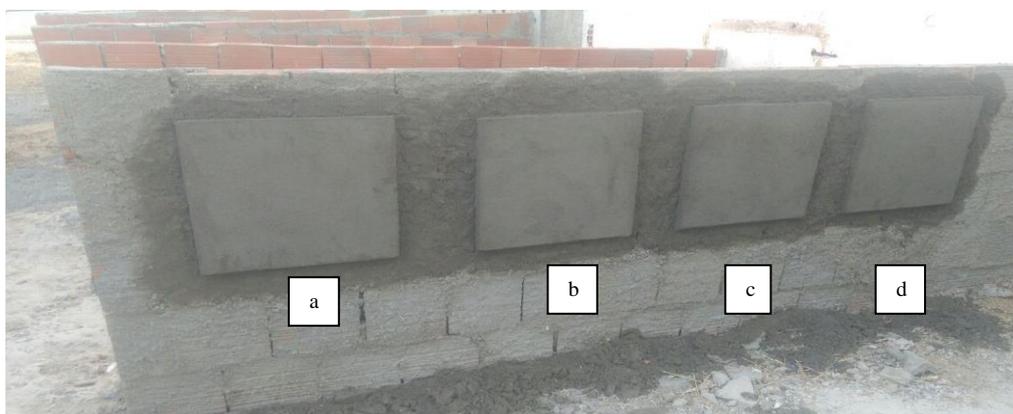


Figura 2 – Painéis executados para o ensaio de resistência de aderência à tração: a) Traço de referência; b) Traço com 10% de escória; c) Traço com 20% de escória; d) Traço com 30% de escória

O revestimento foi executado inicialmente com a aplicação do chapisco no traço 1:3 (cimento:areia) com consistência fluida para preparar a base para receber o revestimento. Após cura de 7 dias do chapisco, foi realizado o revestimento em camada única com espessura de 20 mm, atendendo aos limites estabelecidos para execução de revestimento em paredes internas (espessura de 5 a 20 mm) e externas (espessura de 20 a 30 mm) segundo as recomendações da NBR 13749 (ABNT, 2013). Em adição, foi realizado a identificação e mapeamento das fissuras no revestimento.

Por fim, com os resultados obtidos foi realizado a Análise de Variância (ANOVA) dos ensaios realizados no intuito de verificar a influência de cada variável investigada. O software utilizado foi o Statsoft Statistica 7.0, considerando a confiabilidade de 95%.

### 3. Resultados

Nesta seção são explanados os resultados da aplicação da escória BSSF em argamassas mistas em porcentagens de substituição de 10%, 20% e 30% de agregado siderúrgico; avaliando-se a trabalhabilidade, resistência e durabilidade das mesmas, comparando as

argamassas com teores de substituição à argamassa de referência.

### 3.1. Estado fresco

#### 3.1.1. Índice de consistência

Por tentativa e erro, foi encontrado o fator água/cimento para cada porcentagem de substituição de escória, portanto para cada traço avaliado, onde o parâmetro limitante tratou-se do espalhamento médio de  $260 \pm 5$  mm, conforme preconiza a norma NBR 13276 (ABNT, 2016). A Tabela 6 a seguir mostra o consumo de cada material seco para cada metro cúbico ( $m^3$ ) de argamassa, bem como o consumo de água.

Tabela 6 – Consumo de materiais, incluso água, referente à  $1 m^3$  de argamassa

Traço	Teor de escória (%)	Cimento ( $kg/m^3$ )	Cal ( $kg/m^3$ )	Areia ( $kg/m^3$ )	Escória ( $kg/m^3$ )	Água ( $kg/m^3$ )	Fator a/c
ARG0	0	292,9	117,16	1396,10	0,00	325,12	1,11
ARG10	10	292,1	116,82	1252,82	205,29	327,09	1,12
ARG20	20	285,4	114,15	1088,19	401,20	342,46	1,20
ARG30	30	283,8	113,50	946,77	598,39	346,19	1,22

Fonte: Autores, 2018

Após serem obtidos os valores da relação água/cimento para cada traço, foi possível identificar que quanto maior o teor de substituição do agregado miúdo natural por escória de aciaria BSSF, maior foi o consumo de água, tendo em vista a elevada absorção do agregado siderúrgico em comparação à areia e possivelmente pela forma menos arredondada do grão de escória. Estudo realizado por LE; SHEEN; BUI (2017) constatou que o aumento do teor de substituição do agregado natural por escória ocasiona uma menor fluidez nas argamassas no estado plástico, o qual pode ser justificado pela textura da superfície áspera e pela forma angular da escória de aciaria, se comparada com a forma mais cúbica do agregado natural.

Foi possível estabelecer uma correlação entre o teor de substituição de areia natural por escória e o fator a/c das argamassas para obter o espalhamento de  $260 \pm 5$  mm representado pela Figura 3.

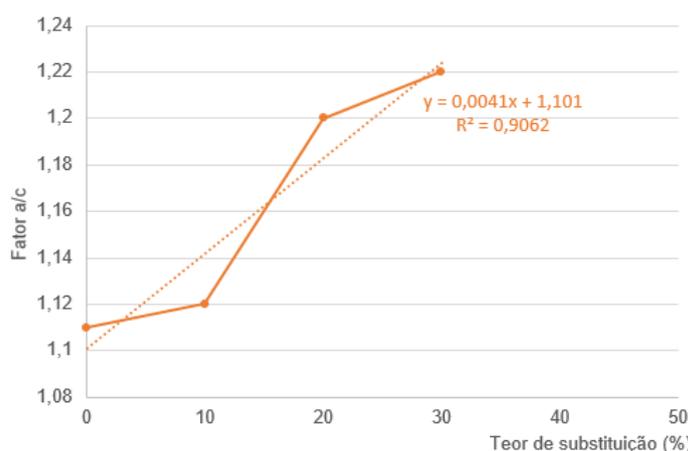


Figura 3 – Correlação entre o fator a/c das argamassas e o teor de substituição

O coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ) indica forte relação entre as duas variáveis lineares, onde o sinal indica a correlação positiva, portanto se uma variável aumenta, a outra também aumentará.

### 3.1.2. Teor de ar incorporado e Densidade de massa

Observou-se que quanto maior o teor de substituição de escória na argamassa mista, maior a densidade de massa, fator este justificável, tendo em vista que a massa específica da escória avaliada é 47% maior que a massa específica do agregado miúdo natural. Fato também constatado por Campos et al. (2018) e Santamaría-Vicario et al. (2016).

Já em relação ao teor de ar incorporado, verificou-se que os teores de 20% e 30% apresentaram menor índice para essa propriedade em comparação aos valores obtidos para a argamassa de referência e para argamassa com 10% de escória, conforme explanado na Tabela 7. Entretanto foi realizada a análise estatística (ANOVA) sendo constatado que não há diferença significativa entre os traços.

Tabela 7 – Valores obtidos para o teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco

Traço	Teor de escória (%)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
ARG0	0	2029	5%
ARG10	10	2094	5%
ARG20	20	2143	4%
ARG30	30	2194	4%

Fonte: Autores, 2018

## 3.2. Estado endurecido

### 3.2.1 Resistência à tração na flexão

Foram avaliados três corpos de provas prismáticos, aos 28 dias, para execução deste ensaio, conforme preconiza a NBR 13279 (ABNT, 2005), onde os valores médios obtidos para cada teor de escória BSSF encontram-se na Figura 4.

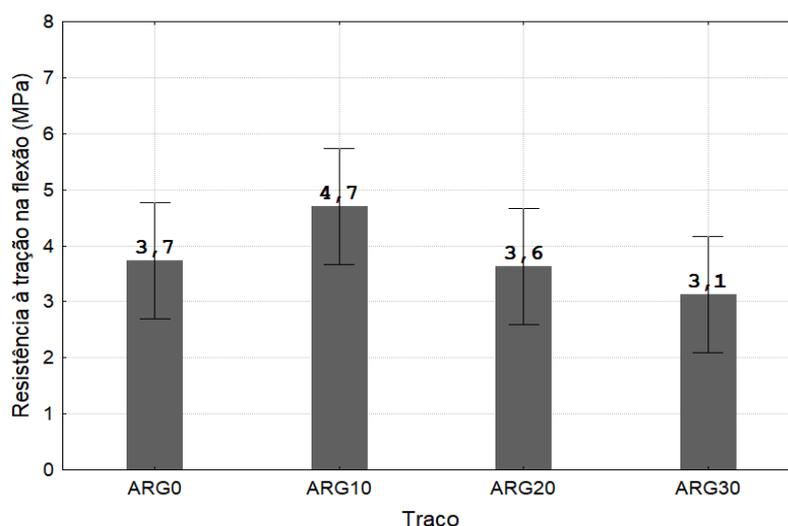


Figura 4 – Valores obtidos para a resistência à tração na flexão aos 28 dias

Através da análise estatística, averiguou-se que, para a idade de 28 dias, o teor de escória de aciaria BSSF não influencia a propriedade de resistência à tração na flexão, sendo a diferença entre os grupos não significativa. Portanto para a propriedade avaliada, observa-se que as argamassas mistas com substituição de agregado miúdo

natural por escória de aciaria BSSF em porcentagens de 10%, 20% e 30% apresentam comportamento equivalente à argamassa convencional.

Quanto a resistência a tração na flexão, as argamassas utilizando agregado miúdo de escória de aciaria apresentaram valores similares ou superiores se comparado as argamassas com areia natural (OZTURK ET AL., 2018).

### 3.2.2 Resistência à compressão axial

Novamente de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), foram analisados seis corpos de provas prismáticos em idade de 28 dias de cura, para a verificação da resistência à compressão axial, onde os valores médios obtidos para cada teor de escória de aciaria encontram-se na Figura 5.

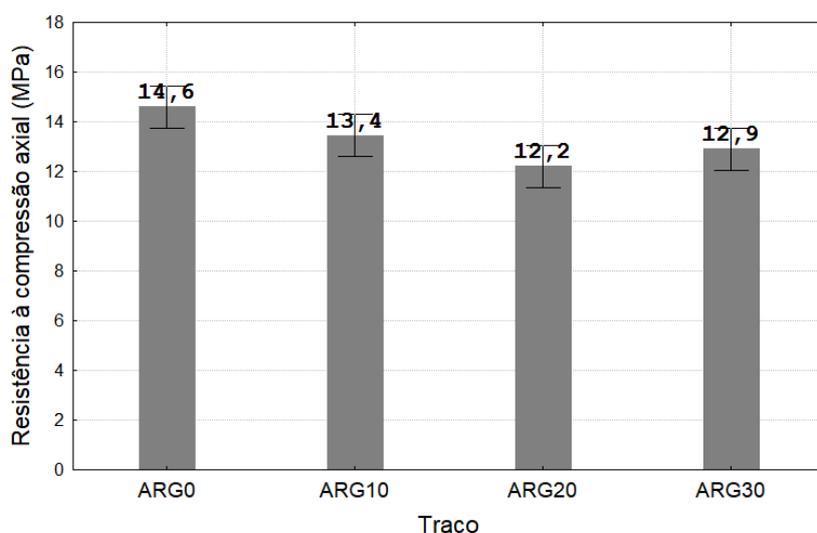


Figura 5 – Valores médios obtidos para a resistência à compressão axial aos 28 dias

Observou-se que as argamassas mistas com 10% e 30% de escória BSSF indicaram diferença não significativa entre si, bem como entre 0% e 10%; 20% e 30%. Tem-se, assim, que a argamassa para revestimento com 10% de escória BSSF apresenta equivalência à argamassa mista convencional, ou seja, à argamassa com 0% de agregado siderúrgico, onde este apresentou maior resistência à compressão axial. A redução da resistência à compressão se deve ao maior fator a/c das argamassas com escória.

### 3.2.3 Permeabilidade pelo método do cachimbo

Em relação ao ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo (Figura 6) destaca-se que as argamassas até 20% de substituição apresentaram desempenho superior ao da argamassa convencional, o que favorece a durabilidade do revestimento. O traço com 30% de substituição foi o que apresentou a maior absorção de água, possivelmente pelo maior fator a/c, e consequente aumento da porosidade do revestimento.

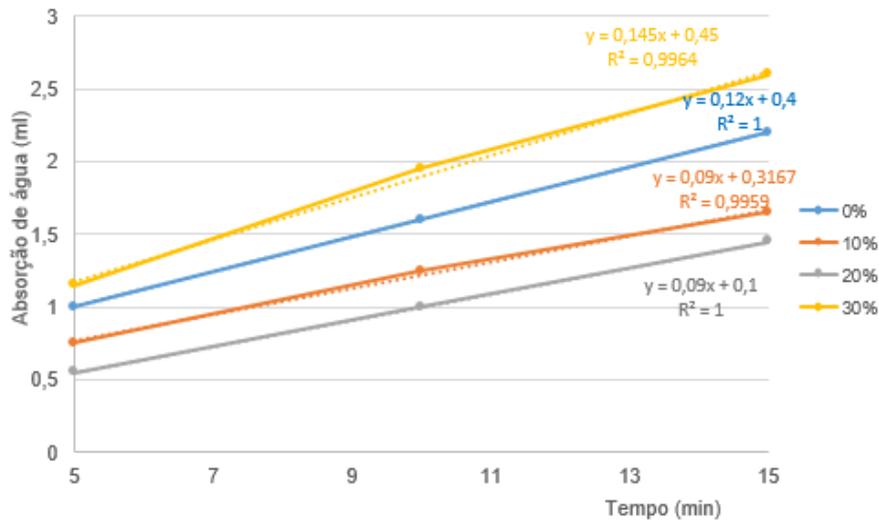


Figura 6 – Absorção de água pelo método do cachimbo aos 28 dias

### 3.2.4 Resistência de aderência à tração

As resistências médias para cada traço com o respectivo desvio padrão estão apresentadas na Figura 7.

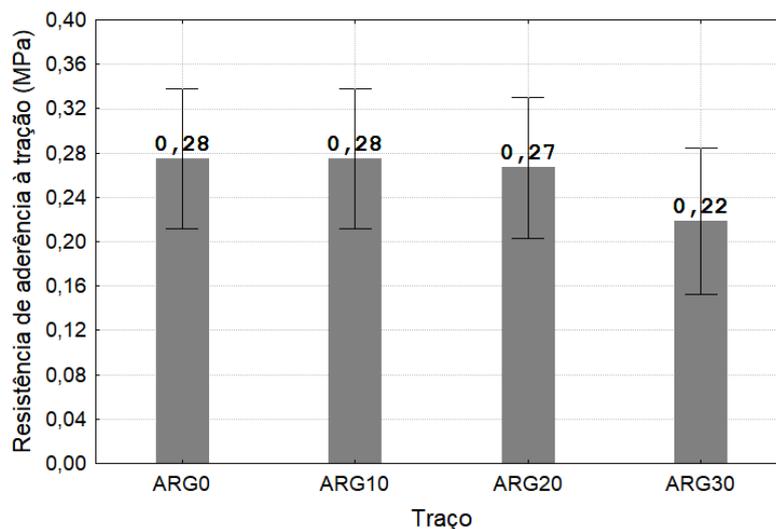


Figura 7 – Valores médios obtidos para a resistência de aderência à tração aos 28 dias

Nos resultados obtidos constatou que a substituição da areia natural por escória de aciaria ocasionou redução da resistência de aderência das argamassas, possivelmente pelo maior fator a/c das argamassas. Fato também constatado por Santamaría-Vicario et al. (2015). Entretanto, ressalta-se ainda que todas as argamassas são aptas para uso em revestimento de paredes internas com acabamento em pintura, visto que foram obtidos, para todos os traços, valores acima do estabelecido para tal limite de resistência de aderência à tração média (0,20 MPa) para paredes internas com acabamento em pintura. Em adição, a partir da análise de variância, verificou-se que o aumento do teor do agregado siderúrgico até 30% não leva a uma diminuição significativa nas médias, portanto foi identificado que não há influência do teor de escória sobre a propriedade avaliada.

Quanto a análise das fissuras do revestimento, não foram identificadas fissuras nos painéis em nenhuma das argamassas investigadas. O mesmo fato constatado por Campos; Rafael; Cabral (2018). Por fim, a Tabela 8 apresenta a classificação das argamassas conforme as propriedades analisadas, de acordo com o NBR 13281:2005.

Tabela 8 – Classificação das argamassas conforme ABNT NBR 13281:2005

Teor de escória (%)	Resistência à compressão	Resistência à tração na flexão	Densidade aparente fresco	Resistência de aderência
0	P6	R6	D6	A2
10	P6	R6	D6	A2
20	P6	R5	D6	A2
30	P6	R6	D6	A2

Fonte: Autores, 2018

#### 4. Conclusão

A partir do estudo desenvolvido pode-se concluir que:

- No estado fresco, observou-se que quanto maior o teor de escória BSSF em argamassa mista, maior o consumo de água e maior a densidade de massa;
- No estado endurecido, observou-se que o teor de escória não influencia na resistência à tração na flexão. Para a resistência à compressão axial, foi obtida diferença significativa entre os grupos avaliados, apresentando maior resistência para o traço de referência. Na avaliação da resistência de aderência à tração foi constatado que as argamassas mistas são adequadas para revestimento em paredes internas com acabamento em pintura, onde o teor de substituição das escórias analisadas não leva a uma diminuição significativa nas médias obtidas;
- A partir das análises expostas, pode-se concluir que a escória de aciaria BSSF tem viabilidade técnica para ser utilizada como agregado miúdo em substituição ao agregado natural na execução de revestimentos argamassados. Para garantia de uma resistência à tração na flexão, compressão axial e de aderência à tração similares à argamassa de referência, recomenda-se a substituição de até 10% de areia por escória BSSF, sendo este o teor ótimo indicado, pois, a partir dessa porcentagem, observou-se um maior decréscimo na resistência à compressão axial aos 28 dias;
- Nesta pesquisa, para os materiais e metodologias adotadas, tem-se destaque para o teor de substituição de 10%, o qual apresentou valores de resistência mecânica, aderência e durabilidade iguais ou superiores ao da argamassa de referência.

---

---

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248** — Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13276** — Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2 p.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13278** — Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 4 p.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13279** — Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13528** — Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 11 p.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13749** — Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281** — Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 16697** — Cimento Portland – Requisitos.

**CAMPOS, S. A.; RAFAEL, M. F. C.; CABRAL, A.E.B.** Evaluation of steel slag of Companhia Siderúrgica do Pecém replacing fine aggregate on mortars. *Procedia Structural Integrity*, v. 11, p. 145-152, 2018.

**CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Franco.** Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado. 2004. 135 f. Dissertação de M. Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro.

**FRANÇA, M. B. B. F.; SANTOS, D. H.; PEREIRA, P. P.; SOUZA, B. P.; FONTES, W. C.; PEIXOTO, R. A. F.** Argamassas de escória de aciaria elétrica para assentamento de alvenarias e revestimentos. *Anais do X Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas*. Fortaleza, 2013.

**GEYER, Rejane Maria Tubino.** Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. 2001. 170p. Tese de D.Sc., UFRGS, Porto Alegre, RS.

**INSTITUTO AÇO BRASIL.** Aço Brasil: 2018. Relatório de sustentabilidade. Disponível em: <<http://acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

**UDA, A. S.; ABDEL-GAWWAD, H. A.** The effect of replacing sand by iron slag on physical, mechanical and radiological properties of cement mortar. *Housing and Building National Research Center*, v 9, 2015.

**OZTURK, M.; AKGOL, O.; SEVIM, U. K.; KARAASLAN, M.; DEMIRCI, M.; UNAL, E.** Experimental work on mechanical, electromagnetic and microwave shielding effectiveness properties of mortar containing electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials* v165 p. 58-63, 2018.

**RILEM.** Test n° II.4. Water absorption under low pressure (pipe method). In: *Rile m Commission 25-PEM (Protection et érosion des monuments) Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*. *Materials and Structures*, v. 13, n. 75, p. 175-253, 1980.

**SANTAMARÍA-VICARIO, I. RODRÍGUEZ, A. GONZÁLEZ, S. G; CALDERÓN, V.** Design of masonry mortars fabricated concurrently with diferent steel slag aggregates. *Construction and Building Materials*. v. 95 p. 197-206, 2015.

**SANTAMARÍA-VICARIO, I. RODRÍGUEZ, A. GONZÁLEZ, S. G.; CALDERÓN, V.** *Durability behavior of steelmaking slag masonry mortars. Materials and design v. 97 p. (2016) 307-315, 2016.*

**SOUZA, Ticiane Vieira de Paula.** *Caracterização de escória de conversor a oxigênio obtida no processo BSSF antes e após tratamento hidrometalúrgico. Dissertação (Mestrado em Ciência de Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 62p. 2016.*

**WANG, G.; WANG, Y.; GAO, Z.** *Use of steel slag as a granular material: Volume expansion prediction and usability criteria. Journal of Hazardous Materials. v.184 p. 555-560, 2010.*