**POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUO SIDERÚRGICO NA INDÚSTRIA CIMENTÍCIA**

Sergio Carvalho de Paiva (\*), Anna Kattaryne Cavalcante dos Santos

\*Universidade Católica de Pernambuco / sergio.paiva@unicap.br

**RESUMO**

O estreitamento entre o desenvolvimento tecnológico e o desenvolvimento sustentável vem como um dos principais desafios para o meio científico e a empresa moderna. Nesse cenário, a reciclagem de resíduos é considerada uma alternativa para preservação de recursos naturais não renováveis e do meio ambiente. Entre outros benefícios, como possibilidade de diminuição do consumo energético, do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerado na fabricação de materiais tradicionais, e consequentemente, vantagem econômica. O inter-relacionamento entre o segmento siderúrgico e o civil evidenciam a oportunidade do uso das escórias geradas na fabricação do aço pela indústria cimenteira, uma vez que ao incorporar a escória micronizada à produção de cimento, evita-se sua estocagem em pilhas no pátio da siderúrgica e em aterros, o que pode causar, em função de um inadequado manejo, contaminação ao ecossistema. Porém, um dos desafios da utilização desse coproduto como insumo cimentício é a contaminação por cloreto (Cl<sup>-</sup>). Esta pesquisa tem como objetivo propor um método para garantir a viabilidade técnica da utilização da escória gerada no refino do aço, visando eliminar o ânion como impureza. Foram estudadas quatro amostras coletadas de pontos distintos do processo siderúrgico, as quais quanto à concentração de ferro (Fe<sup>3+</sup>) atenderiam perfeitamente as necessidades de uma indústria de fabricação de cimento, contudo os percentuais de cloreto, todos superiores a 3%, tornam impossível seu uso. A metodologia proposta foi aplicar uma lavagem com água destilada a temperatura ambiente ao resíduo sólido não solúvel, com o intuito de extrair o íon contaminante, o qual possui alta solubilidade. Ficou evidenciado que o desempenho foi extremamente satisfatório, apresentando uma eficiência dentro da faixa média de 95% - 99%. Sendo assim, após a prática de um método simples de extração de cloreto com água, a escória siderúrgica pode ser aplicada como material alternativo e insumo na produção cimentícia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Siderurgia, Escória de aciaria, Cimento.

**ABSTRACT**

The narrowing of technological development and sustainable development comes as one of the main challenges for the scientific community and modern enterprise. In this scenario, waste recycling is considered an alternative for the preservation of non-renewable natural resources and the environment. Among other benefits, such as the possibility of decreasing energy consumption, of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) generated in the manufacture of traditional materials, and consequently, economic advantage. The interrelationship between the steel and civil sectors shows the possibility of using the slag generated in the steel industry by the cement industry, since incorporating the micronized slag into the cement production avoids its stockpiling in the yard of the and landfills, which may cause, due to inadequate management, contamination of the ecosystem. However, one of the challenges of using this co-product as a cement input is chloride (Cl<sup>-</sup>) contamination. This research aims to propose a method to guarantee the technical feasibility of using the slag generated in the steel refining, aiming to eliminate the anion as impurity. Four samples were collected from different points of the iron and steel process, which in iron concentration (Fe<sup>3+</sup>) would perfectly meet the needs of a cement manufacturing industry, however the percentages of chloride, all higher than 3%, make it impossible to use. The proposed methodology was to apply a distilled water wash at room temperature to the non-soluble solid residue, in order to extract the contaminating ion, which has high solubility. It was evidenced that the performance was extremely satisfactory, presenting an efficiency within the average range of 95% - 99%. Thus, after the practice of a simple method of extraction of chloride with water, the steel slag can be applied as an alternative material and an input in cement production.

**KEY WORDS:** Steel industry, Slag from steelworks, Cement.



## INTRODUÇÃO

No cenário atual no qual o impulso pela conscientização ambiental da sociedade e o estreitamento da legislação quanto à destinação de resíduos sólidos, estão intimamente relacionados com a produção industrial, a importância atribuída à proteção ao meio ambiente vem como um dos fatores-chave da empresa moderna (GEYER, 2001 e LEONARDO et al., 2001).

Essa preocupação ecológica em nível mundial motiva as indústrias a investirem em mecanismos de ação para incrementar o aproveitamento de seus resíduos, evitando além da poluição, problemas de armazenagem pelo acúmulo de material e a exploração desenfreada de novos recursos naturais.

Na indústria siderúrgica não seria diferente. De acordo com o levantamento realizado pelo Instituto Aço Brasil (2017), o território brasileiro foi responsável em 2016 por 1,9% da produção mundial de aço, ocupando a 9ª posição no ranking liderado pela China. E primeira colocação na América Latina no mesmo ano, sendo responsável por 52,4% do total produzido na região, cerca de 31,3 milhões de toneladas.

O desafio consiste no melhor aproveitamento da escória gerada no refino do aço em aciarias, por ser um dos principais subprodutos das indústrias siderúrgicas, juntamente com as escórias de alto forno, evitando seu acúmulo em pátios e encaminhamento para aterros (GEYER, 2001; MARQUES et al., 2009 e MASUERO, 2001). Desse modo, esse resíduo vem tomando novo papel nas diversas áreas da Engenharia Civil, sendo utilizado, predominantemente, como material importante na produção de cimento. Influenciando não apenas na redução do impacto ambiental pela diminuição do risco de contaminação do solo e do lençol freático, mas também por reduzir custos com matéria-prima no setor cimenteiro.

Embora a composição química das escórias de aciaria varie muito, alguns de seus constituintes principais são o ferro metálico, os óxidos de cálcio e magnésio (ARRIVABENE, 2012). E sendo o cimento um material formado pela combinação de cinco elementos essenciais: silício, ferro, cálcio, magnésio e alumínio; torna-se interessante a utilização do resíduo siderúrgico como fonte de insumo na indústria cimentícia.

Contudo, apesar de ser um material alternativo viável conferindo características de resistência e durabilidade ao produto, há alguns inconvenientes no uso do resíduo siderúrgico; por exemplo, a concentração do íon cloreto ( $Cl^-$ ) contaminando a escória. Essa infecção por cloreto no cimento afeta as estruturas após sua construção provocando problemas sérios, principalmente a corrosão do concreto armado exposto. O teor máximo de  $Cl^-$  no mesmo é de 0,15% sobre a massa de cimento, conforme a NBR 12.655 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015, p.11). Sendo assim, escórias que contenham nível excedente tornam-se inapropriadas.

Por isso a investigação quanto a caracterização da escória de aciaria utilizada na composição da farinha que originará o cimento Portland composto para produção de concreto, a partir da substituição da fonte de ferro por resíduo siderúrgico, tem sido objeto de estudo, visando principalmente a diminuição de gastos energéticos.

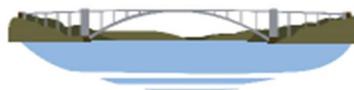
## OBJETIVOS

Essa pesquisa tem como proposta caracterizar a escória de aciaria fornecida por uma siderúrgica, principalmente em relação ao íon cloreto; executar métodos e investigar a possibilidade de retirada do ânion, por meio do arraste máximo do  $Cl^-$  utilizando a mínima quantidade de solvente possível, já que material sólido não é solúvel. Objetivando principalmente a análise da potencialidade do aproveitamento do resíduo como insumo na fábrica de cimento.

## METODOLOGIA

Foram analisadas quatro amostras representativas de escória miúda coletadas de pontos distintos do processo de acordo com a NBR 10.007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004, p.15), a partir de pilhas de estocagem localizadas no pátio de uma única usina siderúrgica situada na cidade de Recife. As amostras foram etiquetadas e encaminhadas ao laboratório na Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) para caracterização química. Posteriormente, aplicou-se nas mesmas o método de extração dos resíduos solúveis, tomando como base a NBR 10.005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p.6).

Sendo assim, a partir de cada amostra foi retirada uma gramatura de resíduo, logo após, foi incorporada água destilada à massa, a fim de formar uma alíquota, sob a qual aplicou-se agitação constante por um período utilizando mesa



agitadora. A separação entre o resíduo e o extrato foi efetuada por meio de centrifugação. A parte sólida foi submetida novamente ao processo de lavagem, e por fim os solventes foram conduzidos para análise e comparação.

Realizou-se a determinação da quantidade removida de íon cloreto pela lavagem, por caracterização do extrato, no caso a água, pelo método de Mohr (Equação 01), conforme Associação Americana de Saúde Pública (APHA, AWWA, WEF, 2012). E então a partir do teor retirado foi calculada a eficiência média do processo.

$$\text{mg/L Cl}^- = \frac{(V_{\text{AgNO}_3} - V_{\text{Branco}}) * M_{\text{AgNO}_3} * MM_{\text{Cl}^-} * 1000}{V_{\text{Amostra}}} \quad \text{Equação 01}$$

Ressaltando que os ensaios foram elaborados com água em temperatura ambiente e em triplicata. Adiante, a investigação será realizada com água em temperaturas mais elevadas, levando em consideração que o fluido aquecido pode ser mais eficiente, pois torna o Cl<sup>-</sup> mais solúvel, a fim de efetuar comparação com os resultados já encontrados.

## RESULTADOS

Realizadas as caracterizações dos resíduos, foram encontrados teores de ferro compatíveis com esse tipo de escória (Tabela 01) e considerável concentração de cloreto, demonstrando sua incompatibilidade para utilização nas indústrias cimenteiras.

**Tabela 01 - Destaca a média dos teores encontrados a partir das caracterizações do ferro e do cloreto nas amostras de pó da usina.**

Fonte: Autores, 2019.

AMOSTRA	FERRO (% Fe <sup>+++</sup> )	CLORETO (% Cl <sup>-</sup> )
01	78,6	3,09
02	79,9	4,46
03	82,6	3,81
04	71,2	4,02

Em resposta à investigação, constatou-se que após contato direto sob agitação entre determinada massa de resíduo sólido e adequado volume de água por um intervalo de tempo, na primeira lavagem houve retirada de em média 97% do íon, apresentando excelente eficiência, conforme Tabela 02. Sem restrição em relação ao teor de Cl<sup>-</sup>, após o processo, a aplicação da escória siderúrgica na produção de cimento como material alternativo.

**Tabela 02 – Enfatiza a média da porcentagem de cloreto nos extratos após lavagem e a quantidade de íon extraído.**

Fonte: Autores, 2019.

AMOSTRA	MASSA DE RESÍDUO (g)	1ª EXTRAÇÃO	2ª EXTRAÇÃO	PORCENTAGEM DE CLORETO EXTRAÍDO (%)
		PORCENTAGEM DE CLORETO NO EXTRATO (%)	PORCENTAGEM DE CLORETO NO EXTRATO (%)	
01	3,0020	3,0892	0,0083	99,7301
02	3,0000	4,4604	0,1919	95,6982
03	3,0010	3,8140	0,1835	95,1895
04	3,0000	4,0154	0,1835	95,4292

O estudo tem como foco a redução do impacto ambiental por resíduos sólidos e mínimo desperdício de recursos não-renováveis, como a água. Portanto, o arraste é considerado eficiente, de fato, a partir do uso da quantidade mínima de água, reaproveitada do próprio processo de fabricação do aço, para extração máxima do íon. Dessa forma, a simulação também envolverá águas com temperatura superior a ambiente. Atento, ao uso do fluido em contracorrente à escória, a qual não é solúvel.



## CONCLUSÕES

Verifica-se que os teores de ferro, em média superior a 71,2%, contidos em todas as amostras analisadas atendem perfeitamente as necessidades de uma indústria de fabricação de cimento, contudo os percentuais de cloreto, todos superiores a 3,09%, tornam impossível seu uso.

Porém, os resultados obtidos a partir da extração de cloreto com água foram extremamente satisfatórios, apresentando uma eficiência dentro da faixa média de 95% - 99%. Então após a prática de um método simples, a escória siderúrgica pode ser aplicada como material alternativo e insumo na produção cimentícia, sendo utilizada dentro da composição legal.

A metodologia proposta continuará sendo aplicada, buscando a variação de parâmetros como: temperatura da água, tempo de agitação e quantidade de água, objetivando sempre maior extração do íon contaminante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22ª ed. Washington: Associação Americana de Saúde Pública, APHA. 2012. 1360 pp.
2. ARRIVABENE, Lúcio Flávio. **Adição de resíduo da indústria de granito em escória de aciaria BOF visando sua utilização na produção de cimento**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
6. GEYER, Rejane Maria Tubino. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto**. 2001.
7. INSTITUTO AÇO BRASIL. **O Aço: Parque Siderúrgico**. Rio de Janeiro: IAB, 2017. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/parque.html>>. Acesso: 19 mar. 2019.
8. LEONARDO, Vera Sirlene et al. **A contabilidade e o meio ambiente: uma visão das indústrias químicas certificadas pela ISO 14000**. 2001.
9. MARQUES, Kelly; FARIA, Silva Lucas Tavares; TEIXEIRA, Pedro Augusto. **Utilização da Escória Siderúrgica na Engenharia Civil**. 2009.
10. MASUERO, Angela Borges. **Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento**. 2001.