



2º Congresso

**Tudo é
Ciência:
(Ser) Humano na
Sociedade 5.0**



ORGANIZADO POR:

UniFOA

Incorporação da escória de aciaria LD em concretagem

Iago Rodrigues Chagas De Souza Santos¹; 0009-0007-3578-9696

Pedro Augusto Fazolato da Silva¹; 0009-0008-7586-933X

Thiago Ferreira Fernandes¹; 0009-0007-1857-8176

Thales Lessa Rodrigues¹; 0009-0003-9849-5725

Vítor Hugo Mattos Sena¹; 0009-0004-7525-5187

Wellington Pereira de Matos¹; 0009-0000-0776-6867

Italo Pinto Rodrigues^{1,2}; 0000-0002-6832-8358

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.

2 – INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP

thiago.fdht@gmail.com

Resumo: A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria siderúrgica os quais muitas vezes são depositados em aterros sem qualquer tratamento, causam impactos negativos ao ambiente e à saúde humana. Este estudo apresenta uma proposta de reciclagem da escória de aciaria proveniente da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) por meio de sua utilização como agregado na concretagem, de modo a mitigar os malefícios que a pilha de escória da CSN presente no bairro Volta Grande em Volta Redonda – RJ, traz para a sociedade e para o meio ambiente. Pensando em viabilizar a utilização da escória como agregado na concretagem, foram utilizadas as técnicas de *design thinking* e química analítica experimental. Os resultados deste trabalho incluem a confirmação da viabilidade da utilização da escória como agregado na concretagem, bem como a redução da pilha de resíduo presente no aterro. Além disso, a utilização da escória como agregado pode trazer benefícios técnicos, como a melhoria da resistência do concreto, e ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa durante a produção do concreto.

Palavras-chave: escória de aciaria LD. concretagem. estabilização química. refratário de coqueria. reciclagem.

INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica é um dos setores mais importantes da economia brasileira, sendo responsável pela produção de uma grande quantidade de aço, ferro e outros metais. No entanto, a produção desses materiais gera uma quantidade significativa de resíduos, dentre eles a escória de aciaria, que é um subproduto da produção de aço a partir do ferro-gusa (IAB, 2018). A Usina Presidente Vargas (UPV) da CSN, uma das maiores siderúrgicas do país, produz anualmente milhões de toneladas de escória de aciaria, que é depositada em um grande aterro a céu aberto localizado no bairro residencial de Volta Grande IV em Volta Redonda - RJ, bem às margens do Rio Paraíba do Sul. O acúmulo desse agregado siderúrgico é um problema ambiental significativo, pois esse material pode ser tóxico e contaminar o solo e a água. Além disso, a disposição desse resíduo



2º Congresso
**Tudo é
Ciência:
(Ser) Humano na
Sociedade 5.0**

2º Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares
Volta Redonda - RJ | 26 a 28 de Outubro

ORGANIZAÇÃO

UniFOA



em aterro sem tratamento adequado pode gerar emissões de gases de efeito estufa e causar impactos negativos à saúde da população (Silva e Pereira, 2020).

A escória de aciaria é submetida à recuperação magnética de elementos metálicos que retornam ao processo siderúrgico. O problema consiste em estudar soluções disponíveis no mercado para a disposição e utilização da escória de aciaria LD (Linz-Donawitz) em seu estado morfológico mais estável. Mas para tal é necessário que se faça uma estabilização química antes ou depois do tratamento atual. Como a pilha de resíduos é composta pela fração não metálica da escória, conhecida como agregado siderúrgico, é possível optar pela reciclagem tanto da escória, como do agregado siderúrgico.

Uma das soluções possíveis é a sua incorporação na produção de concreto, como constituinte, o que reduziria a quantidade de resíduos gerados pela UPV e o tamanho da pilha no pátio externo da usina. A utilização da escória como agregado na concretagem pode melhorar a resistência do concreto, reduzir a emissão de gases de efeito estufa durante a produção do concreto e reduzir os custos de disposição de resíduos da CSN. No entanto, esta solução apresenta desafios. Zago (2019) demonstrou que o agregado siderúrgico resultante da separação magnética é composto por uma mistura de óxidos metálicos e não metálicos, como o óxido de magnésio e o óxido de cálcio. Estes 2 compostos, ao passar do tempo, reagem com a água e com o dióxido de carbono da atmosfera, processo que faz o material se expandir e inviabiliza sua aplicação direta na construção civil sem tratamento químico.

Além disso, essa solução está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas, em especial o ODS 12, que busca garantir padrões de consumo e produção sustentáveis, o ODS 13, que visa combater as mudanças climáticas e seus efeitos, e o ODS 3, que assegura uma vida saudável e promove o bem-estar para todos, em todas as idades.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I. Geração da escória de aciaria LD

Na etapa da aciaria, por meio de conversores LD, tem-se a conversão do ferro-gusa em aço líquido. A partir da sopragem de oxigênio de alta pureza, ocorre a oxidação das impurezas (principalmente carbono e silício) do ferro gusa produzindo-se assim o aço. Esse processo gera como subproduto a escória de aciaria LD, que é composta

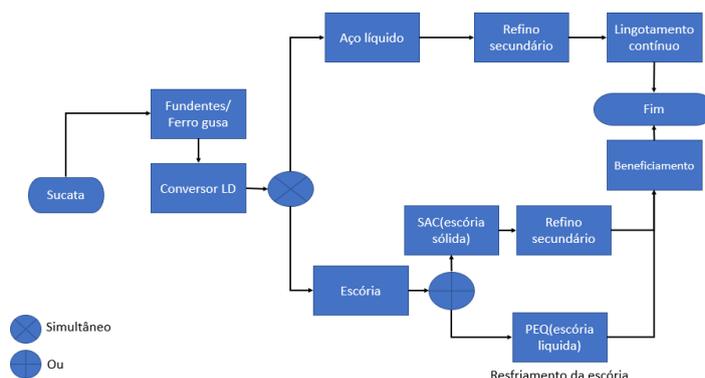


principalmente por CaO, FeO e SiO₂. Esta escória é resfriada com jatos de água e depois segue para o aterro de Volta Grande para recuperação / separação magnética do conteúdo metálico que retornam ao processo siderúrgico. O material resultante do beneficiamento da escória de aciaria LD, chamado de agregado siderúrgico, representa a fração não metálica do resíduo da aciaria e. (Auditoria Ambiental para CSN, 2012).

II. Concreto pré-moldado

Visando um emprego do concreto reciclado com a escória de aciaria LD, estudou-se diferentes aplicações possíveis na construção civil. Uma dessas aplicações seria na construção de estruturas pré-moldadas, um método alternativo que possibilita uma construção mais econômica, rápida e racional (OLIVEIRA, 2015). Segundo a NBR 9062 – Projeto e execução de concreto pré-moldado (2017), o concreto pré-moldado é um elemento executado fora do seu local final de utilização que foi produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade e que é inspecionado individualmente ou por lotes, pelo próprio construtor, fiscalização do proprietário ou de organizações especializadas e que não necessitam de controle no laboratório ou outras instalações congêneres próprias.

Figura 1: Fluxograma da Aciaria.



TRABALHOS RELACIONADOS

No trabalho de Zago (2019), foi avaliada a durabilidade do concreto produzido com a substituição parcial da areia (agregado miúdo) por escória de aciaria LD em teores de 0, 25, 50 e 75%, em massa. Os resultados mostraram que o desempenho mecânico do concreto foi próximo ao de referência, com exceção do módulo de elasticidade, que foi significativamente reduzido. Quanto à durabilidade, apesar da redução da resistividade dos concretos com escória, a substituição parcial da areia não promoveu o aumento da



migração de cloretos. No entanto, a instabilidade volumétrica da escória gerou graves patologias ao material e os corpos de prova com maior teor de substituição romperam por expansão após 70 dias de envelhecimento acelerado. Em resumo, o presente trabalho se relaciona com o de Zago (2019) pois ambos estudam o emprego da escória LD como agregado na concretagem. Além disso, Zago concluiu que o concreto feito de escória passou em todos os testes de desempenho e durabilidade, e que seu uso se torna inviável apenas pelo fato do material se expandir. Portanto, foram estudadas maneiras de reduzir a instabilidade volumétrica da escória LD a fim de, posteriormente, aplicar os mesmos testes propostos por Zago (2019), caso o tratamento da expansão destrutiva se prove eficaz.

MATERIAIS E MÉTODOS

O design thinking foi utilizado para desenvolver soluções criativas e inovadoras para a utilização da escória como agregado, enquanto a química analítica foi empregada para avaliar a toxicidade do material, por meio de análises de lixiviação e testes com um espectrofotômetro.

I. Pesquisa bibliográfica

Fernandes (2016) defende uma metodologia para estabilizar quimicamente os óxidos instáveis presentes nos agregados siderúrgicos através da fusão do agregado com coque refratário cominuído. Após o tratamento, o produto recém estabilizado foi triturado e caracterizado em termos físicos, mecânicos, químicos, ambientais, elétricos e de campo. Em resumo, a metodologia desenvolvida para a estabilização química dos óxidos instáveis presentes nos agregados siderúrgicos mostrou-se eficaz e o coproduto formado pela fusão manteve preservadas as propriedades de resistência do material, além de garantir a eliminação das expansões destrutivas do agregado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

I. Stakeholders

Stakeholders são as partes de interesse no projeto, sendo selecionado os seguintes: Docentes do curso de engenharia do UniFOA; CSN; Comunidades (Brasilândia e Volta Grande); Grupo 2 Módulo 1; INEA (Instituto Estadual do Ambiente) e Comissão do Meio



Ambiente da ALERJ (Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro); Prefeitura de Volta Redonda; Concorrentes; SMMA (Secretaria Municipal do Meio Ambiente – VR).

II. Implementação da solução

Seguindo o método de estabilização química proposto por Daniel (2016, p. 84), o presente trabalho sugere, então, algumas alterações no processo que ocorre nos conversores LD da UPV, principalmente no tocante ao tratamento que a escória de aciaria LD recebe logo após sua saída do equipamento, ainda na fase líquida.

O refratário de coqueria pode ser dividido em 4 subgrupos, sendo que se procura o grupo com maior teor de sílica para balancear o índice de basicidade da escória de aciaria LD. Dessa maneira, recomenda-se o grupo da mistura das frações sílica aluminosa e cerâmica do material refratário de coqueria para a fusão com a escória na fase líquida, almejando a estabilização dos óxidos instáveis. Este material refratário deve passar por um processo de britagem para reduzir-se o tamanho de suas partículas para menor que de 9,5 mm e, com isso, facilitar a fusão com a escória de aciaria líquida recém-saída da etapa de refino. Para a estimativa das massas correspondentes dos materiais a serem fundidos, procedeu-se um cálculo pelo método de equilíbrio estequiométrico de massa fundamentada, o qual chegou numa proporção de que para cada 32.678,82 kg de escória de aciaria LD não tratada, é necessário consumir 17.721,18 kg do refratário de coqueria proposto.

O processo de fusão em si pode ser feito no pátio de resfriamento de escória da UPV, destacando-se que existe um procedimento correto a fim de otimizar a mistura. Estende-se uma camada de 25 cm de espessura do refratário de coqueria sobre o pátio para receber o primeiro carro-torpedo com a escória LD na fase líquida por cima. Repete-se essa etapa mais 2 vezes, intercalando uma camada de refratário e outra de escória LD, sempre uma em cima da outra, e finaliza-se com mais uma camada de 25 cm de refratário ao final do terceiro e último carro-torpedo. A temperatura do processo é de cerca de 1600°C e, depois da fusão, o material deve ser resfriado na baía sem uso de choque térmico e sem aspersão de água por um tempo de aproximadamente 5 dias.

Por fim, após o resfriamento, a escória tratada pode ser submetida a britagem, moagem e peneiramento até que apresente dimensões características dos agregados de concreto, seja ele graúdo ou miúdo. Singh (2022, p.18), cita que a substituição de 75%



do agregado graúdo por escória LD apresenta as melhores propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos feitos com este resíduo.

III. Conclusão da solução

De posse da escória devidamente tratada e, a CSN poderia vende-la para inúmeras empresas do ramo de construção civil, com uma gama diversa de aplicações distintas. A fim de um direcionamento para a conclusão da solução, o presente trabalho sugere o emprego da escória de aciaria LD no ramo de concretos pré-moldados, uma área promissora e ainda pouco explorada no Brasil. A Figura 2 mostra alguns exemplos de formas que podem ser aplicadas na utilização de concretos pré-moldados.

Figura 2 – Concreto pré-moldado

Concreto armado – Elementos de montagem		
Tipos	Elementos	Exemplos
Elementos uni-dimensionais	Pilares	
	Vigas	
	Barras de treliças	

Concreto armado – Elementos de montagem		
Tipos	Elementos	Exemplos
Elementos bi-dimensionais	Placas de lajes	
	Placas de paredes	
	Placas especiais	
	Calhas e Rufos	

Concreto armado – Elementos de montagem		
Tipos	Elementos	Exemplos
Elementos tri-dimensionais	Fundações	

IV. Viabilidade da solução

Pensando na viabilização do uso da escória LD tratada com refratário de coque na produção de concreto, sugere-se a realização de alguns testes conforme as seguintes normas técnicas: NBR 7222 Concreto e Argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova; NBR 8522 - Concreto: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão; NBR 9778 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica; NBR 8802 - Concreto endurecido: Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica; Ensaio de envelhecimento por imersão adaptado da ASTM 4752, para determinação da expansão potencial de agregados devido à hidratação.

Já as especificações de concreto pré-moldado, sua dosagem, bem como as suas propriedades são reguladas conforme orientado na NBR 9062 - Projeto e execução de



concreto pré-moldado (2017), e devem estar de acordo com outra norma técnica, a NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (2014) que regulariza os projetos e execução em concreto armado.

V. Tecnologias da indústria 4.0 aplicadas à solução

Uma discussão cabível seria o fato de a CSN atualmente realizar a separação magnética de elementos metálicos após o resfriamento da escória LD. Essa sucata é reaproveitada no processo de produção e não se sabe ao certo se, após a implementação do beneficiamento com refratário de coqueria, ainda será possível recuperar esses metais. Porém, há de se destacar que os 2 tratamentos são intercambiáveis e a CSN poderia perfeitamente optar por um em detrimento do outro, conforme for a demanda demercado. A inteligência artificial (IA) e a computação em nuvem podem facilitar neste estudo mercadológico. As principais contribuições dessas tecnologias são:

1. Análise de dados: A IA analisa grandes volumes de dados do mercado para identificar padrões e tendências relevantes.
2. Previsão de demanda: A IA utiliza dados históricos e variáveis relevantes para prever a demanda futura por sucata reciclada e agregados de concreto.
3. Otimização de recursos: A IA otimiza o uso de energia, tempo e matéria-prima, considerando diferentes cenários de demanda.

Essas tecnologias combinadas podem fornecer *insights* valiosos para a CSN, permitindo uma tomada de decisão mais informada e estratégica sobre o processo de reciclagem a adotar, considerando a demanda de mercado e os objetivos da empresa.

CONCLUSÕES

O referente trabalho apresentou o uso de escória de aciaria LD como agregado ao concreto, o processo de estabilização química necessário para seu emprego seguro na construção civil e, também, a aplicação deste concreto na fabricação de estruturas pré-moldadas. Os resultados apontam como uma solução viável para solucionar os problemas causados pelo acúmulo de resíduo no aterro industrial da CSN localizado em Volta redonda – RJ. Além disso, a proposta se alinha aos conceitos de desenvolvimento



2º Congresso

Tudo é Ciência: (Ser) Humano na Sociedade 5.0



ORGANIZADO POR:

UniFOA

econômico e sustentável, já que a substituição de agregados naturais por um resíduo antes inutilizado diminui: a extração predatória de recursos naturais não renováveis, a energia gasta na produção de concreto e a quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera.

AGRADECIMENTOS

I.P. Rodrigues agradece à CAPES pelo apoio financeiro (Processo No. 88882.444522/2019-01) durante o doutorado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ZAGO, Sara de Carvalho. **Avaliação da durabilidade do concreto da construção civil com a utilização de agregados de escória de aciaria LD**. Lorena, 2019.

FERNANDES, D. P. **Metodologia para estabilização química do agregado siderúrgico para aplicação como lastro ferroviário**. Ouro Preto, 2016.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Auditoria Ambiental de Acompanhamento Preparado para Companhia Siderúrgica Nacional - CSN Usina Presidente Vargas**.

São Paulo, nov. 2012. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/bmvh/mdey/~edisp/inea012894.pdf>.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **Gestão de resíduos**. Disponível em: <https://esg.csn.com.br/meio-ambiente/gestao-de-residuos>. Acesso em: 2 abr. 2023.

SINGH, Pavitar. **Mechanical and durability properties of concrete incorporating weathered coarse Linz-Donawitz (LD) steel slag**. India, 2022.

IAB. Instituto Aço Brasil. **Relatório de sustentabilidade 2018**. Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, Luciana Carolina Botelho da; PEREIRA, Rayane Nogueira Ferreira. Volta Redonda: **CSN E A MONTANHA DE ESCÓRIA: O Caso do Descarte de Resíduos Siderúrgicos à Margem do Rio Paraíba do Sul em Volta Redonda**. Revista Episteme Transversalis, 2020.

OLIVEIRA, Daniel Freitas Caputo. **CONCRETO PRÉ-MOLDADO: PROCESSOS EXECUTIVOS E ANÁLISE DE MERCADO**. Belo Horizonte, 2015.