



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## AVALIAÇÃO TÉCNICA DA FABRICAÇÃO DE CONCRETO COM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO<sup>1</sup>

GOMES, Daniella Amorim (1); TAVARES, Daniel Pimentel (2); CORREA, Welder da Silva (3)

(1) Universidade Estácio de SÁ 1, danielladeamorim@gmail.com

(2) Universidade Estácio de SÁ 2, daniel@generalmine.com.br

(3) Universidade Estácio de SÁ 3, ws.correa@gmail.com

### RESUMO

A escória de alto forno é um resíduo da produção de ferro gusa em alto forno, portanto a produção desse subproduto é inevitável, de modo que análises e estudos empregando este material é de suma importância para este seguimento industrial. Portanto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise de desempenho e características, a partir da incorporação da escória de alto-forno na substituição em tres diferentes proporções no concreto, considerando os criterios do ensaio de resistência à compressão axial. Para tanto, produziu-se um concreto utilizando a escória de alto-forno em tres diferentes proporções (50%, 75% e 100%) e realizados ensaios de resistência à compressão axial nos corpos de prova aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura dos concretos pós moldagem. Os resultados obtidos foram comparados e concluiu-se que a escória de alto-forno proporcionou maiores resistências à compressão axial nos corpos de prova.

**Palavras-chave:** escória de alto-forno, concreto, compressão

### ABSTRACT

Blast furnace slag is a residue from the production of pig iron in a blast furnace, therefore the production of this by-product is inevitable, so that analyzes and studies using this material are of paramount importance for this industrial segment. Therefore, the objective of this study is to perform an analysis of performance and characteristics, from the incorporation of blast furnace slag in the replacement in three different proportions in the concrete, considering the criteria of the axial compression resistance test. For this, a concrete was produced using blast furnace slag in three different proportions (50%, 75% and 100%) and tests of resistance to axial compression were performed on the specimens at 7, 14, 21 and 28 days curing of post cast

---

<sup>1</sup> GOMES<sup>1</sup>, Daniella Amorim<sup>1</sup>; XAVIER<sup>2</sup>, Eric Loque Magalhães Xavier<sup>2</sup>. Análise de viabilidade econômico-financeira de sistema fotovoltaico para habitação de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

concrete. The results obtained were compared and it was concluded that the blast furnace slag provided greater resistance to axial compression in the specimens.

**Keywords:** Ground Granulated Blast Furnace Slag, concrete, compression

## 1 INTRODUÇÃO

A escória de alto-forno se origina na fabricação de ferro gusa em processos realizados nos altos-fornos (Figura 1), que são unidades industriais que reduzem os óxidos presentes nos minerais de ferro e separam as impurezas que os acompanham (ARCELORMITTAL, 2019). Esse produto é formado pela fusão das impurezas contidas no minério de ferro, além da adição de calcário e dolomita (chamados de fundentes) e as cinzas do coque. De acordo com a ArcelorMittal (2019), a escória, agora fundida, resulta em uma massa insolúvel e de menor densidade que o ferro gusa, emergindo e facilitando sua condução por canais até o lugar de resfriamento.

Figura 1 – Representação do Alto-Forno



Fonte: Seilnacht (2019).

A Resolução número 235 de 07 de janeiro do ano de 1998 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, classifica a escória de alto-forno como um resíduo não inerte (Classe II), referente a uma substância quimicamente ativa, em que caso sua disposição ocorra de maneira inadequada, em grande escala e ao longo dos anos, tem a possibilidade de acarretar impactos ambientais, já que podem ocorrer, em proporções acima dos limites apresentados em normas, metais pesados e também outros contaminantes (ROSSA JUNIOR, 2009).

De acordo com o Relatório de Sustentabilidade de 2018 do Instituto Aço Brasil (2018), no ano de 2017 as empresas associadas a essa instituição produziram um total de 34,4 milhões de toneladas aço bruto, onde para cada tonelada de aço produzido foram geradas 607 kg de resíduos e coprodutos diretos. Desse total, os agregados siderúrgicos de alto-forno (escória de alto-forno) representaram 42% e a escória de aciaria foi responsável por 27%, sendo que o restante de resíduos representados pelos finos, pós, lamas e outros, onde 86% de todos os resíduos gerados foram reaproveitados (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019).

Segundo dados da ArcelorMittal (2019), a geração de resíduo de escória é 200 a 300 quilos por tonelada de ferro gusa produzido, sendo que a média de escória de alto-forno produzida por cada alto-forno varia de 300 a 900 toneladas por ano.

Portanto, o objetivo deste estudo é realizar uma análise de desempenho e características, a partir da incorporação da escória de alto-forno na substituição em tres diferentes proporções no concreto, considerando os criterios do ensaio de resistência à compressão axial.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Escória de Alto-Forno

As escórias de alto-forno, que são um subproduto do processo siderúrgico do processo de fabricação do ferro gusa, formam-se através da fusão das impurezas presentes no minério de ferro e pela adição dos chamados fundentes – calcário e dolomita – e, também, das cinzas do coque. Quanto à forma de resfriamento, elas são classificadas em esfriadas ao ar (cristalizada) e esfriadas com água (granulada) (ALMEIDA, 2009).

Esfriada ao Ar (Cristalizada), essa escória é vazada em estado líquido incandescente e disposta em pátios adequados a este fim, onde esfriam ao ar, e também devido a ser uma etapa lenta, os componentes dessa escória dão origem a fases cristalinas distintas, não adquirindo características de aglomerante hidráulico (Figura 2). Sendo assim, ela é denominada escória bruta de alto-forno, sendo possível que seja levada ao processo de britagem e vir a ter diversas aplicações como um material inerte e podendo substituir materiais rochosos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Figura 2 – Escória Bruta de Alto-forno (resfriada ao ar – antes da britagem).



Fonte: ArcelorMittal (2019).

Resfriada com Água (Granulada), também vazada em estado líquido incandescente e transportada em canais até os granuladores, onde passa pelo resfriamento brusco através de jatos d'água em alta pressão sem que haja tempo necessário à formação dos cristais, este tipo de escória se granula em um processo de vitrificação, sendo denominada como escória granulada de alto-forno (SILVA, 2005), conhecida também por escória dry-pit (Figura 3).

Figura 3 – Escória Granulada de Alto-forno.



Fonte: Autor (2018).

Por apresentar um grande potencial hidráulico, possui um amplo mercado, principalmente para fábricas de cimento e de concreto, já que essa escória pode ser moída e, assim, vir a ser utilizada na fabricação tanto de cimento quanto de concreto (SILVA, 2005).

As escórias de alto-forno possuem composição química variando entre limites relativamente estreitos, onde os elementos a que compõe são os óxidos de cálcio (CaO), de silício (SiO<sub>2</sub>), de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e de magnésio (MgO). Em quantidades menores ocorrem os óxidos de ferro II (FeO), de manganês (MnO) e de titânio (TiO<sub>2</sub>), o enxofre, dentre outros, valendo salientar que as matérias primas e o tipo de gusa produzido influenciam diretamente nessa composição.

As características físico-químicas das escórias geradas são determinadas por sua composição química. Em função dessas características, registram-se ao longo da história diversas aplicações para esses subprodutos em vários países do mundo, tais como as bases de estrada, aterro, asfalto, terraplanagem, agregado para cimento e concreto, aplicações especiais – lã mineral, material para cobertura, lastro ferroviário, isolamento, filtros, vidro, condicionamento de solo – e, também, produtos de concreto (LITTLE; SETEPLA, 1999).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi iniciado pela dosagem do concreto pelo método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP e conforme define a norma ABNT NBR 12655/2015. Foi realizada a pesagem dos agregados graúdos e miúdos, incluindo a escória de alto-forno, em balança de precisão adequada, com a aferição do volume de água em cilindro graduado. Para a pesagem utilizou-se a balança da marca Pnix, modelo Toledo/9094, sendo o volume de água aferido com cilindro graduado segundo a norma ABNT NBR 12655/2015 (Concreto - Preparo, Controle e Recebimento).

Para a dosagem e a mistura foram utilizados os seguintes materiais, conforme ilustra a Figura 4:

- Escória granulada de alto-forno ([Figura 4-A](#));
- Escória britada de alto-forno ou escória dry-pit (faixa granulométrica de 12 a 19 mm) ([Figura 4-B](#)), coletado – forma de coleta: ABNT – NBR 10007;
- Areia média branca ([Figura 4-C](#));
- Brita 1 (faixa granulométrica de 12 a 19 mm) ([Figura 4-D](#));
- Cimento Portland CP III 40 RS;
- Água potável.

**Figura 4** – Materiais utilizados para a mistura junto ao cimento e à água: A) Escória granulada de alto-forno; B) Escória dry-pit; C) Areia média branca e D) Brita 1.



Fonte: Autor (2018).

Em seguida, para cada tipo de concreto amostrado foram misturados os agregados miúdos e graúdos, o cimento e a água em betoneira estacionária, conforme a prescrição da norma ABNT NBR 12655/2015, até a homogeneização do concreto.

Foram moldados 04 (quatro) corpos de prova (CP) cilíndricos de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, para cada tipo de concreto, totalizando 16 (dezesesseis) corpos de prova.

Eles foram preenchidos pelo método de adensamento manual e, após cura inicial de 24 (vinte e quatro) horas, foram desenformados e submersos em água, devidamente identificados como mencionado a seguir:

- Amostra 1 - 50% agregado de escória / 50% agregado natural;
- Amostra 2 - 75% agregado de escória / 25% agregado natural;
- Amostra 3 - 100% agregado de escória;
- Amostra 4 - Convencional (100% agregados naturais).

A partir do 7º dia de cura dos concretos, foram iniciados os ensaios de resistência à compressão axial nos "CPs" a cada 07 (sete) dias, finalizando no 28º dia, conforme determinado na ABNT NBR 5739/2007.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme citado previamente, foram molados 16 corpos de prova, com traço preestabelecido e a relação água/cimento na ordem de 45%, variando, de acordo com as quantidades de escória, as dosagens dos agregados naturais, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dosagem do Concreto

Nome	Dosagem	Cimento (kg)	Areia média (kg)	Escória granulada (kg)	Brita 1 (kg)	Escória britada (kg)	Água (L)	Fator A/C
<b>Amostra 1</b>	50%	2,77	1,08	1,08	2,53	2,53	1,25	45%
<b>Amostra 2</b>	75%	2,77	1,62	0,54	3,80	1,27	1,25	45%
<b>Amostra 3</b>	100%	2,77	0	2,16	0	5,06	1,25	45%
<b>Amostra 4</b>	Convencional	2,77	2,16	0	5,06	0	1,25	45%

Fonte: Os autores.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**2 apresenta a síntese dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, realizados nas amostras nas idades de sete, quatorze, vinte e um e vinte e oito dias.

Tabela 2 – Comparativo dos valores de resistência à compressão axial.

Nº de Dias	Amostra 1 - 50 %	Amostra 2 - 75%	Amostra 3 - 100%	Amostra 4 - Convencional
<b>7</b>	18,85	17,00	13,38	13,26
<b>14</b>	22,21	18,05	12,49	14,31
<b>21</b>	19,85	23,58	19,56	16,93
<b>28</b>	21,10	23,94	20,55	19,91

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Analisando os resultados das resistências alcançadas pelos 4 tipos de concreto ensaiados (50% escória, 75% escória, 100% escória e convencional), foi possível verificar que o ganho de resistência dos concretos dosados com escória foi aproximado ao do concreto convencional. Sendo o concreto composto por 75% de escória, aos 28 dias mais resistente em comparado ao convencional na mesma

## 5 CONCLUSÕES

A escória de alto forno é um resíduo da produção de ferro gusa em alto forno, portanto a produção desse subproduto é inevitável. Segundo com as normas e recomendações técnicas este produto não pode ser despejado no meio ambiente. De modo que, a produção do ferro gusa, beneficia dentre outros setores, a construção civil, que é responsável por grande parte da degradação ambiental no país.

Este estudo objetivou a realização de ensaio técnico com a aplicação, em diversas escalas, da escoria de alto forno em uma massa de concreto, com traço previamente calculado e apresentado.

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios e pela comparação entre as amostras de concreto com uso de escória como agregado (gráudo e miúdo) e as amostras de concreto convencional, a escória de alto-forno se apresentou com resistência compatível a usos estruturais. Considerando que de acordo com a NBR 6118/2003 o fck mínimo para estruturas de concreto é 20 MPa, todas as amostras que substituíram os agregados atingiram esse valor.

Este estudo buscou demonstrar de forma direta o desempenho de resistência do concreto dosado com escória de alto forno e a sua viabilidade técnica, no entanto foram notadas características distintas aos concretos convencionais, como a facilidade em absorver água, dificultando em partes a manipulação do concreto. Porém, posteriormente a moldagem dos corpos de prova, adensamento e em fase de descanso, essa água formou uma película superficial. Vale ressaltar que não foram utilizados aditivos químicos nestes processos, a fim de melhorar as características dos insumos.

Deste modo, vale ressaltar que há a necessidade de adaptar o traço do concreto para a utilização em grande escala, pois pode interferir nas propriedades de material escória.

Os resultados apresentados nas tabelas, demonstram que o concreto com adição de escória pode substituir o uso de agregados naturais, inclusive em estruturas. No entanto, como este estudo é experimental e obteve uma amostra consideravelmente pequena, face a gama de utilização, deve-se produzi-lo em escala maior.

No entanto, o concreto testado, pode ser empregado em estruturas de baixa complexidade como por exemplo as pré-fabricadas, que necessitem de menor esforço estrutural.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Estácio de Sá pelo fomento à pesquisa e inovação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. J. **Influência da adição de resíduo siderúrgico na performance do concreto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009, 74p.
- ARCELORMITTAL. **Escória de alto-forno**. Disponível em: <[http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co\\_produtos/catalogo\\_produtos/escoria\\_forno/introducao.asp](http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_forno/introducao.asp)> . Acesso em 04 de outubro de 2019 às 16:15h.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: 1994.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: Processos de fabricação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção**. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 5. Ed., V. 1 e 2, 1997.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. Relatório de Sustentabilidade 2018. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em: 04 de novembro de 2019.
- JUNIOR, R.J. **Utilização de escória de alto forno como adição em argamassa colante tipo AC-I**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009. 99p. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/162.pdf>>. Acesso em: 14 de janeiro, 2019.
- LITTLE, A. D.; SETEPLA TECNOMETAL ENGENHARIA LTDA. **Estudo sobre Aplicações de Escórias Siderúrgicas – Sumário Executivo**. Preparado para: Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS e Empresas Siderúrgicas Associadas. Setembro 1999.
- METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- RESOLUÇÃO CONAMA Nº 235, de 07 de janeiro de 1998. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em 16 de novembro de 2018 as 16:22h.
- SILVA, J.G. **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno**. 2005. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.