

ESCÓRIA DE ALTO-FORNO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRODUÇÃO, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES COMO MATERIAL SUSTENTÁVEL

BLAST FURNACE SLAG IN CIVIL CONSTRUCTION: PRODUCTION,
PROPERTIES, AND APPLICATIONS AS A SUSTAINABLE MATERIAL

Engenharias • 29/05/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/779933537](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/779933537)

João Carlos Lisboa de Lima¹
Marcella Camilly Dias Ribeiro²
Danusa Mayara de Souza³
Patrícia da Silva Chaves⁴
Elsimar Souza Santos⁵
Elielson Oliveira de Sousa⁶
Crislayne de Miranda Moraes⁷
Willian Jorge Rodrigues Amaral⁸
Lucineide Nazaré Barata Pinheiro⁹
Adriana Afonso Garcia¹⁰
Wladimir Rafael de Matos Lamarão¹¹
Marcelo Martins Farias¹²
Celestina Lima de Rezende Farias¹³
Adriano Luiz Roma Vasconcelos¹⁴

RESUMO

A escória de alto-forno, subproduto da indústria siderúrgica, tem se destacado como um material de grande potencial na construção civil, especialmente como adição ao cimento Portland e como agregado em concretos. Este trabalho apresenta uma revisão sobre o histórico de utilização da escória no Brasil, seus processos de produção, características químicas e físicas, bem como os diferentes métodos de resfriamento que influenciam diretamente suas propriedades hidráulicas. Destaca-se a relevância da composição química, especialmente dos óxidos de cálcio, silício, alumínio e magnésio, no desenvolvimento da reatividade do material. Além disso, são discutidas suas principais aplicações, evidenciando ganhos de desempenho mecânico e benefícios ambientais associados ao reaproveitamento de resíduos industriais. Os resultados de estudos indicam que a utilização da escória pode contribuir para o aumento da resistência do concreto e para a redução de impactos ambientais, consolidando-se como uma alternativa sustentável na engenharia civil.

Palavras-chave: Engenharia Civil; Escória de Alto-Forno; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Blast furnace slag, a by-product of the steel industry, has emerged as a material with significant potential in the construction sector, especially as an addition to Portland cement and as an aggregate in concrete. This study presents a review of the historical use of slag in Brazil, its production processes, chemical and physical characteristics, as well as the different cooling methods that directly influence its hydraulic properties. The importance of chemical composition, particularly the oxides of calcium, silicon, aluminum, and magnesium, in the development of material reactivity is

highlighted. Furthermore, its main applications are discussed, emphasizing improvements in mechanical performance and environmental benefits associated with the reuse of industrial waste. The results of previous studies indicate that the use of slag can contribute to increased concrete strength and reduced environmental impacts, establishing it as a sustainable alternative in civil engineering.

Keywords: Civil Engineering; Blast Furnace Slag; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão de resíduos industriais tem impulsionado a busca por materiais alternativos na construção civil. Nesse contexto, a escória de alto-forno, gerada como subproduto da produção de ferro-gusa na indústria siderúrgica, surge como uma importante alternativa para substituição parcial de matérias-primas convencionais (John; Agopyan, 2000).

Historicamente, o uso da escória no Brasil teve início na década de 1950, com sua incorporação ao cimento Portland, evoluindo ao longo dos anos até sua consolidação normativa e aplicação em larga escala. Atualmente, este material é amplamente empregado devido às suas propriedades técnicas e ao seu potencial de redução de custos e consumo energético (Metha; Monteiro, 2008).

A escória é composta majoritariamente por aluminossilicatos de cálcio, cuja estrutura e reatividade dependem de fatores como composição química, tipo de resfriamento e grau de vitrificação. Esses aspectos influenciam diretamente seu comportamento como material aglomerante ou como agregado (Rosário *et al.*, 2010).

Além disso, diferentes formas de resfriamento como granulação, resfriamento ao ar e peletização resultam em materiais com propriedades distintas, ampliando seu campo de aplicação. Dessa forma, a escória pode ser utilizada tanto como adição ao cimento quanto como agregado em concretos, pavimentação e outros elementos construtivos (Queiroz *et al.*, 2007).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise abrangente sobre a escória de alto-forno, abordando seus aspectos históricos, produtivos e tecnológicos, bem como suas principais aplicações na construção civil.

2. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza bibliográfica e qualitativa, com enfoque descritivo e exploratório, voltada à análise da escória de alto-forno e suas aplicações na construção civil.

Inicialmente, foi realizada uma revisão sistematizada da literatura técnica e científica, abrangendo livros, artigos acadêmicos, normas técnicas e relatórios institucionais relacionados à produção, caracterização e utilização da escória de alto-forno. Foram priorizadas fontes que abordam aspectos históricos, composição química, propriedades físicas e mecânicas, bem como estudos experimentais sobre o uso do material em concretos e outros elementos construtivos.

A coleta de dados concentrou-se em informações referentes a:

- processos de produção da escória de alto-forno;

- composição química e índices de hidraulicidade;
- métodos de resfriamento (granulação, resfriamento ao ar e peletização);
- propriedades físicas e mecânicas do material;
- aplicações na construção civil, especialmente como agregado e adição ao cimento Portland.

Posteriormente, os dados foram analisados de forma comparativa, buscando correlacionar as características físico-químicas da escória com seu desempenho tecnológico, especialmente no que se refere à atividade hidráulica e ao comportamento mecânico em concretos.

Além disso, foram considerados resultados de estudos experimentais disponíveis na literatura, que avaliaram o desempenho de concretos produzidos com substituição parcial de agregados naturais por escória de alto-forno, permitindo identificar tendências quanto à resistência mecânica e viabilidade de aplicação.

Por fim, as informações foram organizadas e interpretadas com o objetivo de sintetizar o estado da arte sobre o tema, destacando os principais fatores que influenciam o desempenho da escória e seu potencial como material sustentável na construção civil

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Histórico da Utilização da Escória de Alto-forno

3.1.1. Histórico Brasileiro

O primeiro cimento produzido no Brasil foi em 1892, pelo Engenheiro Louis Nóbrega, por um período de três meses. Várias outras tentativas ocorreram sem sucesso. No ano de 1926 foi inaugurada no Brasil a Companhia Brasileira de cimento Portland, na cidade de Perus, no estado de São Paulo. Esta data foi um marco para indústria brasileira de cimento. Nesta época, o Brasil produzia 13 mil toneladas anuais de cimento e importava 400 mil toneladas. Em 1929, o Brasil já produzia 96 mil toneladas de cimento (Massucato, 2005). No Brasil, a fabricação do cimento com escória foi iniciada em 1952, com 72 mil toneladas pela Cimento Tupi S.A, localizada em Volta Redonda no estado do Rio de Janeiro, utilizando 30% de escória proveniente da Companhia Siderúrgica Nacional e no ano de 1954, o teor foi aumentado para 50% (Batagin e Esper, 1988). Somente em 1977, que foi admitido o uso de até 10% de escória no cimento Portland comum através da NBR 5732, antiga EB-1, e em 1991 foi normalizado o cimento Portland de alto-forno.

Atualmente, o uso da escória de alto-forno, como adição ao cimento Portland ou como constituinte, está consagrado no mundo todo, haja vista as vantagens que oferece relativamente à economia de energia, baixo custo por se tratar de um resíduo siderúrgico industrial e pelas propriedades específicas superiores ao cimento Portland comum (Almeida, J., 2009). Segundo o relatório de Sustentabilidade 2014 do IBS – Instituto Brasileiro de siderurgias, em 2013, a geração média de resíduos (pós, lamas e agregados siderúrgicos) pelo setor foi equivalente a 594 kg por tonelada de aço produzido, dos quais a escória de alto-forno representa 37% e a escória de aciaria (EAC) 29%. Deste modo, a escória de alto-forno representa a maior parcela de geração de coprodutos e resíduos. A produção do cimento Portland e a construção civil figuram como as principais aplicações da escória de alto-forno (Figura 1).

Figura 1 - Aplicações da escória.

APLICAÇÕES DA ESCÓRIA DE ALTO-FORNO 2013



Fonte: (Relatório de Sustentabilidade 2014 do IBS).

3.1.2. Produção da Escória de Alto-forno

A escória é um subproduto inevitável nos processos siderúrgicos, constituído em sua maior parte de aluminossilicatos de cálcio na forma vítrea. A fusão da ganga (minério de ferro + impurezas) e dos fundentes (coque ou carvão vegetal), através de reações químicas formam a escória. Além de aluminossilicatos cálcicos, ocorrem secundariamente a formação de sulfetos de cálcio e manganês e óxidos de ferro e manganês (Massucato, 2005). Com a utilização de fundentes (CaO , MgO , CaF_2 e em alguns casos, um fundente ácido SiO_2) é possível reduzir o ponto de fusão da ganga e, desta forma, por meio de reações químicas, a uma temperatura entre 1350°C e 1500°C , obter a escória líquida, que pode ser facilmente separada do metal em função da sua fusibilidade, atividade química, poder de dissolução e baixa densidade (Dal Molin *et. al.*, apud. Silva, 2005). Os combustíveis utilizados no alto-forno podem ser o coque e o carvão vegetal. Ambos são fontes de carbono, no entanto existem diferenças básicas entre os processos, a exemplo da origem do carvão vegetal e do coque (Almeida, J., 2009). O carvão vegetal é

proveniente da carbonização da madeira com um teor de carbono fixo (entre 56% e 75%) e o coque é proveniente do carvão mineral com teor de carbono fixo em torno de 88% (Jacomino *et al.*, 2002). Em função das diferenças de propriedades existentes entre o coque e o carvão vegetal, o alto-forno também irá apresentar algumas diferenças, a exemplo do seu tamanho. O uso do carvão vegetal limita o tamanho do forno porque este produto não suporta altas pressões de carga. A indústria siderúrgica se caracteriza por ter uma elevada economia de escala. Assim sendo, este fator técnico favorece a siderúrgica à coque. Entretanto, o coque tem que ser importado, pois o carvão nacional não apresenta qualidade satisfatória (Soares, 1982). A Tabela 1 apresenta as principais diferenças entre o alto-forno à carvão vegetal e a coque, assim como a Figura 2 apresenta esquematicamente um alto-forno.

Tabela 1 - Dados comparativos entre o alto-forno à carvão vegetal e o alto-forno a coque.

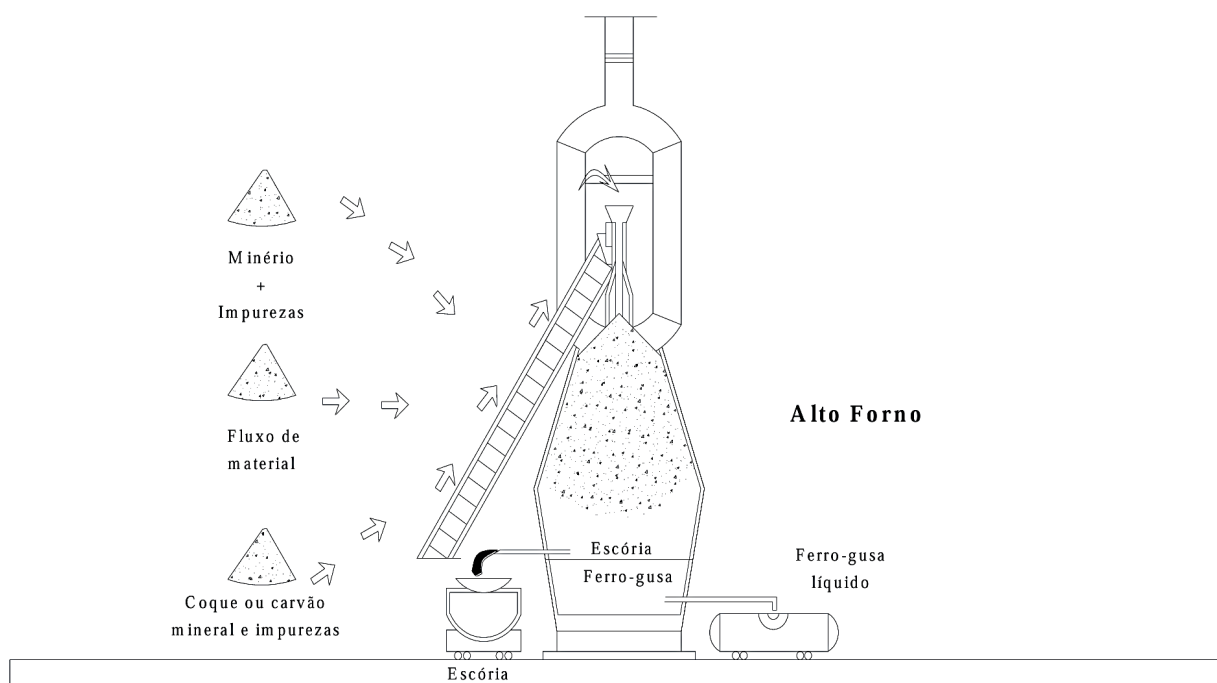
Descrição	Coque	Carvão vegetal
Produção	2000 a 1200 t/dia	40 a 1200 t/dia
Diâmetro do cadinho	8 a 14 m	1,5 a 6 m
Altura do forno	~32 m	~16 m
Produtividade	> 2 t / dm ³	1,6 a 2 t / dm ³
Volume de escória	250 a 300 kg/t gusa	100 a 150 kg/t gusa
(CaO/SiO ₂) da escória	> 1	< 1

Fonte: (Jacomino *et al.*, 2002).

A Figura 2 representa esquematicamente a produção de ferro gusa e geração da EAF, assim como se observa no cadinho situado na parte inferior do forno, dois líquidos separados por diferença de densidade: a gusa apresenta uma densidade acima de 7 g/cm³ e a

escória tem uma densidade menor, cerca de $2,8 \text{ g/cm}^3$. Logo, a escória flutua no topo do ferro-gusa e pode ser drenada separadamente em intervalos regulares (Massucato, 2005).

Figura 2 - Modelo esquemático de um alto-forno.



Fonte: (adaptado de Jacomino *et al.*, 2002).

Os principais constituintes da escória de ferro são: óxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), que representam cerca de 95% da composição desse material. Elementos secundários como óxidos de manganês e ferro também fazem parte da composição. As características físicas como densidade, porosidade e tamanho da partícula estão diretamente ligadas ao tipo de resfriamento da escória e a sua composição química. Outro fator preponderante é o poder aglomerante da escória, que depende da relação entre a quantidade dos compostos SiO_2 , CaO e MgO presentes na escória. Este poder aglomerante é definido como reatividade hidráulica (Silva, 2006).

3.1.3. Hidraulicidade das Escórias

Segundo Marques (1994), a atividade hidráulica da escória granulada de alto forno à carvão vegetal ou à coque, irá depender de vários fatores, a exemplo da composição química, grau de vitrificação, tipo de resfriamento, estrutura cristalina, composição mineralógica, granulometria, superfície específica, micro heterogeneidade e os defeitos superficiais. Salienta-se que a composição química e o grau de vitrificação são os fatores de que mais dependem à atividade hidráulica das escórias (Batagin e Esper, 1988).

3.1.4. Composição Química das Escórias

A composição química das escórias está relacionada à homogeneidade da escória líquida, a sua elevada capacidade de dessulfuração e a baixa viscosidade (Massucato, 2005). A composição química, assim como a estrutura física das escórias de alto-forno, pode variar de acordo com os constituintes e proporções dos minerais utilizados, fundentes e outras matérias primas, estado de pureza do material a ser fabricada, eficiência de operação do forno, métodos de resfriamento e das diferenças nos processos de fabricação. Desta forma, do ponto de vista químico, este rejeito industrial tem uma composição que requer atenção especial dos metalurgistas, haja vista que desvios nos processos podem causar demandas significativas de energia e custos adicionais (Almeida, G., 2014).

De acordo com Silva, 2005 apud. Sament estas reatividades hidráulicas dependem da composição química, fase vítrea do resíduo e da granulometria do grão da escória.

Este índice de hidraulicidade ou módulo de basicidade pode ser calculado da seguinte forma:

$$V = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}$$

Onde:

V = Índice de Basicidade;

%CaO = Porcentagem de óxido de cálcio;

%SiO₂ = Porcentagem de óxido de silício.

Assim, tem-se que se:

V ≥ 1 = Escória básica

V < Escória ácida

Vários autores correlacionam a composição química das escórias com o desenvolvimento das propriedades hidráulicas. Sendo assim, a composição química é adotada como o método mais usual. Em linhas gerais, quanto mais básica, mais hidráulica será a escória.

A Tabela 2 apresenta a composição química média das escórias de alto-forno básicas e ácidas produzidas no Brasil e, como referência, a do cimento Portland.

Tabela 2 - Composição química típica das escórias de alto-forno e do cimento Portland.

Composição química	Escória básica (BATAGGIN & ESPER, 1988)	Escória ácida (adaptado de SOARES, 1982)	Cimento Portland (TAYLOR, 1990)
CaO	40-45	24-39	66
SiO ₂	30-35	38-55	22
Al ₂ O ₃	11-18	8-19	5
MgO	2,5-9	1,5-19	1
Fe ₂ O ₃	0-2	0,4-2,5	3
FeO	0-2	0,2-1,5	-
S	0,5-1,5	0,03-0,2	-
CaO/SiO ₂ (média)	1,31	0,68	3

Fonte: (John, 1995).

Os óxidos mais importantes na composição química da escória de alto-forno são CaO, SiO₂, Al₂O₃ e MgO, os quais representam 95% a 96% do total de óxidos (Almeida, G., 2014).

3.2. Resfriamento da Escória de Alto-forno

A partir do processo de resfriamento utilizado, tem-se a geração de escórias com diferentes propriedades e aplicações.

Marques (1994), comenta que a temperatura da escória líquida dentro do alto forno e as condições de resfriamento são fatores que modificam as valências de coordenação e as energias de ligação das escórias e, conseqüentemente, sua reatividade.

Quanto à forma de resfriamento, a escória de alto-forno classifica-se como:

- Escória de alto-forno granulada;
- Escória de alto-forno resfriada ao ar ou bruta;
- Escória de alto-forno peletizada.

3.2.1. Escória de Alto-forno Granulada

A granulação da escória de alto-forno foi originalmente introduzida por volta de 1853 por Lange, na Alemanha, e visava facilitar a sua remoção das siderúrgicas (John, 1995).

A escória de alto-forno granulada é obtida pelo resfriamento rápido da escória líquida numa estrutura química vitrificada, pois jatos de água em alta pressão são lançados diretamente na saída da escória fundida. Nesse processo a escória se solidifica rapidamente, o que impede a formação de núcleos cristalinos, permitindo o surgimento de propriedades altamente reativas.

A escória resfriada rapidamente apresenta-se como um material granular, de formato anguloso, textura superficial áspera e coloração esbranquiçada, amarelada, acinzentada ou acastanhada. A distribuição granulométrica deste resíduo industrial é similar a de uma areia natural fina. Quanto maior a rapidez que se processa o resfriamento, maior será o grau de amorfização e maior potencial hidráulico. Impedindo a formação de núcleos cristalinos, o que mantém as características hidráulicas necessárias para produzir, por ativação ou combinação com a cal liberada pela hidratação do clínquer, produtos aglomerantes similares aos gerados pelo cimento Portland, com vasta utilização na produção de agregados graúdo e miúdo, argamassas, painéis, tijolos e blocos de vedação vertical, além de pré-fabricados e artefatos de concreto e, principalmente como adição a cimentos e concretos (Silva, 2005).

3.2.2. Escória de Alto-forno Resfriada Ao Ar Ou Bruta

A escória resfriada ao ar é formada através da perda lenta de calor num poço ao ar livre, originando um produto maciço e cristalizado, que depois de devidamente britado, possui composição

granulométrica semelhante a de um agregado graúdo convencional (Metha & Monteiro, 2008).

No que tange às características físicas a escória de alto-forno bruta apresenta cavidades internas em sua superfície, grãos com o formato indefinidos tendendo a partículas lamelares ou alongadas, além de possuírem uma natureza vesicular e áspera, o que lhe confere uma maior superfície específica quando comparadas a outros agregados mais lisos. Este resíduo industrial apresenta boa resistência à desintegração frente às condições climáticas, a líquidos corrosivos e às mudanças bruscas de temperatura (Almeida, G., 2014).

A escória resfriada ao ar livre pode ser considerada como um material inerte, pois ao produzir a sua própria cristalização os óxidos perdem energia interna, comprometendo as propriedades aglomerantes. Em função da sua elevada dureza e resistência à abrasão este tipo de escória pode ser aplicado como agregados para construção civil e à pavimentação (Nacional, Rodoviária, & Moreira, 2006).

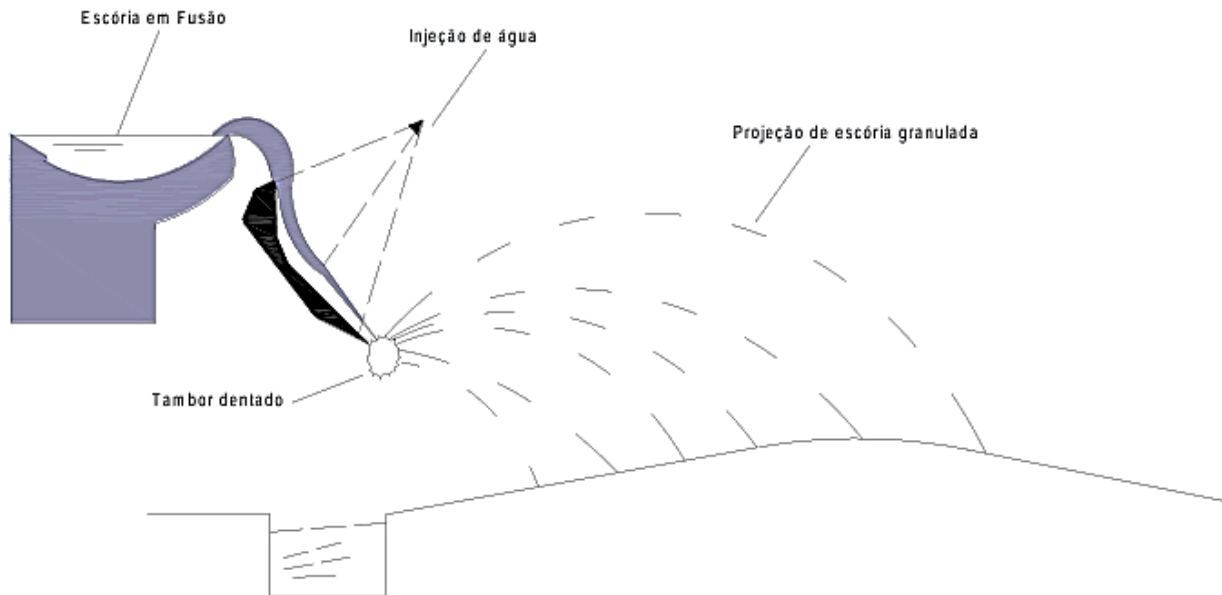
É importante salientar que, este processo de resfriamento, é o utilizado na escória analisada durante este estudo.

3.2.3. Escória de Alto-forno Peletizada

Neste processo, a escória ainda líquida cai sobre um cilindro dentado giratório (300 RPM), refrigerado por jatos de água fria (1 ton/ton), que arremessa a escória em grãos para o ar (Figura 3). Este processo gera uma distribuição variada de grãos. Os de maior diâmetro possuem uma estrutura porosa e são parcialmente cristalinos. Os grãos menores são semelhantes aos grãos da areia, de

composição vítrea, utilizados como aglomerante (John; Agopyan, 2000).

Figura 3 - Granulação da escória



Fonte: (adaptado de JACOMINO *et al.*, 2002).

Por efeito de tensão superficial, as partículas apresentam uma fórmula mais ou menos esférica, e como os mesmos se deslocam em um meio que contém gotas de água, os glóbulos se resfriam rapidamente, adquirindo uma estrutura vítrea na superfície. No interior da partícula, a velocidade de resfriamento é mais lenta tomando, então, uma forma cristalina (Malhotra *et al.*, apud. Silva, 2005).

Como consequência, as partículas de granulometrias variadas são projetadas para o ar. Os grãos de maior diâmetro possuem uma estrutura porosa e são parcialmente cristalinos (John; Agopyan, 2000). A partícula possui uma granulometria similar à do agregado graúdo convencional, com dimensão máxima característica entre 9,5 e 32,0 mm e massa específica variando de 0,6 g/cm³ a 0,9 g/cm³, particularidades que justificam a sua aplicação em concretos leves, estruturais, enchimento de pavimentação e blocos de concreto para

fins estruturais ou não, enquanto que os grãos menores, semelhantes aos das areias, são predominantemente vítreos, com possibilidade de ser aplicado na produção de aglomerantes (Almeida, G., 2014).

3.3. Utilização da Escória de Alto-forno Como Agregado para Construção Civil

As escórias siderúrgicas podem agregar valor quando empregadas na construção civil como substituição de matérias-primas em estradas, concreto e cimento. Estes resíduos podem ser aplicados em base e sub-base de pavimento, lastro de ferrovias, agregado graúdo em revestimento asfáltico, material de aterro, agregados no concreto, matéria-prima na produção de cimento (Viklund *et al.*, 1999; García *et. al.*, 1999).

As EAF podem ser britadas para serem utilizadas como agregado graúdo, uma vez que, dependendo da composição química e do tipo de resfriamento do resíduo a ser beneficiado, produz-se um determinado tipo de agregado com característica e aplicabilidade específica.

A escória resfriada ao ar é geralmente aproveitada como agregado para bases de estradas e pavimentos asfálticos e também pode ser usada como agregado para produção de concretos especiais.

A EAF pode apresentar um teor excessivo de sulfeto de ferro na sua composição, que poderá ocasionar problemas de manchamento, além de afetar a durabilidade do concreto e ocasionar um possível aumento da massa específica do concreto, em virtude da considerável porcentagem de ferro presente (Metha & Monteiro, 2014).

Nos Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa, utiliza-se a escória de alto forno cristalizada, como agregado graúdo e miúdo para concreto de cimento Portland. Países como a Bélgica, Reino Unido e França estabeleceram limites claros e rigorosos preconizados por normas técnicas específicas (Battagin; Sbrighi, 2002).

Na Alemanha, esse coproduto é aplicado como agregado na construção de estradas de rodagem, juntamente com escórias brutas, assim como na produção de concretos e blocos para vedação vertical (Almeida, G., 2014).

No Brasil, pesquisas realizadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) sobre a caracterização e emprego de EAF, como aglomerante e agregado, em estado bruto, para o concreto, estão contribuindo para consolidação do aproveitamento deste resíduo no setor da construção civil.

Queiroz *et al.* (2007), avaliou a resistência à compressão axial em estruturas de concreto produzidas com substituição da brita gnaisse pela escória de alto-forno a carvão vegetal britada, os resultados mostraram um aumento médio de 6.9 % na resistência dos concretos produzidos com o resíduo industrial.

Rosário *et al.* (2010), analisou as propriedades de concretos produzidos com vários percentuais de substituição do AGN (seixo) pelo resíduo siderúrgico (EAF). Neste estudo, os autores constataram a presença de um teor ideal de substituição de aproximadamente 25 % com o aumento da resistência mecânica, reforçando a

possibilidade de se aplicar este coproduto na produção de concretos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escória de alto-forno se apresenta como um material de elevada relevância técnica e ambiental para a construção civil contemporânea. Sua utilização permite não apenas o aproveitamento de um resíduo industrial abundante, mas também a melhoria de propriedades mecânicas e de durabilidade em materiais cimentícios.

Os estudos analisados demonstram que fatores como composição química, grau de vitrificação e método de resfriamento são determinantes para o desempenho da escória, especialmente no que se refere à sua atividade hidráulica. A escória granulada, por exemplo, apresenta elevado potencial aglomerante, enquanto a escória resfriada ao ar se destaca como agregado para aplicações estruturais e pavimentação.

Além disso, a substituição parcial de agregados naturais por escória pode resultar em ganhos significativos de resistência mecânica, evidenciando sua viabilidade técnica. Do ponto de vista ambiental, seu uso contribui para a redução da exploração de recursos naturais e para a mitigação de impactos associados à disposição de resíduos industriais.

Portanto, a escória de alto-forno consolida-se como uma alternativa sustentável e eficiente, com amplo potencial de aplicação na engenharia civil, sendo fundamental o avanço de pesquisas que ampliem sua utilização e normatização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. M. **Utilização de escória de alto-forno a carvão vegetal como agregado graúdo e miúdo para concreto.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará (2014).

ALMEIDA, J. A. **Influência da adição de resíduo siderúrgico na performance do concreto.**

Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte – MG 2009.

BATAGIN, A. F.; ESPER. M.W. Contribuição ao conhecimento das propriedades do cimento Portland de alto-forno. São Paulo: ABCP, 1988.

BATTAGIN, I.L.S; SBRIGHI, C. Precauções e limitações do uso de escórias como agregado na construção civil. [S.l.: s.n.], 2002.

GARCÍA, C; SAN JOSÉ, J.T. and URRETA, J.I. **Reuse valorization in civil works of electric arc furnace (EAF) slag produced in C.A.P.V.**

In: GLOBAL SYMPOSIUM AND RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, 1999, Espanha. Anais...Espanha, 1999. p. 417-424.

JACOMINO, V. M. F. *et al.* **Controle ambiental das indústrias de produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal.**

Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. 302 p.

JOHN, Vanderley M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio.**

Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

JOHN; V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de escória de alto-forno no Brasil.** In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2000, São Paulo. Anais... São Paulo, 2000.

MARQUES, J. C. **Escória de alto-forno: estudo visando seu emprego no preparo de argamassa e concreto.** São Paulo: Dissertação (Mestrado) Poli – USP, 1994.

MASSUCATO, C. J. **Utilização de escória de alto forno a carvão vegetal como adição no concreto.** 2005. 122p. Dissertação (Mestrado em engenharia), Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo/ EUC, 2005.

METHA, P. K; MONTEIRO, P. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

METHA, P. K; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, propriedades e Materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

QUEIROZ, M.T.A.; SANTOS, G.P.P.; CALDEIRA, B.R.; OLIVEIRA, C.L. **Resultados preliminares: utilização da escória de alto-forno a carvão vegetal em estruturas de concreto.** In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA – SEGET, 2007.

ROSÁRIO, K.A; FERREIRA, T.N.S; SOUZA, R.S.; SOUZA, P.S.L. **Utilização de escória de alto-forno na produção de concreto: Análise da influência da substituição do agregado graúdo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais.** Fortaleza, 2010.

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.

SOARES, A. K. (coordenador do projeto). **Caracterização de escória siderúrgicas com propriedades aglomerantes**. São Paulo: ABCP, 1982. 211p. (Relatório final do projeto – Contrato de compromisso de cooperação técnica financeira 24/81).

VIKLUND-WHITE, C.; YE, G. **Utilization and treatment of steelmaking slags**. In: GLOBAL SYMPOSIUM AND RECYCLING, WASTE TREATMENT AND CLEAN TECHNOLOGY, 1999, Espanha. Anais...Espanha, 1999. p. 337-345.

¹ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

³ Doutora em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁴ Mestre em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁵ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁶ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁷ Mestra em Engenharia de Materiais, Instituto Federal, de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁸ Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

⁹ Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹⁰ Bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹¹ Especialista em Perícias para Engenharia, Universidade Federal do Pará Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹² Doutor em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹³ Mestra em engenharia civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

¹⁴ Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)