

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

LEANDRO MENDONÇA DE LIMA

**UTILIZAÇÃO EFICIENTE DA ESCÓRIA ACIARIA COMO ADIÇÃO NOS
AGREGADOS NA FABRICAÇÃO DE PAVERS VIBRO Prensado**

RECIFE

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

Aluno: Leandro Mendonça de Lima

**Título da Dissertação: UTILIZAÇÃO EFICIENTE DA ESCÓRIA ACIARIA COMO ADIÇÃO NOS
AGREGADOS NA FABRICAÇÃO DE PAVERS VIBRO PRENSADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) para obtenção do título de Mestre em Materiais da construção civil. A presente dissertação foi defendida e aprovada em 08 de junho de 2022 pela banca examinadora e constituída pelos professores:

Documento assinado digitalmente
gov.br ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO
Data: 29/11/2022 12:34:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Orientador: Prof. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro – UNICAP

ANGELO JUST
DA COSTA E
SILVA:82129258468
Assinado de forma
digital por ANGELO
COSTA E
Dados: 2022.11.30
-03'00'

Avaliador Interno – Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva – UNICAP


Avaliador Externo – Prof. Dra. E Eliziane Jubanski Martins- UFPR

Recife
2022

L732u Lima, Leandro Mendonça de.

Utilização eficiente da escória aciaria como adição nos agregados na fabricação de pavers vibro prensado / Leandro Mendonça de Lima, 2022.

124 f. : il.

Orientador: Eliana Monteiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2022.

1. Aço - Fabricação. 2. Agregados (Materiais de construção).
3. Escória. 4. Resíduos. 5. Pavimentos. I. Título.

CDU 669.14

Pollyann Alves - CRB-4/100

LEANDRO MENDONÇA DE LIMA

**UTILIZAÇÃO EFICIENTE DA ESCÓRIA ACIARIA COMO ADIÇÃO NOS
AGREGADOS NA FABRICAÇÃO DE PAVERS VIBRO PRENSADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Católica de Pernambuco, como requisito parcial para à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Dra Eliana Monteiro

Recife

2021

DEDICATÓRIA

Este trabalho de pesquisa é dedicado aos meus colegas de trabalho da Votorantim Cimentos Larissa Cabral e Maurício Bianchini. Poder contar com a boa vontade e o conhecimento destas pessoas foi essencial para o meu êxito. Dedico também a minha mãe Maria Rozilene que sempre deu base e incentivo para prosseguir estudando, e aos professores envolvidos da UNICAP e UFC onde foi possível realizar grande parte dos ensaios laboratoriais necessários para a finalização da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me ter dado essa oportunidade de sempre lutar pelos meus sonhos e poder colher sempre bons frutos. A gratidão também se estende a minha família, pelas as orações e palavras de incentivo em momentos difíceis que sempre precisei, a todos os amigos que sempre deram apoio em especial ao Romário Nunes um dos grandes incentivadores da minha trajetória profissional e acadêmica.

O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”

(Henry Ford)

RESUMO

Atualmente, o processo de fabricação do aço segue estágios claramente definidos. Nesse processo, os resíduos da produção são gerados em algumas etapas, antes considerados subprodutos e descartados sem nenhum tratamento. Com o desenvolvimento tecnológico e científico das indústrias emergentes, pode-se constatar que alguns desses rejeitos podem ser reaproveitados no processo, ou podem ter outros destinos, sendo considerados subprodutos da fabricação do aço. Esses subprodutos é a escória de aço, que representa uma grande quantidade de escória produzida por tonelada de aço. Diante de tamanha quantidade e exigências legais e ambientais, está começando a analisar as possíveis destinações desses subprodutos ao invés do descarte. A partir deste estudo, verifica-se que a escória de aço pode ser utilizada como substituto de outros insumos da cadeia produtiva. Assim, a pesquisa teve por objetivo geral avaliar a utilização eficiente da escória aciaria como adição aos agregados miúdos e graúdos na fabricação de pavers vibro prensado. Analisando os resultados de resistência à compressão, todos os traços atingiram acima de 35 MPa no final de 28 dias, somente os traços com adição de escória tiveram maiores ganhos de resistências no final de 91 dias, sendo isso um ponto positivo a ser notado. Todos os pavers com e sem escória obtiveram baixa absorção de água, sendo os pavers com 35% de escória com a maior porosidade. Já para os desgastes dos pavers por abrasão, houve baixa variação em todos os traços. Os pavers que apresentaram o melhor desempenho de qualidade e resistências foram referentes aos traços com 20% de escória.

Palavras-chave: Aço. Destina eficiente. Escória de aciaria. Ensaio de resistência. Pavers vibro.

ABSTRACT

Currently, the steel manufacturing process follows clearly defined stages. In this process, production waste is generated in some stages, previously considered by-products and discarded without any treatment. With the technological and scientific development of emerging industries, it can be seen that some of these tailings can be reused in the process, or they can have other destinations, being considered by-products of steel manufacturing. these by-products is steel slag, which represents a large amount of slag produced per ton of steel. Faced with such quantity and legal and environmental requirements, it is starting to analyze the possible destinations of these by-products instead of disposal. From this study, it appears that steel slag can be used as a substitute for other inputs in the production chain. Thus, the research aimed to evaluate the efficient use of steel slag as an addition to fine and coarse aggregates in the manufacture of pressed vibrating pavers. Analyzing the compressive strength results, all the mixes reached above 35 MPa at the end of 28 days, only the mixes with slag addition had greater strength gains at the end of 91 days, which is a positive point to be noted. All pavers with and without slag had low water absorption, with pavers with 35% slag having the highest porosity. As for the wear of pavers by abrasion, there was low variation in all traces. The pavers that presented the best quality and strength performance were referring to the traces with 20% slag.

Keywords: Steel. Efficient destination. Steel slag. Resistance test. Vibrate pavers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de fornos primitivos usados para redução do minério de ferro.	51
Figura 2. As matérias-primas básicas para a indústria siderúrgica.	54
Figura 3. Lingotamento convencional, lingotes de 500 a 700 Kg.	57
Figura 4. Processo simplificado da produção de aço.	58
Figura 5. Ciclo de produção do aço.	60
Figura 6. Modelo esquemático da aciaria LD com ênfase no fluxo de entrada e saída de materiais.	63
Figura 7. Geração e tratamento da escória de aciaria.	66
Figura 8. Geração dos coprodutos e resíduos por tipo.	77
Figura 9. Localização das empresas produtoras de aço no país.	90
Figura 10. Distribuição da Geração dos Resíduos Sólidos Industriais por Classe (t/ano).....	93
Figura 11. Materiais retidos nas peneiras de areia natural.	106
Figura 12. Materiais retidos em cada peneira de pó de brita.	109
Figura 13. Materiais retidos em cada peneira da brita 9,5 mm.	110
Figura 14. Curva Granulométrica da mistura analisada.	117
Figura 15. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 10% de escória.	121
Figura 16. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 15% de escória.	124
Figura 17. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 20% de escória.	127
Figura 18. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 35% de escória.	130
Figura 19. Armazenamentos de coproduto	131
Figura 20. Siderúrgica CSP.	132
Figura 21. Siderúrgica CSP	133
Figura 22. Processo de tratamento da escória.	134
Figura 23. Umidade ótima.	144
Figura 24. Gráfico de evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina	147
Figura 25. Produção de pavers vibro prensado.	150
Figura 26. Aplicação da escória de aciaria BSSF.	151

Figura 27. Paver produzidos após a saída da máquina vibro prensa	151
Figura 28. Aplicação de água, análise de boa compactação	152
Figura 29. Pavers na câmara úmida.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição Média da Escória de aciaria LD.	68
Tabela 2. Composição química da escória de aciaria LD, separada por local de produção.	68
Tabela 3. Composição mineralógica da escória de aciaria.	69
Tabela 4. Distribuição granulométrica da areia natural.	107
Tabela 5. Distribuição granulométrica do pó de brita.	109
Tabela 6. Distribuição granulométrica de brita 9,5 mm.	111
Tabela 7. Distribuição granulométrica da escória.	113
Tabela 8. Dados específicos da distribuição granulométrica da escória	113
Tabela 9. Distribuição granulométrica da escória, nova granulometria.	114
Tabela 10. Distribuição granulométrica da escória, nova granulometria.	115
Tabela 11. Distribuição granulométrica da mistura.	115
Tabela 12. Distribuição Granulométrica Mistura Atual.	116
Tabela 13. Proporção sugerida dos agregados na mistura (%).	117
Tabela 14. Granulometria da mistura analisada, com adição de 10% de escória...	119
Tabela 15. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 10% de escória.	120
Tabela 16. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 10% de escória. ..	121
Tabela 17. Granulometria da mistura analisada, com adição de 15% de escória...	122
Tabela 18. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 15% de escória.	123
Tabela 19. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 15% de escória. ..	124
Tabela 20. Granulometria da mistura analisada, com adição de 20% de escória...	125
Tabela 21. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 20% de escória.	126
Tabela 22. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 20% de escória. ..	127
Tabela 23. Granulométrica da mistura analisada adição de 35% de escória.	128
Tabela 24. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 35% de escória.	129
Tabela 25. Proporção a ser testado da mistura analisada adição de 35% de escória.	130
Tabela 26. Produção de Ferro Gussa e Alto Forno de 2017 a 2020, em toneladas.	135
Tabela 27. Produção de Aço Líquido Processado e BSSF de 2017 a 2020, em toneladas.	136

Tabela 28. Distribuição granulométrica da escória BSSF.....	139
Tabela 29. Caracterização química escória de aciaria BSSF.....	140
Tabela 30. Caracterização Física escória de aciaria BSSF.....	141
Tabela 31. Sanidade escória de aciaria BSSF.....	142
Tabela 32. Expansividade em Autoclave escória de aciaria BSSF.....	143
Tabela 33. Expansividade em Autoclave escória de aciaria BSSF.....	143
Tabela 34. Índice de suporte Califórnia escória de aciaria BSSF.....	144
Tabela 35. Índice de suporte Califórnia escória de aciaria BSSF resultados.....	145
Tabela 36. Reação álcali-agregado escória de aciaria BSSF resultados.....	146
Tabela 37. Propriedade do cimento padrão CPV utilizado.....	146
Tabela 38. Ensaio de reação álcali-agregado.....	147
Tabela 39. Características da máquina utilizada pela a empresa Jota Dois.....	149
Tabela 40. Resistência a compressão pavers sem escória com 7 dias.....	155
Tabela 41. Densidade pavers sem escória.....	156
Tabela 42. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 7 dias.....	156
Tabela 43. Densidade pavers com 10% de escória.....	157
Tabela 44. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 7 dias.....	158
Tabela 45. Densidade pavers com 15% de escória.....	159
Tabela 46. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 7 dias.....	159
Tabela 47. Densidade pavers com 20% de escória.....	160
Tabela 48. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 7 dias.....	161
Tabela 49. Densidade pavers com 35% de escória.....	161
Tabela 50. Resistência a compressão pavers sem escória com 28 dias.....	162
Tabela 51. Densidade pavers sem escória.....	163
Tabela 52. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 28 dias...	163
Tabela 53. Densidade pavers com 10% de escória.....	164
Tabela 54. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 28 dias...	165
Tabela 55. Densidade pavers com 15% de escória.....	167
Tabela 56. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 28 dias...	167
Tabela 57. Densidade pavers com 20% de escória.....	168
Tabela 58. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 28 dias...	169
Tabela 59. Densidade pavers com 35% de escória.....	169
Tabela 60. Resistência a compressão pavers sem escória com 91 dias.....	170
Tabela 61. Densidade pavers sem de escória.....	171

Tabela 62. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 91 dias...	172
Tabela 63. Densidade pavers com 10% de escória.....	173
Tabela 64. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 91 dias...	173
Tabela 65. Densidade pavers com 15% de escória.....	174
Tabela 66. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 91 dias...	175
Tabela 67. Densidade pavers com 20% de escória.....	176
Tabela 68. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 28 dias...	177
Tabela 69. Densidade pavers com 35% de escória.....	177
Tabela 70. Absorção pavers sem adição de escória de aciaria.....	178
Tabela 71. Absorção pavers com adição de 10% de escória de aciaria.....	179
Tabela 72. Absorção pavers com adição de 15% de escória de aciaria.....	179
Tabela 73. Absorção pavers com adição de 20% de escória de aciaria.....	180
Tabela 74. Absorção pavers com adição de 35% de escória de aciaria.....	180
Tabela 75. Ensaio de abrasão com pavers sem escória de aciaria.....	181
Tabela 76. Ensaio de abrasão com pavers com 10% escória de aciaria.....	181
Tabela 77. Ensaio de abrasão com pavers com 15% escória de aciaria.....	182
Tabela 78. Ensaio de abrasão com pavers com 20% escória de aciaria.....	183
Tabela 79. Ensaio de abrasão com pavers com 35% escória de aciaria.....	183
Tabela 80. Análise comparativa dos resultados.....	184

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
Fe-C - Liga Metálica de Ferro e Carbono
CO - Óxido DE CARBONO
CO² - Dióxido de Carbono
FEA - Fornos Elétricos A Arco
CaO - Óxido de Cálcio
Si - Silício
Mn - Manganês
Fe - Ferro e a dissolução da cal
FeO - Óxido de Ferro
IABR - Instituto Aço Brasil
IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração
SEMAS - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade
N - newtons
mm² - Milímetros Quadrados
LD - Linz-Donawitz
Al₂O₃
SiO₂
Al₂O₃
MgO
FeO
Fe
Fet
MnO
S
P₂O₅
Na₂O
K₂O
TiO₂
B₂O

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	43
1.1 JUSTIFICATIVA	47
1.2 OBJETIVOS	49
1.2.1 Objetivo Geral	49
1.2.2 Objetivos Específicos	49
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	51
2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO	53
2.2 TIPOS DE ESCÓRIA NA PRODUÇÃO DO AÇO E AS PROPRIEDADES DA ESCÓRIA DE ACIARIA	59
2.3 DESTINAÇÃO À ESCÓRIA DE ACIARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	70
2.4 RECICLAGEM DOS COPRODUTOS ORIUNDOS DA PRODUÇÃO DE AÇO ..	73
2.5 USO EFICIENTE E DESTINAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA EM SUBSTITUTO A OUTROS PRODUTOS DISPONÍVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO MERCADO	76
2.5.1 Uso da escória na agricultura.....	81
2.5.2 Reuso no setor cerâmico e de cimento	81
2.5.3 Reuso na pavimentação de estradas	83
2.5.4 Artefatos de Concreto.....	84
2.6 PAVER VIBRO Prensado	85
2.6.1 Agregados	87
2.7 DESTINAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA EM PERNAMBUCO	88
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS	96
3.1 ENSAIOS REALIZADOS	98
3.1.1 Análise do traço de concreto referência	99
3.1.2 Utilização do traço referência e início do estudo do traço referência	99
3.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA	99
3.2.1. Massa específica e densidade aparente	100
3.2.2 Água.....	101
3.2.3 Ensaio de resistência a Compressão nos pavers ABNT – 9781/2013	102
3.2.4 Determinação do teor de material pulverulento NBR NM – 46/2003.....	103
3.2.5 Índice de vazios.....	104
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS	105
3.3.1 Caracterização da areia natural	106

3.3.2 Caracterização do pó de brita	108
3.3.3 Caracterização da brita 9,5 mm	110
3.3.4 Caracterização Escória de aciaria BSSF.....	112
3.4 ANÁLISE DO TRAÇO USADO PELA EMPRESA ESTUDADA.....	115
3.4 ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA NO TRAÇO	118
3.4.1 Adição de 10% de escória na mistura	119
3.4.2 Adição de 15% de escória na mistura	122
3.4.3 Adição de 20% de escória na mistura	125
3.4.4 Adição de 35% de escória na mistura	128
3.5 LOCAL DA PESQUISA	131
3.5.1 Escória de aciaria tecnologia BSSF	133
3.6 ESTUDOS PRELIMINARES DA ESCÓRIA DE ACIARIA	136
CAPÍTULO 4 RESULTADOS E ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	138
4.1 UTILIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS PELA FÁBRICA DE CIMENTO VOTORANTIM	138
4.1.1 Caracterização química e física da escória de aciaria BSSF	138
4.1.2 Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade).	141
4.1.3 Expansão em Autoclave escória de aciaria BSSF	143
4.1.4 Índice de suporte Califórnia (ISC)	144
4.1.5 Ensaio de reação álcali-agregado com escória de aciaria BSSF	146
4.2 PRODUÇÃO DOS PAVERS VIBRO PRENSADO	148
4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	154
4.3.1 Resistência a compressão com 7 dias	155
4.3.2 Resistência a compressão com 28 dias	162
4.3.3 Resistência a compressão com 91 dias	170
4.4 Ensaio de absorção de água	178
4.5 Desgastes por abrasão NBR 12042:2012	181
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA.....	187
5.1 CONCLUSÕES	187
5.2 SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA.....	190
REFERÊNCIAS.....	191
ANEXOS	204

PROCESSADA NO BSSF.

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O aço vem crescendo no mercado, cada vez mais a sua utilização nas grandes construções vem sendo analisadas e pesquisadas. Na área da construção civil o aço ganhou peso importantíssimo, fundamentando toda a estrutura das grandes construções. A fabricação de aço no Brasil, traz como resultado uma grande produção de subprodutos, as grandes siderúrgicas, por sua vez ficam com esse material estocado, precisando dar uso para que não ocorra somente o desperdício quanto a poluição. Desde o início do século XX, as siderúrgicas mundiais vêm largamente utilizando estes subprodutos no desempenho e matéria-prima para diferentes aplicações como a fabricação de cimento, fertilizantes e corretivos do solo e na área da construção civil (ABM, 2008).

No processo de produção do aço, é comum existir sobras de materiais na produção, a questão para as indústrias foi como proceder com esses resíduos. Os principais resíduos do processo siderúrgico classificam-se, basicamente, em escórias, pós lamas de alto-forno e aciaria, carepas e os finos de carvão e minério. Por sua vez, a escória de aciaria, um subproduto da produção de aço, foi produzida durante a separação do aço fundido das impurezas em fornos siderúrgicos. A escória ocorre como um líquido fundido derretido e foi uma solução complexa de silicatos e óxidos que se solidifica com o resfriamento (POLESE *et al.*, 2006).

A escoria de aciaria é um produto de baixo custo, sendo esse um dos pontos positivos da sua utilização na construção civil e no

BOF PROCESSADA NO BSSF.

setor ambiental vem-se evitando que as siderúrgicas descartem incorretamente esse resíduo e promove a redução de consumo de recursos naturais não-renováveis, como aqueles provenientes da mineração de rochas, areia e outros materiais primários. O aspecto negativo do uso da escória na construção civil foi a taxa de expansibilidade, o fato da escória de aciaria dilatar, milimetricamente, causa insegurança na definição de onde pretende-se usá-la, e esse processo de expansão precisa de no mínimo seis meses para se estabilizar (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Além disto, as sobras da produção do aço, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), são considerados produtos com certo grau de perigo, cuja disposição, em pátios de resíduos, deve ser cuidadosamente realizada, seguindo-se as normas ambientais pertinentes, em vista desta classificação.

Segundo Pinto Fernandes (2010), mesmo acontecendo avanços na área da construção civil para a utilização da escória, isso ainda é em determinado ponto restrito, pois, faz se necessário a extrema qualidade, que garantam as melhores condições e sobretudo quanto à expansão.

A descoberta de que essas sobras têm valor econômico e trazem ganhos ambientais mudou o conceito de resíduo para o setor. Logo, as empresas passaram a investir em processos inovadores de reaproveitamento, tanto do ponto de vista econômico e comercial, como demonstra que a organização tem responsabilidade com o meio ambiente e o ser humano (DELLA *et al.*, 2005).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Aliado ao potencial econômico, percebe-se que as indústrias tiveram que se adequar aos ditames da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, propõe a prevenção e a redução na geração de resíduos sólidos, em âmbito nacional, tendo como alternativa a realização de hábitos de consumo sustentáveis e um conjunto de instrumentos para proporcionar o crescimento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a disposição ambientalmente correta dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Nesse contexto técnico e econômico, percebe-se a importância de desenvolver, no Brasil, pesquisas, investigando o uso da escória em diferentes áreas, para assim haver menos descarte no meio ambiente. Não foi apresentado efetivamente, um método padrão, rápido e econômico que possibilita o uso da escória na construção civil, e sim, acontecem pequenos avanços, visando acabar com eliminação dos dejetos de forma errônea na natureza (CABRAL DE FREITAS, 2018).

Logo, busca-se responder: a escória de aciaria pode ser adicionada na mistura de concreto na produção de paver vibro prensado, proporcionando a mesma qualidade do produto, diminuindo os custos de produção diminuindo o uso dos agregados naturais e aumentando sustentabilidade do processo.

Assim, a pesquisa teve por objetivo geral avaliar a redução da quantidade de agregados naturais utilizada nos traços para fabricação de paver vibro prensado, adicionando aos agregados miúdo e graúdo a escória de aciaria, buscando desenvolver traços comparativos para avaliar as propriedades físicas e mecânicas. Para tanto, foi realizado

BOF PROCESSADA NO BSSF.

estudo de caso quantitativo, por meio de pesquisa campo, para tratar acerca dos conceitos e procedimentos pertinentes à destinação eficiente da escória de aciaria em relação a produção de paver vibro prensado.

Logo, buscou-se demonstrar como se dá o processo de fabricação do aço, bem como quais os insumos que são utilizados, as propriedades dos rejeitos da produção, identificando quais os tipos de escória e quais os caminhos podem ser dados à escória de aciaria, que não seja o descarte direto, uma vez que este coproduto pode ser utilizado para fabricação de cerâmicas, blocos de concreto, cimento, pavimentação, entre outras possibilidades.

Através da análise conceitual das propriedades físico-químicas da escória de aciaria, foi possível identificar autores que tratavam da reciclagem deste material, bem como os tipos de destinações que podem ser dadas, tendo sido analisadas o seu uso na agricultura, o reuso no setor de cerâmica, no setor de artefatos de concretos e na pavimentação de estradas, logo, com a PNRS em vigor, as indústrias em geral tiveram que se adaptar à realidade legislativa nacional e evitar o descarte destes produtos na natureza, sem o devido tratamento.

Ocorre que a princípio, o que era uma exigência legal, passou a se tornar uma oportunidade de negócio dentro da indústria do aço, que passou a aproveitar os rejeitos de produção para comercializar para outros setores produtivos, evitando que ficassem amontoados em enormes estoques de rejeitos.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

O estado de Pernambuco, que mesmo possuindo um plano de gerenciamento estadual de resíduos sólidos, e por ter sido o estado pioneiro a ter uma lei que regulamentasse esta questão, ainda não existem dados disponíveis, de maneira compilada e em documentos oficiais do Estado, sobre a destinação da escória de aciaria. Ocorre que não existem dados atualizados acerca do assunto nos documentos oficiais do Governo do Estado, nem nos órgãos de classe, muito menos da empresa que atua no setor em Pernambuco, conforme levantamento bibliográfico realizado nos sites governamentais, do Instituto Aço Brasil, IBRAM Mineração do Brasil e da empresa Gerdau.

Assim, foi possível tirar de lição deste estudo, que o processo de reaproveitamento de materiais que eram tidos como descartáveis, passaram a se tornar uma estratégia de negócios dentro da indústria do aço, pois àquele material que anteriormente lotava os pátios de estoque das indústrias, passaram a ter uma destinação eficiente do ponto de vista econômico, com a comercialização destes coprodutos, como ecológica, evitando que tais materiais fossem descartados na natureza e aproveitando insumos que não sejam tirados, a princípio, do meio ambiente.

1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de fabricação do aço, na atualidade, segue etapas bem definidas, há bastante tempo. Deste processo, em algumas

BOF PROCESSADA NO BSSF.

etapas surgem os rejeitos da produção, que antigamente era tido como um subproduto e descartado sem nenhum tratamento. Com a evolução tecnológica e científica oriunda das novas indústrias, foi possível identificar que alguns destes rejeitos poderiam ser reutilizados no processo, ou poderia ter uma outra destinação, e, assim, passaram a ser considerados coprodutos da fabricação do aço.

Nesta perspectiva, um destes coprodutos foi a escória de aciaria, que representa um quantitativo significativo de escoria por tonelada de aço produzida. Diante desta grande quantidade, bem como das exigências legais e ambientais, passou-se a analisar as possíveis destinação destes coprodutos, que não fosse o descarte. Daí adviera pesquisas e se constatou que a escória de aciaria possa ser adicionada a outros insumos em cadeias produtivas que não a de produção de aço, e que poderiam ser aproveitados como fertilizantes, componentes na produção de cimento, cerâmica, blocos de concreto, na pavimentação de estradas, e a produção de paver vibro prensado, objeto da proposta de pesquisa.

O controle tecnológico na produção de paver vibro prensado configura um processo necessário para produzir de forma rápida, segura, e conseqüentemente econômica. A presente proposta de estudo poderá ter como conseqüência a economia na produção de paver vibro prensado e o ganho sustentável diminuindo o consumo de areia natural e brita 9,5 mm com ênfase na utilização da escória como agregado. Com esse estudo será possível executar diferentes traços com diferentes proporções para obter um traço econômico na substituição dos agregados naturais pela escória de aciaria.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Toda a pesquisa além de focar na produção de paver vibro prensado, delimita as particularidades dos materiais utilizados, fazendo com que haja uma nova percepção sobre o assunto. Viabilizando melhores escolhas para os proprietários das indústrias na aquisição de bons produtos, que garantam produção em escala padronizada. A escolha dos materiais será critérios de avaliações através dos ensaios descritos no decorrer da pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade do paver vibro prensado adicionando na mistura do concreto seco com 10 a 35% de escória de aciaria como agregado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaboração dos traços com escória de aciaria tendo como base a caracterização de todos os agregados que compõem a mistura viabilizando a melhor compacidade das misturas.
- Execução dos traços e análise de resistência à compressão nas idades de 7, 28 e 91 dias dos pavers vibro prensado com e sem escória de aciaria
- Analisar a qualidade dos pavers vibro prensado através dos ensaios de absorção das amostras com e sem escória de aciaria.

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

- Analisar se houve variação de durabilidade dos pavers vibro prensado com e sem escória de aciaria através dos ensaios de desgaste por abrasão.
- Realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais dos pavers fabricados com e sem escória, por meio dos resultados obtidos.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ferro metálico, que é usado pelo homem, foi encontrado na natureza a 4.500 anos, inicialmente localizado em meteoritos por tribos da Ásia menor. Enquanto outros defendem que o ferro foi descoberto pelo homem a 6.000 a 4.000 a.C, e que teriam sido descobertos por acaso, ao ser utilizado pedras ao longo de fogueiras, que se aqueceram e se fundiram com o calor. Desde então, o ferro foi utilizado com maior frequência, em torno de 1.500 a.C, quando se descobriu como extrair o metal do seu minério pelo homem (IABr, 2015).

O minério de ferro começou a ser aquecido em fornos primitivos, forno de lupa (Figura 1A) para fabricar um quilo de ferro em barras, usava-se de dois a quatro quilos de minério de ferro e cerca de quatro quilos de carvão vegetal. Possibilitavam a absorção de uma certa quantidade de carbono (até 1%), o que por rápido resfriamento poderia elevar drasticamente a dureza do material (têmpera) (PERENTELLI, 2007).

Figura 1. Tipos de fornos primitivos usados para redução do minério de ferro.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

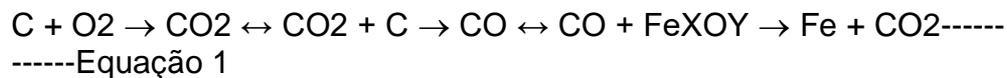


Fonte: Adaptado de Kaio Dutra (2017).

Com o passar dos tempos, outras técnicas foram utilizadas, fazendo com que o ferro se tornasse mais duro e resistente a corrosão. Nesta evolução no processo de manipulação do metal e do uso do forno de lupa, surgiu a forja catalã (Figura 1B), que foi considerada o primeiro modelo dos altos-fornos que são utilizados atualmente. O seu nome surge do local em que apareceram, na Espanha, e foi bastante utilizada no período da idade média. Esta forma de aquecer o ferro bruto era feita em lareiras, compostas por pedras, e que utilizavam foles para inflar o ar na forja, fazendo com que se aumentasse a temperatura e fosse possível conseguir o ferro no estado líquido (FABIANO GONTIJO; TONINI, 2015).

O processo que era utilizado nestes dois fornos, era o de redução direta, logo, o ferro era retirado da natureza no estado sólido e precisa ser aquecido até se tornar líquido, como se nota pelo processo químico relatado na Equação 1 (FABIANO GONTIJO; TONINI, 2015):

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Portanto, com este processo o ferro era retirado no estado pastoso, ou, também, em estado líquido de alta viscosidade, e havia muitas impurezas de minério (QI; LIU; LIU, 2016).

Por volta do ano de 1400, o minério de ferro começou a ser fundido em altos-fornos, da mesma forma como são os processos atuais. As altas temperaturas proporcionadas por estes fornos permitiam a maior absorção de carbono, fazendo com que o ferro e as ligas de aço se tornassem mais resistentes e duras (PERENTELLI, 2007).

Logo, passou-se a aumentar, paulatinamente, a altura dos fornos primitivos, sendo utilizados fornos de cuba ou fornos chaminé, da qual a carga era introduzida pelo topo e o ar era soprado pela parte inferior. Com o passar do tempo, os fornos foram ficando mais próximos do processo de fabricação modernos, tendo a revolução industrial inglesa, um papel preponderante para esta evolução (PERENTELLI, 2007).

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇO

Atualmente, o processo de fabricação de aço se dá por meio de um processo siderúrgico, a qual o aço foi basicamente formado de uma liga de ferro e carbono. As matérias-primas básicas da indústria siderúrgica para este processo são: minério de ferro, carvão e calcário, de acordo com a Figura 2.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 2. As matérias-primas básicas para a indústria siderúrgica.



Fonte: Adaptado de Kaio Dutra (2017).

O ferro foi encontrado em toda crosta terrestre, o minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina, bem como o carbono, que também foi relativamente abundante na natureza. Na siderurgia usa-se o carvão mineral, que é um tipo de pedra que, ao longo de milhões de anos se formou através de altas pressões no interior da Terra, e em alguns casos o carvão vegetal, que provém da queima da madeira. Antes de serem levados ao auto forno, o minério de ferro e o carvão são previamente preparados para melhoria do processo, a qual o minério foi transformado em pelotas e o carvão foi destilado para obtenção do coque (LANDIM DE CARVALHO *et al.*, 2014).

Por sua vez, o coque é oriundo do processo de coqueificação, a qual se dá por meio do aquecimento em temperatura elevada, através de câmaras específicas para tal processo, uma vez que foi necessária saída para os gases provenientes desta etapa, estas câmaras são hermeticamente fechadas com carvão mineral. Assim:

[...] no aquecimento às temperaturas de coqueificação e na ausência de ar, as moléculas orgânicas complexas que constituem o carvão mineral se dividem, produzindo gases

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

e compostos orgânicos sólidos e líquidos de baixo peso molecular e um resíduo carbonáceo relativamente não volátil. Este resíduo resultante é o coque, que se apresenta como uma substância porosa, celular, heterogênea, sob os pontos de vista químico e físico (COELHO et al., 2004, p. 31)

Desta forma, o coque tem sua qualidade dada de acordo com o tipo de carvão mineral que foi utilizado no processo, por conta do teor de impurezas.

Já no processo seguinte, denominado de redução, o ferro originalmente em estado sólido se liquefaz e ganha o nome de ferro gusa, composto por uma liga metálica de ferro e carbono (Fe-C), bem como outros elementos que são oriundos do processo, dentre estes elementos estão o Si, Mn, P e S (ESCORSIM; COSTA, 2007).

As usinas integradas promovem a transformação do minério de ferro em produtos siderúrgicos semi-acabados ou acabados (laminados). Tradicionalmente, isso requer coqueiras, altos-fornos, aciaria e laminadores. O processo produtivo integrado compreende três fases distintas. A primeira é denominada redução e seu objetivo principal é transformar o minério de ferro, encontrado na natureza geralmente sob a forma de óxido de ferro, em ferro-gusa. Neste processo, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário, sílica, etc. formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento (COSTA; ESCORSIM; COSTA, 2007, p. 4).

De acordo com o exposto acima, neste mesmo procedimento de redução do ferro, para a fabricação do aço, os outros elementos oriundos do processo, entre eles também se incluem o carbono, devem ter seus teores reduzidos (COSTA; ESCORSIM; COSTA, 2007). O princípio da redução direta consiste em:

BOF PROCESSADA NO BSSF.

[...] tratar-se óxidos de ferro praticamente puros (Fe_2O_3 ou Fe_3O_4) a temperaturas usualmente entre 950 e 1050°C, na presença de uma substância redutora, resultando, frequentemente uma massa escura e porosa, conhecida como ferro esponja (RIZZO, 2006, p. 117).

Os processos de redução direta são direcionados a países que não possuem carvão pedra coqueificável ou que não possuam minérios de alto teor em ferro, assim o processo de redução ocorre com o minério no estado sólido e os processos correspondentes têm por objetivo eliminar o alto-forno, produzindo-se o aço diretamente do minério ou produzindo-se um material intermediário, a ser empregado como “sucata sintética” nos fornos de aço (FERRAZ, 2003).

Ainda em estado líquido o ferro foi levado para aciaria, onde foi transformado em aço. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos e, finalmente, o aço é laminado. O aço em processo de solidificação foi deformado mecanicamente para ser transformado em produtos utilizados pela indústria de transformação como chapas grossa e finas, barras, bobinas, perfilados etc. (RIZZO, 2005).

Por sua vez, aciaria é a unidade de uma usina siderúrgica onde existem máquinas e equipamentos voltados para o processo de transformar o ferro gusa em diferentes tipos de aço. O principal destes equipamentos é o convertedor, que é um tipo de forno, revestido com tijolos refratários e que transforma o ferro gusa e a sucata em aço. Uma lança sopra oxigênio em alta pressão para o interior do forno, produzindo reações químicas que separam as impurezas, como os gases e a escória. A principal reação química no convertedor ocorre entre o oxigênio injetado e o carbono presente no ferro gusa, gerando gases que são eliminados no convertedor. Estes gases se combinam e retiram o carbono do ferro gusa, dando origem ao aço (RIZZO, 2005, p. 58).

Deste processo que foi realizado na aciaria, ele se divide em

BOF PROCESSADA NO BSSF.

refino primário e secundário. Entende-se por refino primário a etapa que ocorre no convertedor, a qual o ferro-gusa foi acrescido da sucata de sintética do processo de redução e foi transformado em, finalmente, em aço. Nesta etapa são removidos os outros componentes que foram identificados nos processos anteriores e que não fazem parte do aço produzido na indústria. Já no refino secundário foi entendido como o refino da primária, pois são feitas correções mais específicas e controladas para o acerto da composição química (RIZZO, 2006).

Após o acerto da temperatura e da composição química, o aço líquido foi solidificado. A solidificação pode ser feita via Lingotamento convencional ou lingotamento contínuo, conforme a Figura 3.

Quando enviado a máquina de Lingotamento Contínuo o aço normalmente é solidificado na forma de Placas, Blocos ou Tarugos e quando enviado ao Lingotamento Convencional é solidificado na forma de Lingotes. Estes produtos por sua vez são matéria prima de outros processos como por exemplo a Laminação. Em sequência estes produtos são separados em duas classes: produtos longos, como blocos, tarugos ou fio-máquina, e planos, no caso de placas ou chapas grossas (MACHADO, 2007, 28).

Figura 3. Lingotamento convencional, lingotes de 500 a 700 Kg.

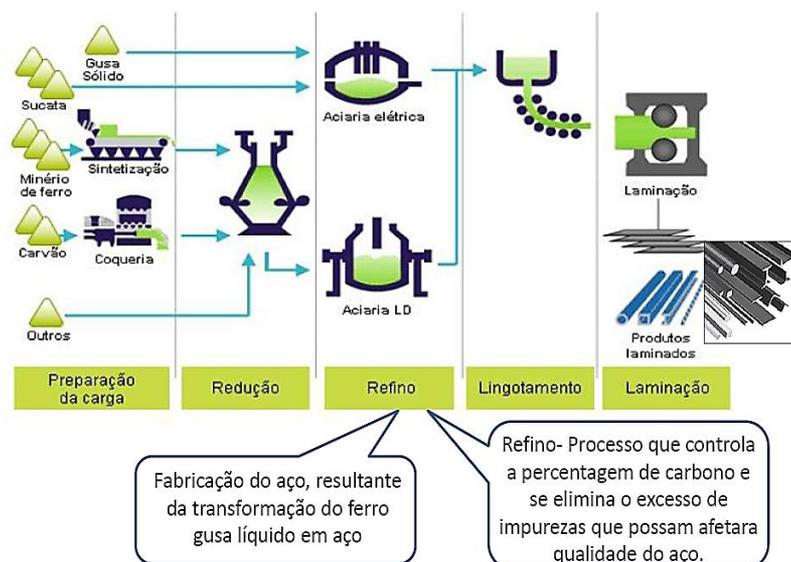


BOF PROCESSADA NO BSSF.

Fonte: Wikipedia (2019).

No processo de fabricação do aço mais tradicionalmente utilizado, após a produção do ferro gusa no alto forno, ou do ferro esponja na redução direta, estes produtos intermediários são encaminhados para a etapa de fabricação do aço, que envolve basicamente a oxidação de grande parte do carbono, que foi reduzido de níveis acima de 4 % para inferiores a 1 % na maioria dos casos, e de impurezas como fósforo, enxofre e outras, que são eliminadas na escória, enquanto o excesso de carbono é eliminado sob a forma de gás (CO e CO_2), (IABR, 2019) segundo Figura 4.

Figura 4. Processo simplificado da produção de aço.



Fonte: IABr (2018).

Após relatado sobre o processo de fabricação do aço, passa-se a analisar a escória, resultante do processo siderúrgico para tal fabricação, oriundo do refino das ligas metálica, na fase de aciaria.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

2.2 TIPOS DE ESCÓRIA NA PRODUÇÃO DO AÇO E AS PROPRIEDADES DA ESCÓRIA DE ACIARIA

Como reportado no tópico anterior, dentro da unidade de uma usina siderúrgica a aciaria é onde existem as máquinas e equipamentos voltados para o processo de transformar o ferro gusa em diferentes tipos de aço. Os teores de carbono, silício, fósforo e enxofre existentes no ferro gusa o tornam muito frágil para ser produzido industrialmente em usos mais nobres. Portanto, na aciaria foi feita a redução dos teores excessivos desses elementos gerando, assim, o aço.

O processo de fabricação do aço na aciaria foi considerado de alta tecnologia, com operações muito bem controladas, para que se obtenha um produto que satisfaça exigências muito rígidas do mercado consumidor. A escória de aciaria é, portanto, um resíduo da fabricação do aço, que foi produzida durante o processo de refino da gusa dentro dos fornos de elaboração do aço (DA CUNHA; ALVES; LEITE, 2021).

Escórias são geradas em alguns dos estágios do processo siderúrgico, sendo eles processados em equipamentos denominados de conversores, ou convertedor, que pode, ser classificados em: conversor básico (Bessemer), conversor a oxigênio puro (LD), conversos Siemens-Martin e Forno Elétrico (CHIAVERINI, 1988). Logo as escórias podem ser dos tipos: no alto forno, na aciaria LD, na aciaria elétrica e na metalurgia secundária. Devido ao emprego de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

altas temperaturas nos diferentes processos, em torno de 1500 – 1600°C, as escórias não contêm nenhuma substância orgânica (ARAÚJO, 1997).

O processo nesta etapa se dá quando for introduzido oxigênio em alta pressão no interior do forno:

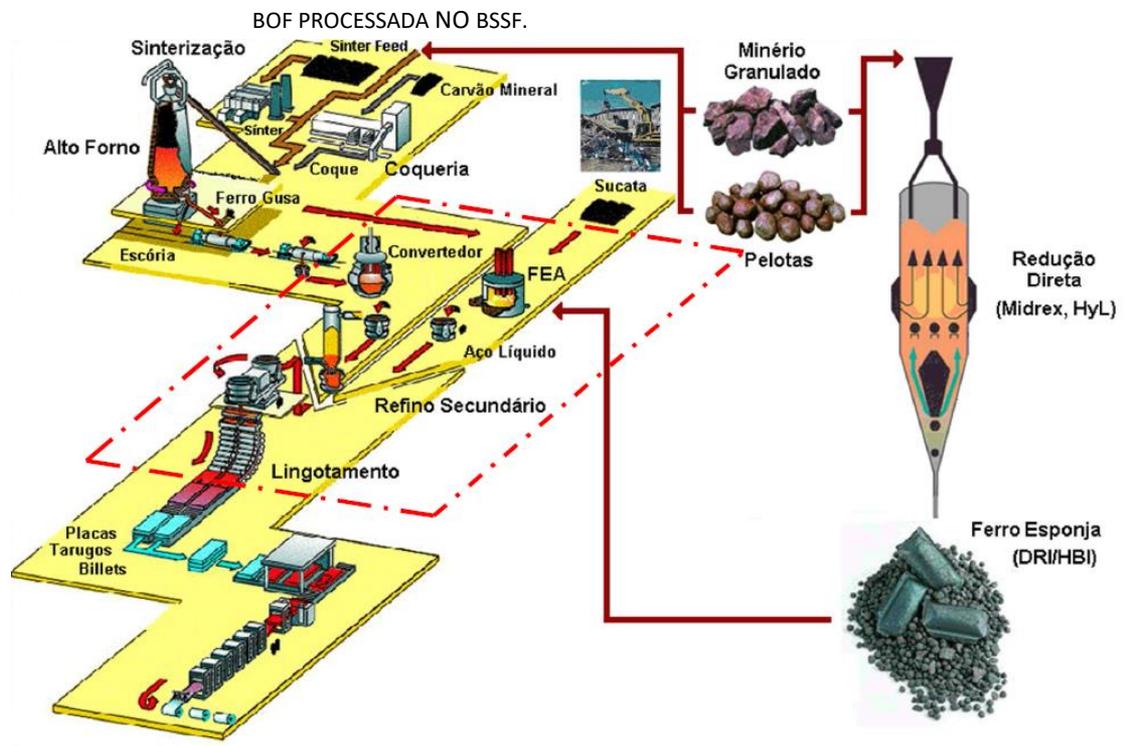
[...] produzindo reações químicas que separam as impurezas, como os gases e a escória. A principal reação química no convertedor ocorre entre o oxigênio injetado e o carbono presente no ferro gusa, gerando gases que são eliminados. Estes gases se combinam e retiram o carbono do ferro gusa, dando origem ao aço (IANALÍTICA, 2011, p. 1).

Atualmente a grande parte da produção mundial foi feita em usinas integradas que usam o processo a sopro de oxigênio LD e usinas semintegradas, que usam os fornos elétricos a arco (FEAs). A Aciaria possui instalações que efetua o recebimento do ferro-gusa, que foi processado no Alto-Forno, o pré-tratamento do gusa e fabricação do aço onde ocorre a transformação do ferro gusa líquido em aço líquido através do convertedor. Para atingir a qualidade desejada, o aço passa pelo processo de refino secundário, podendo ser tratado no Forno-Panela e no Degaseificador RH. Logo após este processo, o aço foi transportado para o lingotamento, podendo realizar esta operação pelo método convencional, onde foi produzido os lingotes, ou pelo método contínuo, onde o produto final foi o tarugo (RIZZO, 2006), conforme a Figura 5.

Figura 5. Ciclo de produção do aço.

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014



Fonte: RIZZO, 2006.

Logo, o convertedor foi o equipamento responsável pela transformação do gusa em aço. Este processo consiste no refino de uma carga metálica composta de gusa líquido e sucata. A sucata e o gusa líquido foi inserido dentro do Convertedor, onde inicia-se o processo de sopro de oxigênio. Durante esta etapa, fundentes e materiais refrigerantes são adicionados. Momentos antes do término do sopro, são feitas as medições no banho metálico através da sublança, possibilitando a realização de ajustes finais para garantir a qualidade do aço. Finalizado o sopro, o convertedor inicia o vazamento do aço líquido na Panela onde são adicionadas as ligas para ajustes da composição química desejada (ARAÚJO, 1997), como

FISPQ

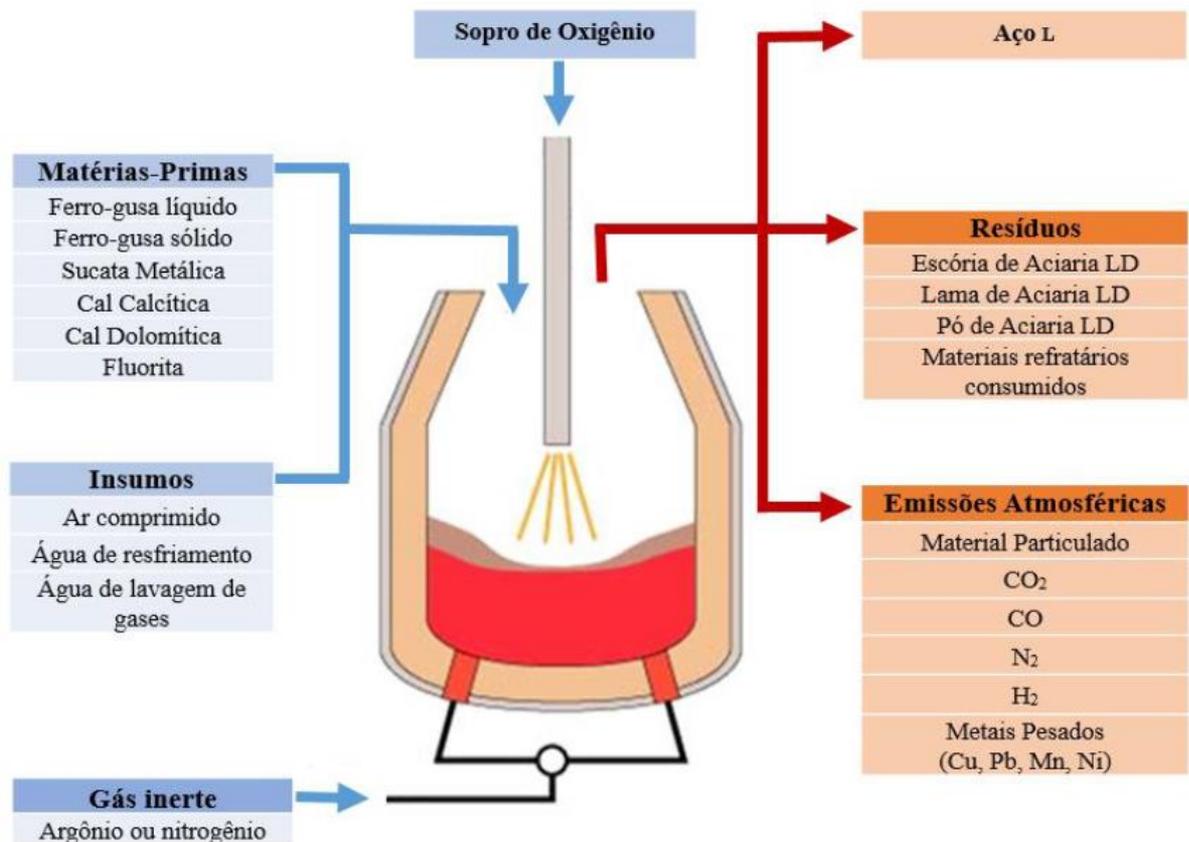
Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

na Figura 6.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 6. Modelo esquemático da aciaria LD com ênfase no fluxo de entrada e saída de materiais.



Fonte: JFE (2003, *apud* CABRAL DE FREITAS, 2018).

A escória gerada durante o processo foi vazada pela boca do Convertedor no Pote de Escória. Ou seja, no final do processo de refino, o aço líquido foi vazado para uma panela, ao mesmo tempo em que a escória foi retida no vaso do convertedor e vazada posteriormente para um pote de escória. A escória escorre como líquido fundido e foi uma solução complexa de silicatos e óxidos que se solidificam após o resfriamento. Portanto, a escória de aciaria foi

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

obtida como resultado de um processo muito bem controlado, objetivando a sua obtenção adequada ao mercado de consumo (CABRAL DE FREITAS, 2018).

Como a quantidade de diferentes tipos de aço produzida, as propriedades das escórias obtidas podem variar grandemente. Os graus de aço fabricados podem ser de alto, médio e baixo teor de carbono. No caso dos aços de alto teor de carbono, para que ocorra sua redução, são necessárias maiores quantidades de fundentes para a remoção das impurezas do aço líquido, produzindo um volume maior de escória. Portanto, muitos tipos diferentes de escória são produzidos nas aciarias (MACHADO, 2007).

A primeira escória produzida foi denominada de escória do forno ou escória de vazamento, que representa a maior quantidade. O aço vazado do forno foi transferido em uma panela, para o estágio de refino, na metalurgia secundária, com o objetivo de aprofundar a remoção das impurezas ainda presentes no aço líquido, a correção da temperatura e ainda a adição de ferros-liga para a obtenção da composição química especificada. Essa operação recebe o nome de refino de panela, pois a operação foi completada dentro do forno panela (POLISSENI, 2002).

Durante a operação de refino outra escória foi produzida pela adição de outros fundentes. Essa nova escória, denominada de escória de panela, combina-se com a porção daquela proveniente do convertedor ou do forno elétrico a arco, auxiliando na absorção dos produtos da desoxidação, inclusões endógenas, isolamento térmico do aço líquido e proteção dos refratários (COSTA; ESCORSIM, 2007).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Devido à grande quantidade de fluxantes utilizada no processo de metalurgia secundária, as propriedades dessas escórias, denominadas sintéticas, são bem diferentes daquelas das escórias produzidas no convertedor, no refino primário, o que as torna, geralmente, não apropriadas para utilização como agregados, para algumas aplicações específicas. Essas escórias devem ser segregadas para evitar a contaminação das escórias primárias, estas, apropriadas ao uso como agregados (FERRAZ, 2003).

A escória de limpeza foi outro tipo comumente encontrado nas aciarias, e foi constituída normalmente, de restos de escória que caem no chão da planta e outros vários estágios da operação, ou então a escória retida após o esgotamento do aço após o lingotamento contínuo (MACHADO, 2007).

Como o aço, a escória de aciaria deve ser tratada como um produto, durante todas as etapas do processo de fabricação deste. Pedacos de tijolos refratários, eletrodos e sucata de aço, devem ser removidos (OLIVEIRA E SOUZA, 2007). Tanto que na Figura 7 abaixo mostra a geração e o tratamento da escória de aciaria, desde o convertedor, até a planta de classificação.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 7. Geração e tratamento da escória de aciaria.

Fonte: Oliveira e Souza (2007).

A formação da escória de aciaria envolve reações da oxidação principalmente dos elementos Si, Mn e Fe e a dissolução da cal. A formação rápida de uma escória rica em CaO foi de suma importância, pois acelera a desfosforação e dessulfuração além de proteger o revestimento refratário (OLIVEIRA; SOUZA, 2007).

No início do sopro o Fe foi oxidado formando o óxido temporário FeO. O óxido de ferro formado reage com o silício e com o manganês oxidando-os. À medida que o volume de silício oxidado aumenta, a sílica formada começa a dissolver a cal, e com o aumento do volume da escória as reações passam a se processar no seio da emulsão

BOF PROCESSADA NO BSSF.

metal-escória formada (MOURÃO, 2017).

Na emulsão metal-escória, a reação de descarburização se acelera e há formação de bolhas de CO. Com o aumento do volume de CO forma-se a emulsão metal-gás-escória e nessa etapa o ferro e manganês serão reduzidos. Ao final do sopro a descarburização foi mais lenta e com isso o oxigênio passa a oxidar o ferro e o manganês aumentando assim seus teores na escória (MOURÃO, 2017).

Conforme tratado anteriormente, o oxigênio alimentado através da lança combina-se com o cálcio, silício, manganês, carbono, além de outros elementos, resultando na geração de escória e gases CO, CO² e outros. A escória foi normalmente vazada em uma panela ou descarregada em uma área específica em que possa ser resfriada ao ar até a sua solidificação, obtendo-se uma estrutura cristalina. Após britagem e separação granulométrica, o resíduo foi enviado para uma unidade de processamento onde passa por uma etapa de separação magnética. A fração metálica foi reutilizada no próprio convertedor LD, no alto-forno ou na sinterização, e corresponde em média a 30% da escória gerada. Já a fração não metálica foi comercializada e reaproveitada (GEYER, 2001).

Seus principais componentes são os óxidos de cálcio, magnésio, alumínio e ferro, além da sílica, e apresenta uma basicidade elevada, próxima a três. Possui também pequenas quantidades de MnO, P²O⁵, TiO² e de compostos com cromo e vanádio (WALIGORA *et al.*, 2010). Da qual, pode-se extrair as seguintes composições médias da escória de aciaria, de acordo como demonstrado na Tabela 1 abaixo.

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 1. Composição Média da Escória de aciaria LD.

Resíduo	Composição Química (% em massa)												
	CaO	SiO ²	Al ² O ³	MgO	FeO	Fe	MnO	S	P ² O ⁵	Na ² O	K ² O	TiO ²	B ² O
Escória de Aciaria LD	46	10	1,5	7	27	-	6	0,04	2	-	-	-	-

Fonte: Arrivabene *et al.* (2012).

Segundo Rodrigues (2007, *apud* CABRAL DE FREITAS, 2018) a composição química da escória de aciaria, vai depender do processo de fabricação do aço, que foi adotado pela empresa que a produz, demonstrada na Tabela 2 abaixo: “[...] a composição química das escórias pode variar segundo a matéria-prima utilizada, processo de produção, revestimento do convertedor, tipo de aço produzido, forma de resfriamento da escória e sua armazenagem”.

Tabela 2. Composição química da escória de aciaria LD, separada por local de produção.

Usinas	Composição química da escória de aciaria (%)							
	CaO	MgO	Al ² O ³	SiO ²	MnO	Fet	S	P ² O ⁵
CST	45,2	5,5	0,8	12,2	7,1	18,8	0,07	2,75
Belgo Mineira	47,0	8,0	1,5	15,0	3,0	19,0		
USIMINAS	41,4	6,2	1,4	11,0	6,3	22,0		1,80
AÇOMINAS	45,6	9,5	0,7	12,0	6,6	16,7		2,23
GERDAU –Cocais	36,2	12,5	0,9	15,4	5,8	21,0	0,04	1,01
MANNESMANN	43,0	7,0	0,8	15,0	3,0	22,0	0,20	1,60
CSN	35,0	6,0	4,0	15,0	3,5	19,7	0,34	0,70
CSP	40,01	9,16	2,67	14,26	3	27	0,02	3,2

Fonte: RODRIGUES (2007, *apud* CABRAL DE FREITAS, 2018).

A escória de aciaria possui funções fundamentais que influenciam na qualidade final do aço.

Propriedades como temperatura, viscosidade, basicidade óptica, dessulfuração, desfosforação, condutividade térmica, condutividade elétrica, tensão superficial e

BOF PROCESSADA NO BSSF.

interfacial, e densidade estão inter-relacionadas com suas funções. Uma escória bem projetada significa um bom projeto de aço (RAPOSO, 2005, *apud* CABRAL DE FREITAS, 2018, p. 19).

Cada tipo de escória varia segundo as suas propriedades, suas composições químicas e mineralógicas. De acordo com Cabral de Freitas (2018): “[...] as principais fases minerais presentes na escória são disilicato de cálcio, diferrita de cálcio, wustita (FeO), cal livre (CaO), periglásio (MgO), dentre outras espécies[...]”, como se nota na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3. Composição mineralógica da escória de aciaria.

Fase Mineral	Fórmula
Bredigita	α -CaO.SiO ₂
Brown millerita	4.CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃
Diopsita	Ca Mg(SiO ₃) ₂
Ferrita dicálcico	2. CaO. Fe ₂ O ₃
Geledita	CaO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂
Mervinita	Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂
Óxido de alumínio e magnésio	MgO. Al ₂ O ₃
Óxido de cálcio	CaO
Periclásio	MgO
Silicato de Magnésio	β -2MgO. SiO ₂
Silicato dicálcico – larnita	β -2CaO.SiO ₂
Silicato tricálcico	3.CaO.SiO ₂
Wustita	FeO

Fonte: CABRAL DE FREITAS (2018).

Com relação as suas características físicas, os ensaios de umidade, granulometria, massa aparente, absorção, porosidade aparente, são usadas para identificar as características físicas da escória de aciaria, com base nestes ensaios, foi possível avaliar o comportamento de acordo com suas características, e assim, determinada aplicação (CABRAL DE FREITAS, 2018).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Portanto, a escória de aciaria, do ponto de vista econômico e da sustentabilidade ambiental, deixa de ser um subproduto da produção do aço, que seria descartado na natureza, e passa a ser considerado um importante coproduto da indústria siderúrgica, sendo aproveitado em diversas áreas, como agricultura, construção civil, pavimentação de estradas, com geração na faixa de 100 a 150 kg por tonelada de aço produzido, dependendo das matérias-primas utilizadas e do processo de fabricação de aço empregado, mediante a utilização de fornos elétricos ou conversores a oxigênio (LD) em siderúrgicas integradas (ABM, 2008).

Diante destas colocações, passa-se a analisar como a construção civil utiliza a escória de aciaria, de acordo com a análise das determinações de destinação deste subproduto do aço.

2.3 DESTINAÇÃO À ESCÓRIA DE ACIARIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A atual preocupação com a preservação ambiental, pode-se inferir que o volume e a diversidade de resíduos gerados pela indústria siderúrgica nacional nas diversas etapas do processo, como apresentado no tópico anterior, requer que sejam encontradas alternativas para a correta disposição dos resíduos ou oportunidades de comercialização.

De acordo com a Norma Brasileira NBR 10004 (ABNT 2004), esse resíduo se enquadra na classe II-A, resíduos não perigosos e não inertes. Ainda segundo a mesma norma, um resíduo foi

BOF PROCESSADA NO BSSF.

classificado como Classe I, ou seja, perigoso, quando um ou mais parâmetros do Lixiviado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelo Anexo F da NBR 10004. Um resíduo foi classificado como Classe II-A, ou seja não perigoso e não inerte, quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelo Anexo G da NBR 10004. A Classe II-B logo, não perigoso e inerte, foi possível quando todos os parâmetros, quanto aos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores permitidos.

Engström *et al.* (2013) observam que a acumulação de elementos menores na escória frequentemente limita a possibilidade de reutilizá-la dentro do processo. Com isso, para evitar o aterro, as siderúrgicas geralmente tentam processar a escória em materiais uteis.

O processamento de escórias de aço para recuperação de metais não foi importante apenas para remover o excesso de aço na fonte do mercado para reutilização na usina siderúrgica, mas também foi importante para facilitar o uso da escória de aço não-metálica como agregado de construção. Este material de escória não metálico pode ser triturado e triado para uso agregado (agregados de escória de aço), ou sinterizado e reciclado como material de fluxo nos fornos de ferro e aço (POLESE, 2006).

Os agregados de escória de aço geralmente exibem uma propensão a se expandir. Isso se deve à presença de óxidos de cal e magnésio livres que não reagiram com as estruturas de silicato e que podem se hidratar e se expandir em ambientes úmidos. Essa natureza

BOF PROCESSADA NO BSSF.

potencialmente expansiva (mudanças de volume de até 10% ou mais atribuíveis à hidratação de óxidos de cálcio e magnésio) poderia causar dificuldades com produtos contendo escória de aço e foi uma das razões pelas quais os agregados de escória de aço não são adequados para uso em concreto de cimento Portland, ou como preenchimento compactado sob lajes de concreto (ARRIVABENE, 2012).

A escória de aço destinada a uso como agregado deve ser armazenada ao ar livre por vários meses para expor o material à umidade da precipitação natural ou aplicação de água por pulverização. O objetivo de tal armazenamento (envelhecimento) foi permitir que a hidratação potencialmente destrutiva e sua expansão associada ocorram antes do uso do material em aplicações agregadas. Existe uma grande variação na quantidade de tempo necessária para uma exposição adequada aos elementos. Até 18 meses podem ser necessários para hidratar os óxidos expansivos (DELLA, 2005).

O problema inerente à reciclagem da escória de aciaria se deve principalmente à sua instabilidade volumétrica. Entretanto, quando devidamente tratada, não se expande (LIU; YAN, 2008). A escória de aciaria está sendo reaproveitada principalmente em capas asfálticas de pavimento rodoviário, nivelamento de terreno e contenção de encosta, corretivos e fertilizantes fosfatados para solos e produção de cimento e concreto.

A reciclagem dos resíduos industriais através de estudos capazes de detectar sua potencialidade e viabilizar sua seleção

BOF PROCESSADA NO BSSF.

preliminar foi encarada hoje como atividade que pode contribuir para diversificação dos produtos, diminuição dos custos, além de resultar em novas matérias primas para uma série de setores industriais.

A norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como sendo os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações e controle da poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

2.4 RECICLAGEM DOS COPRODUTOS ORIUNDOS DA PRODUÇÃO DE AÇO

As indústrias que operam no setor metalúrgico estão se preocupando, cada vez mais, com a geração de valores e respeito a legislação de descarte de resíduos sólidos, pois as escórias e outros coprodutos que são derivados do processo de produção de aço, podem receber uma destinação eficiente e que não seja descartado na natureza, a princípio

De fato, segundo Instituto Aço Brasil, no biênio de 2016-2017, as empresas do setor investiram R\$ 2 bilhões buscando aprimorar o

BOF PROCESSADA NO BSSF.

desempenho ambiental de suas operações. Em 2017, o valor adicionado gerado pela indústria do aço registrou aumento de 23,3% em relação a 2016, chegando a R\$ 14,1 bilhões. No ano anterior, o setor havia sentido uma queda de 19,7% (de R\$ 14,2 bilhões em 2015 para R\$ 11,4 bilhões em 2016) (IABr, 2018):

Em 2017, a geração de resíduos e coprodutos diretos* foi um pouco maior do que no ano anterior. Cada tonelada de aço produzido pelas empresas associadas gerou 607kg. A geração de agregado siderúrgico de alto-forno representou 42% do volume total nos dois anos, e a de escória de aciaria, 27%. No caso das escórias de aciaria, foram vendidos 31% em 2016 e 36% em 2017 e reutilizados internamente, 25% e 23%, respectivamente. A sua principal aplicação (46% em 2016 e 50% em 2017) foi como base para a pavimentação de vias e estradas (IABr, 2018, p. 56).

Os dados atualizados mostram que a produção brasileira de aço bruto, em julho/2021, “foi de 3 milhões de toneladas, 14,5% a mais do que em julho/2020. No acumulado de janeiro a julho de 2021, a produção alcançou 21 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 22% frente ao mesmo período do ano anterior” (IABr, 2021, p. 1).

Os dados acima mostram que uma parcela pequena dos resíduos foi destinada aos aterros (2%), o que minimiza os impactos ambientais. A transformação desses passivos ambientais em coprodutos viabiliza sua aplicação, reutilização em diversos setores, tornando-se uma fonte de receitas.

Quanto aos benefícios da reciclagem e do uso da escória de aciaria, foi necessário aprofundar o estudo sobre as suas propriedades físico-químicas, para em seguida apresentar a

BOF PROCESSADA NO BSSF.

destinação que foi usualmente dada a este coproduto da produção de aço, evitando o descarte do mesmo na natureza.

Proctor et al. (apud CABRAL DE FREITAS, 2018) sobre a forma das partículas de escória de aciaria:

[...] possuem uma forma acentuadamente angular, textura superficial grosseira, massa específica mais elevada que a dos agregados naturais e um moderado índice de absorção de água. Por possuírem uma textura superficial mais porosa quando comparados aos agregados naturais, eles são mais suscetíveis à retenção de umidade, que somada com a presença de óxidos hidratáveis provoca a instabilidade volumétrica.

Portanto, a relevância da umidade, como fator principal de estabilização dos óxidos reativos, sendo eles cal (CaO) e óxido de magnésio (MgO). Desta forma, as relevâncias da propriedade estão relacionadas a capacidade de absorção de água, a condição de porosidade e a uma superfície específica, que por sua vez foi utilizada para definir a finura de moagens (RENÓ BARBOSA, 2013). Esta importância está diretamente relacionada a indústria do cimento, pois quanto mais fino for o cimento, maior será a quantidade de componentes hidratados, e, desta forma, serão maiores as resistências das pastas de cimento produzidas com escória de aciaria.

Nesta mesma lógica do processo químico, em relação a porosidade, a mesma influência, de maneira proporcional, entre o desempenho mecânico do material, e inversamente proporcional à resistência mecânica. Logo, esta influência foi levada para a hidratação de óxidos livres. Para Raposo (2005 apud CABRAL DE FREITAS, 2018, p. 20) “[...] quanto maior for a porosidade do material, mais superfície foi exposta e mais rápida será a hidratação do CaO”,

BOF PROCESSADA NO BSSF.

seguindo o mesmo para o MgO.

Nota-se que a reciclagem e beneficiamento da escória de aciaria, quando utilizado como substituto a alguns agregados obtidos na natureza, trazendo vantagens como a contribuição à preservação de recursos naturais, a redução da quantidade de material, que antes eram tidos como rejeitos, nos pátios de estocagem das empresas do setor, bem como age na prevenção da contaminação de lençóis freáticos, que pode ocorrer por meio da lixiviação da escória, além de ajudar a reduzir a emissão de gases poluentes, nos casos de utilização da escória de aciaria na indústria do cimento, quando utilizada substituindo parte do cimento.

Diante destas colocações, passa-se a analisar os diversos usos da escória como substitutivos ou como produtos melhorados em algumas áreas.

2.5 USO EFICIENTE E DESTINAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA EM SUBSTITUTO A OUTROS PRODUTOS DISPONÍVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO MERCADO

O processo de fabricação do aço, dentre as suas diversas fases, gera coprodutos que não são aproveitados no beneficiamento do ferro em aço, estes coprodutos são gerados em fases específicas, como o alto-forno e a aciaria. Na fase da produção do aço, a qual passa pela aciaria, donde foi gerado a escória de aciaria que, após beneficiamento, foi transformada nos produtos AçoBrita® ou AçoFert®. As destinações destes produtos são feitas pela própria indústria do

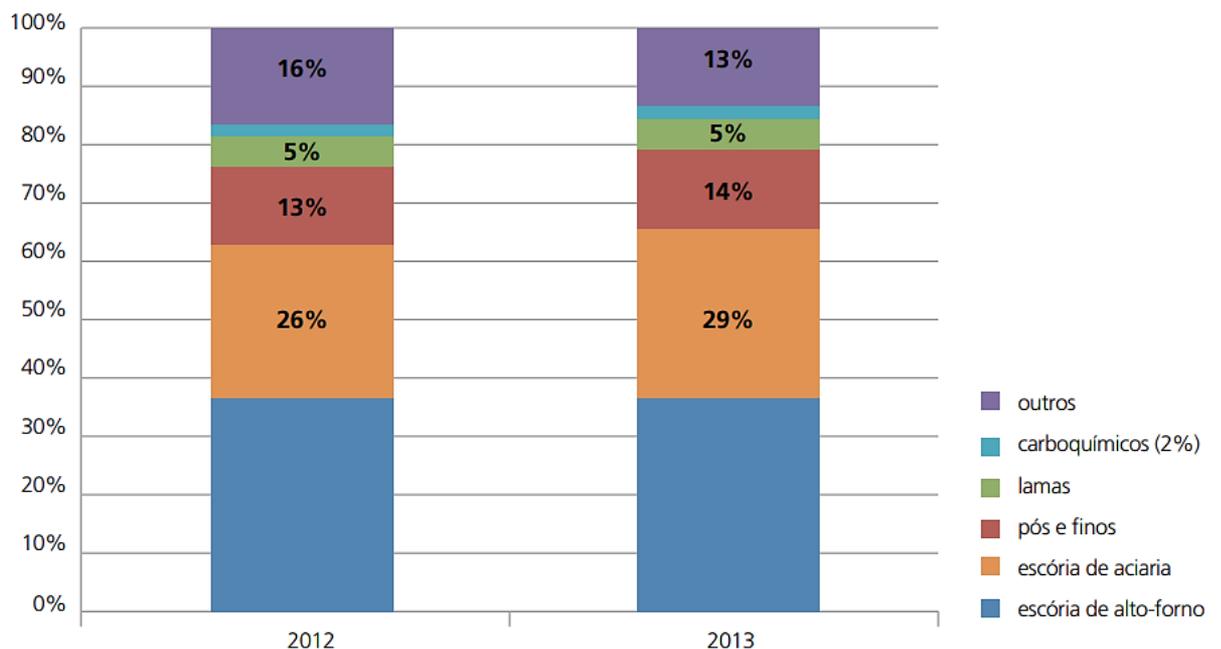
BOF PROCESSADA NO BSSF.

aço:

A AçoBrita® tem sido utilizada, principalmente, na construção civil em sub-base, base e camadas asfálticas de pavimentos rodoviários, estradas vicinais, lastros ferroviários e contenção de encostas. Já a AçoFert® foi utilizada como corretivo e fertilizante de solos (IBRAM, 2014, p. 124).

A quantidade destes coprodutos, em relação a tonelada de aço produzida, foi tão grande, que chegam a representar uma geração específica de 594 kg de coprodutos e resíduos para cada tonelada de aço produzida, dados de 2013 (IBRAM, 2014). Logo, além da escória de aciaria, existem outros coprodutos e resíduos que são rejeitados no processo de fabricação do aço, como mostra a Figura 8:

Figura 8. Geração dos coprodutos e resíduos por tipo.



Fonte: IBRAM (2014).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Pela análise da Figura 8, nota-se a grande quantidade de escória de aciaria que é gerada por tonelada de aço produzido, sendo um representativo superior a 12% de toda tonelada de aço produzido. Logo, segundo dados do IBRAM (2014), no ano de 2013 foram geradas 17,7 milhões de toneladas de coprodutos e resíduos da produção do aço, da qual 29% foi de escória de aciaria, da qual tem-se um total superior a 4 milhões de toneladas deste coproduto gerado por ano no Brasil.

Diante de enorme quantitativo de coprodutos oriundo somente de uma fase do processo de fabricação do aço, e levando em consideração todas as outras indústrias que também possuem seus coprodutos, além de outros fatores poluentes, foi criada a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que trata da política nacional de resíduos sólidos, que tem por objetivo principal, evitar que estes coprodutos e resíduos que eram descartados pelas indústrias, não sejam descartados na natureza, de modo que sejam dadas destinações eficientes aos mesmos.

Através de dados de 2013 (IBRAM, 2014, p. 127), a destinação dada a escória de aciaria, após o resfriamento e beneficiamento foi de:

Em 2013, estes coprodutos foram aplicados, principalmente, em sub-bases, bases e capas asfálticas de pavimentos rodoviários (62%), nivelamento de terrenos (20%), corretivos e fertilizantes de solos (8%), produção de cimento (5%), lastros ferroviários (1%) e outros, como estradas vicinais, gabiões e ripraps (5%).

Ocorre que os dados numéricos ainda são escassos, em

BOF PROCESSADA NO BSSF.

relação a destinação e aproveitamento dos resíduos sólidos produzidos na fabricação do aço, em especial da escória de aciaria, pois, segundo os dados mais atualizados do Instituto Aço Brasil, em seu relatório de sustentabilidade do setor do aço brasileiro: “em 2017, a geração de resíduos e coprodutos diretos* foi um pouco maior do que no ano anterior. Cada tonelada de aço produzido pelas empresas associadas gerou 607kg” (IABr, 2018, p. 56).

Em relação especificamente a escória de aciaria, os dados comparados de 2016 e 2017 apresentou o seguinte resultado:

Os agregados siderúrgicos de alto-forno em sua quase totalidade foram vendidos nos dois anos (96% em 2016 e 92% em 2017), especialmente para a produção de cimento (99%). No caso das escórias de aciaria, foram vendidos 31% em 2016 e 36% em 2017 e reutilizados internamente, 25% e 23%, respectivamente. A sua principal aplicação (46% em 2016 e 50% em 2017) foi como base para a pavimentação de vias e estradas (IABr, 2018, p. 56).

Logo, pelos dados apresentados, fica evidente que as indústrias siderúrgicas estão atentas ao coprodutos oriundos do processo de fabricação do aço, bem como a destinação que lhes foi dada.

Em vista da demanda de reaproveitamento dos resíduos em geral, bem como na perspectiva econômica de agregar valor aos coprodutos oriundos da fabricação do aço, diversas pesquisas apresentaram alternativas para a utilização da escória de aciaria, dentre as pesquisas, destacam-se a de Pinto Júnior (2012), que apresentou a utilização escória de aciaria LD e resíduo de granito para fabricação de cimento, bem como as pesquisas de Benquerer (2000)

BOF PROCESSADA NO BSSF.

e mostraram os benefícios do uso da escória na fabricação de cimento, em vista das suas propriedades.

As pesquisas de Peixoto et al., (2011) e Leocádea da Silva (2014) destacam-se por analisar os resíduos da indústria siderúrgica na fabricação de blocos de concreto para construção civil e pavimentação e construção de habitações sustentáveis construídas a partir de elementos construtivos produzidos com escória de aciaria.

Para Netinger et al. (2011) e Toffolo et al., (2014), demonstraram a utilização da escória para a fabricação de concreto, destinado à construção civil, como agregados ao concreto, e Yellishetty et al. (2008) apresentou a sua utilização para fabricação de tijolos.

Já Oliveira Alves (2008) teve sua pesquisa voltada para a fabricação de lâ de vidro e de rocha a partir de escória de aciaria ou resíduo de corte de granito. Enquanto Duarte Cardoso (2009) demonstrou a utilização da escória de aciaria na fabricação de cerâmica vermelha para a construção civil, e Pinto Fernandes (2010) demonstrou a composição de lastro de ferrovias.

Nas pesquisas de Castelo Branco (2004), Geyer (2001) e Nascimento (2003), mostraram os benefícios de utilizar a escória oriunda do processo de fabricação do aço na pavimentação de estradas, como substitutivo a brita, bem como para a fabricação de blocos paver, bastante conhecidos na pavimentação.

Por fim, a pesquisa de Renó Barbosa (2013) e de Prado e Fernandes (2001), se destacaram por apresentarem os benefícios da escória de aciaria como fertilizantes e corretivos de solo, construção

BOF PROCESSADA NO BSSF.

hidráulica, proteção de taludes, fundentes e materiais cerâmicos. Desta forma, foram escolhidos quatro, dos vários destinos eficientes, que possam ser dadas à escória de aciaria, para discorrer.

2.5.1 Uso da escória na agricultura

As escórias de siderurgia, por fornecerem teores consideráveis de cálcio, magnésio e silício, além de outros nutrientes em menores proporções, como ferro, manganês, zinco, fósforo e enxofre, podem ser utilizadas na agricultura como corretivo de solo e fertilizante. Para que a escória seja considerada e utilizada como insumo agrícola, determinadas características devem ser obedecidas e todo um processo de resfriamento, beneficiamento e caracterização deve ser feito (RENÓ BARBOSA, 2013).

Para o seu uso agrícola foi preferido o resfriamento rápido pois quando ocorre uma maior recristalização há a redução da solubilidade dos compostos quando adicionados ao solo. Depois de resfriada a escória passa pelo processo de moagem e foi separada conforme sua granulometria (PRADO, NATALE, 2001).

2.5.2 Reuso no setor cerâmico e de cimento

Dentre as diversas substâncias minerais consumidos, destacam-se, em razão do volume de produção atingido, as argilas de queima vermelha ou argilas comuns que respondem pelo maior consumo, sendo especialmente utilizadas na cerâmica vermelha e de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

revestimento. Tais argilas são caracterizadas como matérias-primas de baixo valor unitário, o que não viabiliza o seu transporte a grandes distâncias, condicionando a instalação de unidades industriais cerâmicas nas proximidades das jazidas (PEIXOTO et al., 2011).

Leocádea da Silva (2014) analisou a viabilidade da adição de 5% de escória de aciaria, devidamente beneficiada e moída, para a produção de tijolo cerâmico. Os resultados indicaram que a adição da escória contribuiu para a resistência mecânica à flexão do tijolo, a qual alcançou 6,5 MPa.

Por sua vez, para o seu emprego efetivo na produção de cimento ela deve ser corrigida com alumina e submetida a um resfriamento brusco, ou seja, uma granulação, como no caso da escória de alto-forno. Testes de laboratório demonstram que a adição de alumina em escórias LD deve ser da ordem de 6 a 15% (CONJEAUD; GEORGE; SORRENTINO, 1981).

O uso desse resíduo na indústria de cimento como matéria-prima permite uma temperatura de queima mais baixa, reduzindo assim o consumo de energia. Entretanto, apesar da possibilidade de correção da alumina, as propriedades hidráulicas da escória de aciaria ainda são mais pobres comparadas com a escória granulada de alto-forno, sendo assim, somente pequenas quantidades são usadas para este propósito (BENQUERER, 2000).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

2.5.3 Reuso na pavimentação de estradas

As tecnologias de construção de pavimentação com a utilização de blocos pavis são muito conhecidas, o que vale como facilitador ao desenvolvimento da tecnologia proposta. Ainda em relação aos facilitadores, as peças podem ser fabricadas artesanalmente ou em pequenas fabricas que podem ser geridas sob administração conjunta, onde a comunidade cede sua mão-de-obra, a iniciativa pública cede espaço físico e infraestrutura e a iniciativa privada fornece a matéria prima (GEYER, 2001).

Além do exposto anteriormente, a reciclagem da escória de aciaria representa vantagens não só relativamente ao processo industrial, mas como também em relação a preservação do meio ambiente, onde grandes volumes de matérias naturais, como areia e brita, não serão retiradas dos mananciais e pedreiras, etc., em função da integral substituição dos agregados naturais pelos agregados de escória de aciaria (NASCIMENTO, 2003).

Portanto, a utilização da escória para fabricação de blocos pavis apresenta grande relevância uma vez que, o emprego da escória de aciaria, resíduo industrial da siderurgia, como agregados na fabricação de blocos de concreto pavis representa possibilidade de destinação ambientalmente correta ao resíduo sólido gerado nas aciarias de empresas de siderurgia, além de representar produção de peças com preços extremamente baixos, uma vez que a tonelada de escória tem custo de R\$ 0,50; enquanto a tonelada de agregados naturais possui preço médio de R\$ 40,00 (CASTELO BRANCO,

BOF PROCESSADA NO BSSF.

2004).

2.5.4 Artefatos de Concreto

A adequação de resíduos da mineração de ferro foi analisada por Yellishetty et al. (2008) para uso na construção civil. Os autores concluíram que as partículas com granulometria de 12,5 a 20,0 mm são adequadas para uso na fabricação de concreto. E as partículas menores do que 0,475 mm se mostraram bastante adequadas à fabricação de tijolos.

Netinger et al. (2011) estudaram a utilização de escória de aciaria como agregado em concreto, e compararam os resultados obtidos com os de concreto feito a partir de agregados naturais dolomíticos. Os autores consideraram válida a possibilidade de substituição, uma vez que os resultados mecânicos de expansibilidade volumétrica e de susceptibilidade a corrosão foram satisfatórios.

O estudo comparativo, realizado por Toffolo et al., (2014), das características físicas e mecânicas dos blocos de concreto para pavimentação fabricados com agregados artificiais (resíduo sólido de mineração de ferro) e com agregados naturais, indicou resultados satisfatórios de resistência à compressão, expansibilidade e absorção de água.

Sezer e Gülderen (2015) estudaram o uso da escória de aciaria como agregado no concreto. As misturas contendo escoria de aciaria como agregado fino e grosso simultaneamente segregaram. Já as

BOF PROCESSADA NO BSSF.

misturas, com 7 dias de cura, contendo apenas a substituição como agregado fino, tiveram resistência à flexão variando de 4,19 a 2,84 MPa.

2.6 PAVER VIBRO PRENSADO

A história do paver começou no início das grandes civilizações, A utilização de paver ou pavimentos Inter travados no mundo surge com a necessidade de pavimentação para pessoas, e conforme a evolução para os veículos. Estes pavimentos têm sua origem nos pavimentos revestidos com pedras, sendo executados na Mesopotâmia há quase 5 000 a.C. também foram bastante utilizados pelos romanos desde 2 000 a.C. (FERNANDES, 2016).

Estes pavimentos evoluíram primeiro para o uso de pedras talhadas, resultando nos conhecidos paralelepípedos. Na utilização dessas pedras existia uma dificuldade na produção artesanal e a falta de conforto de rolamento impulsionaram o desenvolvimento das peças de concreto pré-moldado. Logo após a Segunda Guerra Mundial, esses artefatos passaram a ser produzidos em grandes fábricas tendo uma grande produção na Alemanha. Veio intensificar no Brasil a partir da década de 70 (FERNANDES, 2016).

O uso de pisos Inter travados tem aumentado de forma significativa no Brasil. Em virtude das facilidades encontradas durante sua execução, e também na sua manutenção, pode-se contar como vantagem a sua maior absorção de água e menor retenção de calor, podendo ser utilizado tanto para pedestres como também para

BOF PROCESSADA NO BSSF.

veículos leves e pesados (CIRILO DA SILVA, 2020).

Entre os diferentes pavers, os mais comercializados são os pavers vibro prensado, descrito na NBR 9781, são, na verdade, peças pré-moldadas de concreto, utilizado para a construção de pavimento ou calçamentos. Os pavers podem ter diferentes alturas e formatos, podendo variar a resistência entre 35 a 50 MPa. Segundo a NBR 9781, os pavers usado para tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha devem atender a resistência maior ou igual a 35 MPa. Já para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuado devem resistir no mínimo 50 Mpa (ABNT, 2013).

O paver vibro prensado, como próprio nome já explica são pré-moldados de concreto onde na sua produção ele passa pela vibração da mistura e em seguida essa mistura foi prensada nas formas, lembrando que a mistura foi um concreto seco, e o cuidado deve ser no ponto necessário de água, para evitar que os agregados segreguem (FERNANDES, 2015).

A produção de paver vibro prensado pode ser feito através de circuito fechado onde todo o processo foi automatizado, com isso a necessidade de mão de obra foi bem reduzida podendo chegar no máximo 3 funcionários. Com o processo totalmente fechado a economia se dá na mão de obra, entretanto, se houver alguma danificação em qualquer umas das partes das máquinas poderá parar por inteiro a produção das peças (BITTENCOURT, 2012).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

2.6.1 Agregados

Quase todos os materiais podem ser utilizados na fabricação de bloco e pavers, entretanto existe um tamanho máximo dos grãos que devem ser obedecidos para permitir a sua utilização nos equipamentos, esse tamanho será padronizado a grãos menores que meia polegada. Para paver o mais aconselhado seria que o agregado graúdo chegasse no máximo 6,3 mm. Isso foi necessário para que chegue a um bom acabamento, se o agregado for muito grande vai ficar muito poroso e os vazios irão aumentar pois, o concreto seco torna mais difícil de chegar num acabamento perfeito pelo uso mínimo de água (BATTISTON et al., 2012).

Caso o fabricante queira aumentar a permeabilidade da peça ou até mesmo aumentar a resistência em função do agregado, poderá sim usar um agregado graúdo de no máximo 9,3 mm, mas por fim será necessária uma dupla camada para se ter acabamento (BITTENCOURT, 2012).

Para se ter peças com qualidades, além da escolha do cimento deve se observar as características dos agregados, como por exemplo os tipos de rochas que deram origem, dimensão máxima, formato, rugosidade superficial ou dureza dos grãos, a curva granulométrica e a limpeza do material. A rocha pode influenciar na durabilidade das peças. No quartzo, por exemplo, foi bem mais abrasivo do que o calcário, com isso pode chegar até 15% menos durável. A dimensão máxima dos grãos influencia no tempo de inchamento, no acabamento das peças e na durabilidade dos moldes. Foi importante uma boa

BOF PROCESSADA NO BSSF.

curva granulométrica de forma que obtenha um bom arranjo entre os grãos fazendo diminuir o máximo de vazios entre eles (FERNANDES, 2015).

Os agregados são de origem natural ou artificial, ambos podem ser utilizados na produção de concreto. A escolha dos materiais será conforme as especificações do concreto, onde delimitará a resistência a compressão o módulo de elasticidade e o acabamento das peças. Os agregados são de extrema importância para o concreto, pois, a resistência não está somente relacionada ao cimento, mas também os agregados, onde existe uma variação de região para região, dependendo da rocha que foi extraído (ABNT, 2005).

2.7 DESTINAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA EM PERNAMBUCO

O setor mineral tem grande importância social e econômica para o país. Em 2013, respondeu por aproximadamente 3% do PIB industrial e por 17% das exportações. Além disso, é responsável por aproximadamente um milhão de empregos diretos, incluindo a indústria da transformação mineral (IBRAM, 2014). Já a indústria do aço foi imprescindível para o desenvolvimento do país, uma vez que:

[...] resultou na instalação no país de um parque produtor de 34,2 milhões de toneladas por ano. A indústria brasileira do aço ocupa o 9º lugar no ranking de produção mundial, sendo responsável por aproximadamente 52% da produção de aço na América Latina (IBRAM, 2014, p. 123).

Em Pernambuco, há a atuação da Gerdau Aços Longos

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.
conforme a Figura 9:

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 9. Localização das empresas produtoras de aço no país.

Fonte: Aço Brasil (2022).

Como se nota na Figura 9 acima, o setor de produção de aço estão presente em 10 estados, com 11 grupos empresariais operando 29 usinas, promovendo o desenvolvimento, emprego e renda nas comunidades onde atuam. Atualmente as siderúrgicas no Brasil são representadas por 15 empresas privadas, controladas por doze grupos empresariais e operando 31 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, a indústria do aço no Brasil foi responsável pela produção, em 2020, de 31,4 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a 9ª posição no ranking da produção mundial (IABr, 2021).

Nos processos industriais existentes, a fabricação do aço na usina siderúrgica foi um dos que promove maior impacto no

BOF PROCESSADA NO BSSF.

desenvolvimento sustentável, tendo em vista o alto consumo elétrico e grande quantidade de insumos e resíduos gerados na produção. Segundo Fischer et al. (2015, p. 4):

Uma das unidades mais críticas da indústria siderúrgica de acordo com a visão da sustentabilidade é a aciaria, que envolve uma grande quantidade de insumos e resíduos. Nesta unidade da usina siderúrgica ocorre a fase de refino da siderurgia. Nesta etapa, conforme foi dito anteriormente, as máquinas e equipamentos da unidade transformam o ferro gusa (líquido ou sólido) ou a sucata em aço líquido.

Os resíduos gerados nesta produção, precisam ser destinados de maneira ecoeficiente, de modo que respeitem a leis ambientais e a lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que no tocante a mineração, no artigo 13 determina que os resíduos de mineração fazem parte dos resíduos sólidos, alvo da legislação, bem como seu descarte na natureza deve ser controlado, de acordo com o artigo 47.

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

[...]

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

[...]

II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; (BRASIL, 2010).

Da análise desta legislação nacional, pode-se extrair que as indústrias de produção de aço devem possuir um plano para evitar descartar os rejeitos da sua produção diretamente no meio ambiente. Nesta perspectiva, a escória de aciaria foi classificada como um

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

resíduo não perigosos e não inertes, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), mas que deve ter seu descarte na natureza devidamente controlado e evitado, aproveitando este coproduto da fabricação do aço para a reciclagem e posterior utilização em outras indústrias, com a de cimento, blocos de concreto, pavimentação, entre outras anteriormente discorridas.

A PNRS foi uma legislação federal, que vale para todo o território nacional, porém, na vanguarda legislativa, o estado de Pernambuco já possuía legislação sobre resíduos sólidos desde 2001, com a Política Estadual de Resíduos Sólidos, Lei Estadual 12.008/2001 (PERNAMBUCO, 2001). Tal legislação prevê que há necessidade da criação de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, inclusive como critério para licenciamento de algumas atividades poluidoras, como prevê o artigo 20 §§ 4º e 5º da norma, a qual se enquadra o setor metalúrgico e de transformação do ferro, como foi o da produção de aço:

Art. 20. O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - PGRS - deverá conter a estratégia geral dos responsáveis pela geração dos resíduos para proteger a saúde humana e o meio ambiente, especificar medidas que incentivem a conservação e recuperação de recursos e dar condições para a destinação final adequada.

[...]

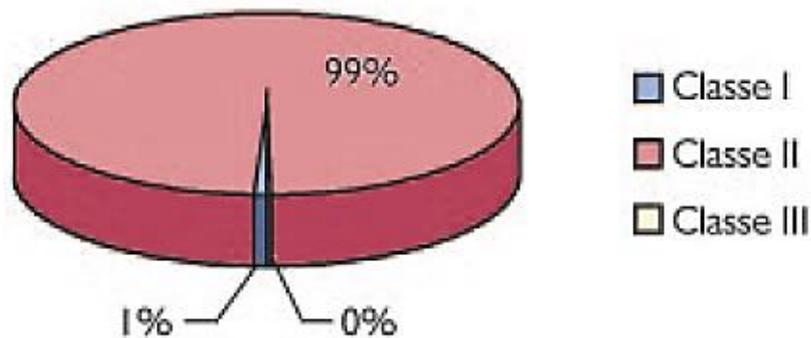
§4º Ficam sujeitos à elaboração e apresentação do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de que trata este artigo: os municípios; o setor industrial; os estabelecimentos de serviços de saúde; e demais fontes geradoras a serem definidas no regulamento desta Lei.

§5º Para os efeitos do inciso II do parágrafo anterior, consideram-se as seguintes atividades: extração de minerais; indústria metalúrgica; indústrias de produtos de minerais não metálicos; (PERNAMBUCO, 2001).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Segundo Inventário dos Resíduos Sólidos Industriais no Estado de Pernambuco (CPRH, 2001), um estudo pioneiro na área de quantificação da geração de resíduos da indústria da época, as escórias de aciaria são classificadas como classe II, que é a classe que mais gera resíduos no setor industrial, conforme representado na Figura 10.

Figura 10. Distribuição da Geração dos Resíduos Sólidos Industriais por Classe (t/ano)



Fonte: CPRH (2001, p. 28).

Ocorre que não existem dados atualizados acerca do assunto nos documentos oficiais do Governo do Estado, nem nos órgãos de classe, muito menos da empresa que atua no setor em Pernambuco, conforme levantamento bibliográfico realizado nos sites governamentais, do Instituto Aço Brasil, IBRAM Mineração do Brasil e da empresa Gerdau.

Segundo a evolução legislativa no estado de Pernambuco, em 2010 foi promulgada a Lei Estadual 14.236/2010 (PERNAMBUCO, 2010), que dispôs sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, enquadrando os resíduos industriais oriundos da mineração como um

BOF PROCESSADA NO BSSF.

resíduo sólido para tal política pública, tornando obrigatório o tratamento destes rejeitos antes do descarte direto na natureza, conforme aduz o artigo 3º, II da lei supramencionada.

Art. 3º Os resíduos sólidos enquadram-se nas seguintes categorias:

[...]

II - resíduos industriais: provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como, os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e de manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias e similares, inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água - ETAs e Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs; (PERNAMBUCO, 2010).

E dando continuidade à evolução legal sobre a temática, no ano 2012 foi promulgado o Decreto Estadual 38.483/2012 (PERNAMBUCO, 2012-a), que tornou obrigatória a observância, pela Administração Pública Direta e Indireta do Estado de Pernambuco, do Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Resíduos Sólidos, estendendo a obrigação de tratamento dos resíduos sólidos pela a máquina pública.

O total de Resíduos Sólidos Industriais, identificado no Plano Estadual de Resíduos Sólidos em Pernambuco, elaborado pela Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS) em 2012 (PERNAMBUCO, 2012-b), apresentou dados da quantidade de toneladas destes resíduos industriais por ano:

O total quantificado da geração de resíduos inventariados foi de 7.349.513,70 toneladas no citado ano. Com relação

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

à destinação final obteve-se que: 5,38% dos resíduos industriais produzidos não possuíam destino definido; 86,51% tiveram tratamento, disposição e reutilização na própria unidade industrial; e 8,11% tiveram tratamento, reutilização, reciclagem ou disposição final fora da unidade industrial. Do total produzido, 1,11% dos resíduos são classificados como perigosos, sendo compostos basicamente por: óleo lubrificante usado (60,6%); resíduos de laboratórios industriais (19,4%) e óleo combustível usado (2,6%) (PERNAMBUCO, 2012-b).

O que se nota nestes dados é que a maior parte destes resíduos são reutilizados pela própria indústria, com um percentual de 86,51% de reutilização, enquanto 8,11% teve como destino a reciclar, o que mostra um grande aproveitamento de matérias primas que seriam, provavelmente, descartados diretamente no meio ambiente.

Ocorre que não existem dados em Pernambuco sobre o aproveitamento das escórias de aciaria, mesmo havendo indústria de produção de aço na capital, nos inventários de resíduos do ano de 2001, 2003, nem mesmo nos planos de resíduos sólidos de 2012, ambos realizados pela agência estadual de meio ambiente de Pernambuco.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS

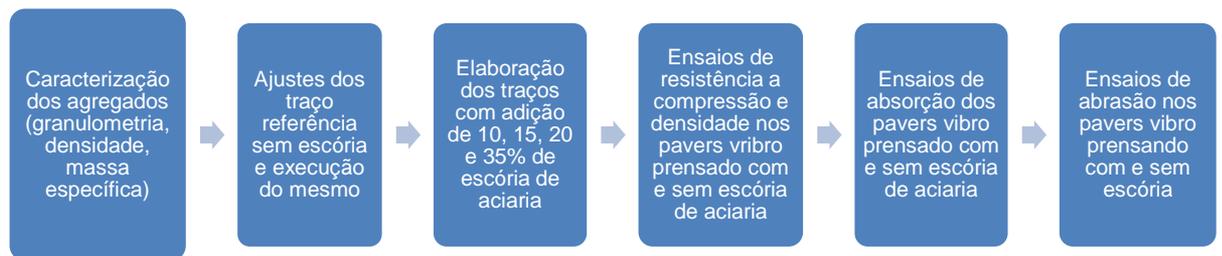
A pesquisa buscou avaliar a redução da quantidade de agregados naturais utilizada nos traços para fabricação de paver vibro prensado, adicionando a mistura de agregados a escória de aciaria, buscando desenvolver traços comparativos para avaliar as propriedades físicas e mecânicas. Para tanto, foi escolhida a metodologia qualitativa, a fim de compreender de forma ampla os fenômenos ocorridos.

Para atingir este objetivo, a pesquisa iniciou com a revisão da literatura, do tipo bibliográfica e de caráter exploratória, com bases secundárias que consistirá na busca de estudos atuais sobre a matéria, obtidos em artigos científicos, teses, livros, revistas conceituadas na área, entre outros.

As bases primárias foram obtidas por meio de estudo quantitativo às propriedades físico-químicas da escória de aciaria como substituto a agregados miúdos na fabricação do paver de vibro prensado, por meio de ensaios de: granulometria, massa específica e densidade aparente, de modo que, para esta comprovação, serão realizados ensaios físicos nos agregados, bem como será possível a execução de traços com diferentes combinações dos insumos, como o aglomerante, sendo ele o cimento, de forma harmonizada que será testificado através do ensaio de resistência à compressão no final de 28 dias após sua fabricação, para, então, se verificar a possibilidade da adição aos agregados pela escória de aciaria.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Para a persecução dos objetivos traçados, a metodologia se dividiu em cinco etapas, discriminadas a seguir:



1ª Etapa: Levantamento bibliográfico através da reunião de material literário para a composição da estrutura e argumentação sobre o tema proposto.

2ª Etapa: Pesquisar às empresas de fabricação de aço e o seu percentual de produção do coproduto escória de aciaria, bem como as empresas que produzem paver por meio de vibro prensado no estado do Ceará, que possam utilizar a escória como substituto ao granulado miúdo no processo de produção do paver.

3ª Etapa: Coletar dados quantitativos acerca da produção do coproduto da fabricação do aço, escória de aciaria, para realização de ensaios de granulometria, massa específica e densidade aparente, a fim de comparar com os agregados miúdos utilizados na fabricação do paver por vibro prensado.

4ª Etapa: Análise dos dados da pesquisa de campo, a fim de desenvolver traços para combinar os agregados com a escória para obter melhor compacidade dos agregados e repetir a execução de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

todos os traços utilizando escória, por meio da análise comparativa dos pavers fabricados com e sem escória, após obter o traço com a resistência característica (f_{pk}) de 35 MPa realizar ensaios de abrasão e absorção.

5ª Etapa: Avaliar por meio dos resultados das análises feitas nas etapas anteriores, se houve redução de custos com a substituição dos agregados por escória de aciaria, além da manutenção da qualidade do produto, bem como se esta adição tem condão de reduzir a emissão de rejeitos da produção do aço no meio ambiente.

3.1 ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizadas pesquisa de campo a empresas que trabalhem na produção de paver de vibro prensado, a fim de encontrar traços mais econômicos utilizando os agregados já existente no processo produtivo destas empresas ou reaproveitado de outras empresas da cadeia produtiva. Com isto, buscou-se a aprovação do traço com f_{pk} 35 MPa, para desenvolver traços com compacidade parecida com os estudos anteriores, porém utilizando em sua composição a escória de aciaria.

Para elaborar os traços foi necessário o estudo granulométrico existente nas empresas para possíveis alterações caso seja preciso. Após a obtenção do melhor traço para fabricação de paver vibro prensado utilizando escória foi realizado também ensaios de absorção e abrasão, que foram realizadas por um laboratório NUTEC/CE, que foi contratada pela própria Votorantim.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

3.1.1 Análise do traço de concreto referência

Antes de executar o traço na produção, foram realizados os estudos granulométricos para verificar se foi possível encontrar um traço mais econômico. A fábrica que produz o paver vibro prensado com altura 60 mm de 35 MPa e usa uma receita de traço (cimento, areia, cascalho). Para usar esse traço como referência foi realizado o ensaio de resistência a compressão para testificar se as peças atingem a resistência de 35 MPa exigido pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.1.2 Utilização do traço referência e início do estudo do traço referência

Após encontrar o traço 35 MPa com os agregados naturais, foi realizado o estudo de adicionar a escória na mistura dosada, a porcentagem vai depender do comportamento da curva da mistura, por isso foi realizado um traço com 10% 15% 20% 35% de escória, essa porcentagem será adicionada. Exemplo: se uso 100 kg por traço de agregados, para o traço com 20% de escória seria 20 kg de escória e 80 de agregados.

3.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O estudo granulométrico, pode ser definido como uma

BOF PROCESSADA NO BSSF.

distribuição do tamanho de partícula dos agregados, logo o ensaio consiste nos peneiramentos dos agregados da maior abertura para menor. Os ensaios de peneiramento devem ser executados conforme a descrição da norma NBR 248 (ABNT, 2003a), onde define parâmetros de pesagem e procedimentos para a realização do estudo.

Geralmente, antes do ensaio de granulometria, tanto de agregados graúdos quanto de miúdos, procede-se o ensaio de determinação do material pulverulento que consiste na lavagem do material passando pela peneira de malha 75 µm de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003a).

As peneiras utilizadas no ensaio de peneiramento possuem aberturas (malha) padronizadas sendo classificadas em: série normal e série intermediária. Na Tabela da norma contida no “ANEXO C” são apresentadas estas séries de peneiras e suas aberturas nominais (ABNT, 1997).

O ensaio foi executado seguindo os parâmetros da NBR 7217:1987, Determinação da composição granulométrica (ABNT, 1987). Além dos materiais necessários para realizar os ensaios, a NBR 7217 (ABNT, 1987) delimita a quantidade de amostras dos agregados que serão usados para teste de acordo com a Tabela da NBR 9781(ABNT, 2013). contida no “ANEXO C.1”

3.2.1. Massa específica e densidade aparente

Conforme a NBR 53 Agregado Graúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, NM 52 para agregado

BOF PROCESSADA NO BSSF.

miúdo. Para massa específica foi a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis (ABNT, 2003a). Para Fernandes (2015) esta determinação não são consideradas os espaços vazios entre os grãos, pois existem algumas maneiras para determinação da massa específica, o mais usual foi o frasco de Chapman e o picnômetro.

A Densidade aparente, também regida pela mesma norma, se encontrar o peso de cada material em relação ao volume ocupado, sem considerar os espaços vazios existente entre eles. Esse ensaio tem grande importância para auxilia no cálculo do consumo de cimento, onde se foi necessário a densidade aparente de todos os agregados (FERNANDES, 2015).

3.2.2 Água

A água tem grande influência na resistência do concreto, principalmente, pela relação água/cimento, ou seja, quanto mais água no concreto menor será a resistência. O cimento reage com água em forma de calor, para o concreto na produção de paver vibro prensado, a quantidade de água tem que ser controlada, para produzir peças com o menor consumo de água. Com a quantidade de água necessária para o cimento reagir será possível a realização da função do cimento, unir os grãos inertes na mistura. Esta queda de resistência com o excesso de água está relacionada ao aumento do micro porosidade da pasta ocasionada pelos vazios não utilizada na hidratação e também pelos micros capilares formados pela saída do

BOF PROCESSADA NO BSSF.

líquido quando da secagem do concreto (OLIVEIRA; CALLEJAS; DURANTE, 2020).

3.2.3 Ensaios de resistência a Compressão nos pavers ABNT – 9781/2013

Para se dar início ao rompimento dos pavers, foi necessário verificar se as peças têm o formato retangular, ou com dimensões próximas de um retângulo (ABNT, 2013).

Conforme o item 5.2 da NBR 9781 (ABNT, 2013), deve se observar as dimensões toleráveis para realizar os ensaios a compressão: a) Medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm; b) Medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão, conforme especificada no “ANEXO A”; c) Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm; d) Tolerâncias dimensionais ANEXO A (ABNT, 2013).

Para a Resistência característica à compressão deve seguir as determinações contida na NBR 9781, item 5.4 contida no ANEXO B. Para a realização dos ensaios a compressão deve-se coletar as amostras conforme ditado pela norma NBR 9781, contida no ANEXO B.1 (ABNT, 2013).

Os resultados devem ser obtidos em MPa, o resultado se dá dividindo a carga de ruptura, em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando o resultado pelo fator p , função da altura da peça,

BOF PROCESSADA NO BSSF.

conforme Tabela A.1 da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), os resultados têm de ser emitidos em forma de relatório contendo as seguintes informações: a) Identificação do lote; b) Idade do lote do início do ensaio; c) Medidas nominais de comprimento (c); d) Largura (l) e espessura (e) das peças, informado pelo fabricante; e) Medidas reais do comprimento (c); f) Largura (l) e espessura das peças das peças com aproximação de 0,1 mm.

3.2.4 Determinação do teor de material pulverulento NBR NM – 46/2003

Para se determinar o teor de material pulverulento da amostra selecionada, foi necessário obedecer a NBR NM 46/2003 (ABNT, 2003b), para que corroborasse os resultados do ensaio de granulometria, a fim de evitar descartes que pudessem interferir na amostra. O ensaio para avaliar o material pulverulento busca a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 75 μm , ou 0,075 mm, presentes nos agregados graúdos e miúdos.

A NBR NM 46/2003 estabelece que o agregado deverá ser determinado por lavagem, cujos materiais mais finos que a abertura de 0,075 mm ficará retido na peneira, devendo os materiais que se dispersarem na lavagem, tais como argila, serem removidos do agregado, durante o ensaio. Cabe salientar que a água utilizada no ensaio, também deve passar pela peneira.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

O resultado do ensaio será a média de duas determinações, servindo-as para informar os resultados de absorção de água com aproximação de 0,1% e a variação máxima permitida para duas determinações foi de 0,5% para agregado graúdo e 1,0% para agregado miúdo.

3.2.5 Índice de vazios

Os índices de vazios máximo e mínimo são parâmetros de entrada para a determinação da capacidade relativa. Esses índices devem ser determinados por meio de ensaios de laboratório, nos quais se correlacionam pesos e volumes conhecidos. Como existem diversos métodos para determinação desses índices, o presente trabalho visa comparar algumas metodologias diferentes e avaliar as diferenças nos resultados obtidos (TIEDEMANN, 1973).

As diferenças de valores obtidos na determinação do índice de vazios mínimo por diferentes métodos, são maiores do que as equivalentes do índice de vazios máximo. Alguns autores já observaram a existência dessa variação entre métodos, e o índice de vazios mínimo foi o que possui maior dispersão (BLAKER, et al., 2015).

A capacidade relativa exprime o estado em que o solo se encontra em relação aos limites extremos de índice de vazios, índice físico que determina o comportamento mecânico dos solos (LEE; SEED, 1967). Foi importante uma boa curva granulométrica de forma

BOF PROCESSADA NO BSSF.

que obtenha um bom arranjo entre os grãos fazendo diminuir o máximo de vazios entre eles (FERNANDES, 2015).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Foi realizado os ensaios de granulometria em todos os agregados utilizados pela a empresa estudada na fabricação de paver vibro prensado a fim de analisar a curva granulométrica e possíveis arranjos das proporções do traço de concreto. Os ajustes podem ser necessários para diminuir o índice de vazios entre os agregados que impacta diretamente no consumo de cimento e resistência a compressão.

O método utilizado foi o do livro Blocos e Paviers do autor Idário Fernandes (FERNANDES, 2016), ao qual delimita os limites inferior e superior da curva granulométrica considerando os melhores arranjos entre os grãos. Quando mais a curva granulométrica se aproxima do limite superior maior será a resistência do concreto, porém podendo ter perdas de acabamento caso o limite superior seja ultrapassado. Quando a curva granulométrica se aproxima do limite inferior demonstra que o paver perde resistência, porém a peça fica mais lisa e com mais acabamento.

O que foi importante nessa análise foi sempre considerar que os paviers não devem ter sua superfície com acabamento liso e sim mais áspero aumentando a zona de atrito durante o uso em pavimentos principalmente em zonas de tráfegos de veículos. Além das proporções empacotadas dos agregados durante a execução foi

BOF PROCESSADA NO BSSF.

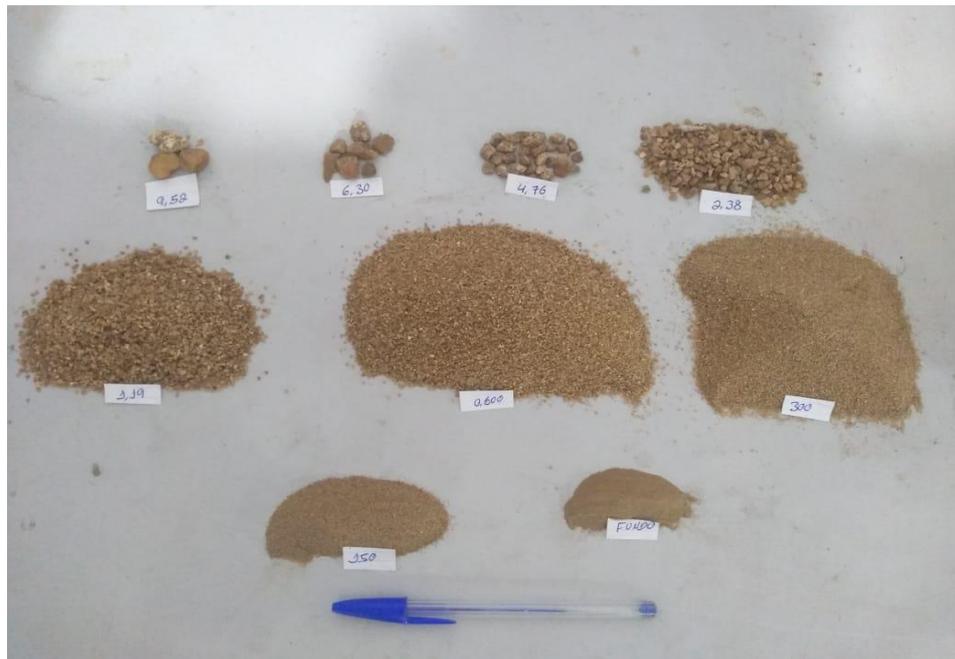
analisado a chamada umidade ótima da mistura, onde se encontra a umidade entre 6% a 8% indicativo de que a mistura está no ponto ideal para ser vibrada e prensada.

A escória de aciaria tem materiais passantes nas peneiras acima de 9,5 mm sendo necessário peneirar todo o material padronizando o material a partir da peneira 4,7 mm.

3.3.1 Caracterização da areia natural

A areia natural na utilização como agregado miúdo precisa passar pelo ensaio de granulometria onde são separados os materiais retidos em cada peneira como mostra a Figura 11.

Figura 11. Materiais retidos nas peneiras de areia natural.



Fonte: Autoria própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Após a areia natural passar pelo peneiramento foi possível analisar a sua distribuição granulométrica, como mostra as pesagens retidas em cada peneira, conforme demonstrado na figura anterior. Na Tabela 4, foi possível notar os materiais retido e acumulado. Areia natural foi caracterizado como agregado miúdo com módulo de finura de 3,05 mm densidade aparente 1,37 g/cm³ e massa específica 2,63 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento da areia natural foi de 0,5% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

Tabela 4. Distribuição granulométrica da areia natural.

Distribuição Granulométrica dos Materiais			
Peneiras (mm)	Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50	0,00	0,00%	0,00%
9,50	7,50	1,50%	1,50%
6,30	6,10	1,22%	2,72%
4,80	7,60	1,52%	4,24%
2,40	29,20	5,85%	10,09%
1,20	89,30	17,88%	27,97%
0,60	197,70	39,58%	67,55%
0,30	137,20	27,47%	95,02%
0,15	19,30	3,86%	98,88%
Fundo	5,60	1,12%	100,00%
Total	499,50	100,00%	
Módulo de Finura (mm)		3,05	
Densidade aparente (kg/l)		1,37	
Massa específica (kg/l)		2,63	
Índice de vazios		0,48	

Fonte: Autoria própria (2021).

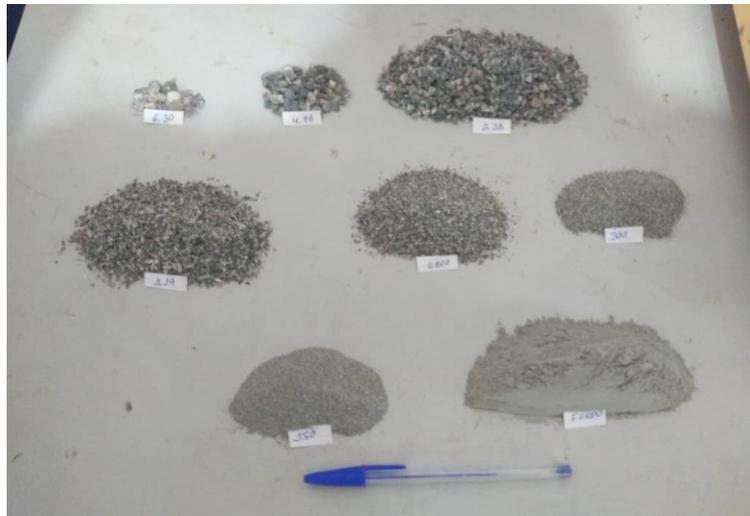
BOF PROCESSADA NO BSSF.

Os ensaios físicos realizados na areia natural foram importantes para a elaboração dos traços de concreto seco, através dos ensaios foi possível verificar os melhores arranjos entre os agregados diminuindo os vazios e impactando no acabamento e na resistência final dos pavers vibro prensado.

3.3.2 Caracterização do pó de brita

O pó de brita na utilização como agregado miúdo precisa passar pelo ensaio de granulometria onde são separados os materiais retidos em cada peneira como mostra a Figura 12.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 12. Materiais retidos em cada peneira de pó de brita.

Fonte: Autoria própria (2021).

Após o pó de brita passar pelo peneiramento foi possível analisar a sua distribuição granulométrica, como mostra as pesagens retidas em cada peneira, conforme demonstrado na figura anterior. Na Tabela 5, foi possível notar os materiais retido e acumulado. O pó de brita foi caracterizado como agregado miúdo com módulo de finura de 3,35 mm densidade aparente 1,31 g/cm³ e massa específica 2,70 kg/l, índice de vazios 0,51. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,8% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

Tabela 5. Distribuição granulométrica do pó de brita.**Distribuição Granulométrica dos Materiais**

Peneiras (mm)	Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50		0,00%	0,00%

BOF PROCESSADA NO BSSF.			
9,50		0,00%	0,00%
6,30	5,80	1,16%	1,16%
4,80	16,40	3,28%	4,44%
2,40	166,10	33,21%	37,64%
1,20	101,20	20,23%	57,88%
0,60	68,30	13,65%	71,53%
0,30	35,60	7,12%	78,65%
0,15	33,30	6,66%	85,31%
Fundo	73,50	14,69%	100,00%
Total	500,20	100,00%	
Módulo de Finura		3,35	
Densidade aparente (kg/l)		1,31	
Massa específica (kg/l)		2,70	
Índice de vazios		0,51	

Fonte: Autoria própria (2021).

Os ensaios físicos realizados no pó de brita foram importantes para a elaboração dos traços de concreto seco, através dos ensaios foi possível verificar os melhores arranjos entres os agregados diminuindo os vazios e impactando no acabamento e na resistência final dos pavers vibro prensado.

3.3.3 Caracterização da brita 9,5 mm

A brita 9,5 mm na utilização como agregado graúdo precisa passar pelo ensaio de granulometria onde são separados os materiais retidos em cada peneira como mostra a Figura 13.

Figura 13. Materiais retidos em cada peneira da brita 9,5 mm.

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a brita 9,5 mm passar pelo peneiramento foi possível analisar a sua distribuição granulométrica, como mostra as pesagens retidas em cada peneira, conforme demonstrado na figura anterior. Na Tabela 6, foi possível notar os materiais retido e acumulado. A brita 9,5 mm foi caracterizado como agregado graúdo com módulo de finura de 6,01 mm densidade aparente 1,31 g/cm³ e massa específica 2,70 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,5% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

Tabela 6. Distribuição granulométrica de brita 9,5 mm.

Distribuição Granulométrica dos Materiais

Peneiras mm)	(Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
-----------------	--------------	------------	------------------

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.			
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50		0,00%	0,00%
9,50	80,10	8,01%	8,01%
6,30	606,10	60,59%	68,59%
4,80	259,10	25,90%	94,49%
2,40	51,10	5,11%	99,60%
1,20	0,20	0,02%	99,62%
0,60	0,30	0,03%	99,65%
0,30	0,50	0,05%	99,70%
0,15	0,70	0,07%	99,77%
Fundo	2,30	0,23%	100,00%
Total	1000,40	100,00%	
Módulo de Finura		6,01	
Densidade aparente (kg/l)		1,40	
Massa específica (kg/l)		2,70	
Índice de vazios		0,48	

Fonte: Autoria própria (2021).

Os ensaios físicos realizados na brita 9,5 mm foram importantes para a elaboração dos traços de concreto seco, através dos ensaios foi possível verificar os melhores arranjos entre os agregados diminuindo os vazios e impactando no acabamento e na resistência final dos pavers vibro prensado.

3.3.4 Caracterização Escória de aciaria BSSF

A escória de aciaria estudada tem uma grande variação granulométrica como mostra a Tabela 7 e com materiais retidos na peneira 12,5 mm dificultado o uso em máquinas de vibro prensa, o uso de agregados de maiores diâmetros geram grandes desgastes nas

BOF PROCESSADA NO BSSF.

formas metálicas além de dificultar a vibração e prensagem da mistura.

Tabela 7. Distribuição granulométrica da escória.

Distribuição Granulométrica dos Materiais			
Peneiras (mm)	Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50	3,66	0,37%	0,37%
9,50	9,08	0,91%	1,27%
6,30	41,16	4,12%	5,39%
4,80	106,09	10,61%	16,00%
2,40	335,88	33,59%	49,59%
1,20	249,52	24,95%	74,54%
0,60	177,68	17,77%	92,31%
0,30	60,80	6,08%	98,39%
0,15	13,79	1,38%	99,77%
Fundo	2,32	0,23%	100,00%
Total	999,98	100,00%	

Fonte: Autoria própria (2021).

Assim, conseguiu se extrair os dados específicos ao caso, que foram apresentados na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8. Dados específicos da distribuição granulométrica da escória.

Distribuição Granulométrica dos Materiais	
Módulo de Finura (mm)	4,32
Densidade aparente (kg/l)	1,90
Massa específica (kg/l)	3,68
Índice de vazios	0,48

Fonte: Autoria própria (2021).

Após a escória de aciaria passar pelo peneiramento foi possível analisar a sua distribuição granulométrica, como mostra as pesagens

BOF PROCESSADA NO BSSF.

retidas em cada peneira, conforme demonstrado na Tabela anterior. Na Tabela 7, foi possível notar os materiais retido e acumulado. A escória de aciaria foi caracterizada como agregado graúdo com módulo de finura de 4,32 mm densidade aparente 1,9 kg/l e massa específica 3,68 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,4% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

Diante disso foi necessário retirar os materiais retidos a partir das peneiras superiores a 4,7 mm para a obtenção de um material mais controlado e mais fino, gerando uma nova granulometria descrito na Tabela 9.

Tabela 9. Distribuição granulométrica da escória, nova granulometria.

Distribuição Granulométrica dos Materiais			
Peneiras (mm)	Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50		0,00%	0,00%
9,50	0,00	0,00%	0,00%
6,30	0,00	0,00%	0,00%
4,80	0,00	0,00%	0,00%
2,40	432,80	43,26%	43,26%
1,20	302,20	30,20%	73,46%
0,60	182,60	18,25%	91,71%
0,30	64,20	6,42%	98,13%
0,15	15,90	1,59%	99,72%
Fundo	2,80	0,28%	100,00%
Total	1000,50	100,00%	

Fonte: Autoria própria (2021).

Logo, chegou aos dados da nova granulometria, para a obtenção de um material mais controlado e fino descrito na Tabela 10:

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 10. Distribuição granulométrica da escória, nova granulometria.

Módulo de Finura (mm)	4,06
Densidade aparente (kg/l)	1,40
Massa específica (kg/l)	2,62
Índice de vazios	0,47

Fonte: Autoria própria (2021).

Após a escória de aciaria passar pelo peneiramento foi possível analisar a sua distribuição granulométrica, como mostra as pesagens retidas em cada peneira, conforme demonstrado na Tabela anterior. Na Tabela 9, foi possível notar os materiais retido e acumulado. A escória de aciaria foi caracterizada como agregado miúdo com módulo de finura de 4,06 mm densidade aparente 1,9 kg/l e massa específica 3,68 kg/l, índice de vazios 0,47. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,4% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

3.4 ANÁLISE DO TRAÇO USADO PELA EMPRESA ESTUDADA

Durante a produção, os traços de concreto seco ensaiados foram referentes aos pavers vibro prensado com resistência característica (f_{pk}) de 35 MPa, tal qual observou-se na Tabela 11 o traço utilizado na produção.

Tabela 11. Distribuição granulométrica da mistura.

Traço Referência	Pesagem(kg)	Proporção	Porcentagem agregados%
Cimento	209	1	
Areia natural	420	2,01	34,57
Pó de brita	345	0,82	28,40
Brita 0	450	1,30	37,04
Total de agregados	1215		

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Total da mistura 1424

Fonte: Autoria própria (2021).

Através da distribuição granulométrica mostrado na Tabela 12 junto com as proporções do traço foi possível notar que a mistura estava com falta de finos e ficando acima dos limites granulométricos como mostra na figura 14.

Tabela 12. Distribuição Granulométrica Mistura Atual.

Peneiras (mm)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00	0,00%	0,00%
37,50	0,00%	0,00%
31,50	0,00%	0,00%
25,00	0,00%	0,00%
19,00	0,00%	0,00%
12,50	0,00%	0,00%
9,50	2,53%	2,53%
6,30	16,04%	18,56%
4,80	8,32%	26,88%
2,40	16,61%	43,49%
1,20	14,36%	57,84%
0,60	19,32%	77,17%
0,30	12,47%	89,64%
0,15	4,03%	93,67%
Fundo	6,33%	100,00%
Total	100,00%	
Módulo de Finura		3,91

Fonte: Autoria própria (2021).

Assim, foi possível notar a distribuição granulométrica de toda a mistura e o módulo de finura, sendo de 3,91 mm considerando os agregados naturais e suas proporções usada na usina de concreto. Analisando a curva granulométrica da mistura nota-se que para otimizar o traço e melhorar a curva da mistura foi-se necessário diminuir o agregado graúdo e aumentar a quantidade dos agregados

BOF PROCESSADA NO BSSF.

miúdos, diante dessa análise o traço sugerido foi o descrito na Tabela 13.

Diante disso, foi necessário um arranjo no traço mudando as proporções para aumentar o percentual de finos e melhorar a curva granulométrica da mistura. A distribuição granulométrica da mistura foi importante para avaliar a compacidade dos agregados.

Tabela 13. Proporção sugerida dos agregados na mistura (%).

Material	Proporção (%)	Material	Proporção (%)
AREIA NATURAL	40%	Brita 9,5	20%
Pó de brita	40%	Escória	0%

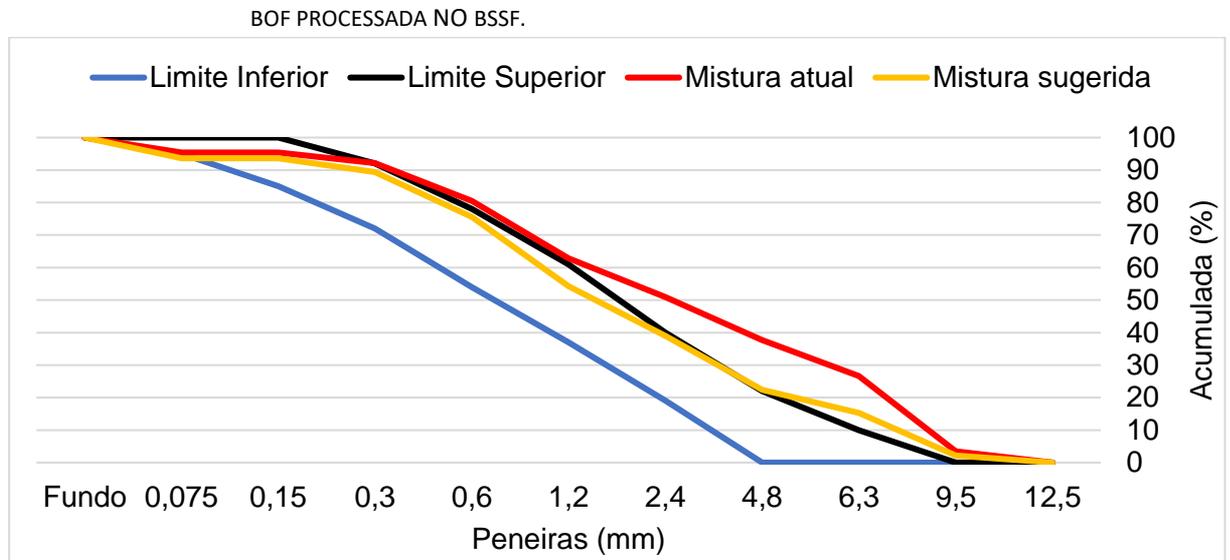
Fonte: Autoria própria (2021).

As proporções sugeridas foram originadas a partir da curva granulométrica já existente, cujo objetivo foi mesclar as proporções dos agregados até a curva se aproximar dos limites superior e inferior. A curva granulométrica da mistura como mostra na figura 14 está um pouco acima do limite superior indicando alta resistência.

Figura 14. Curva Granulométrica da mistura analisada.

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014



Fonte: Autoria própria (2021).

Para a obtenção da mistura ótima com o melhor empacotamento dos agregados foi necessário ajustar a curva granulométrica da mistura como mostra a figura anterior, diminuindo o percentual de brita 9,5 mm e aumentando a quantidade de finos na mistura, a curva sugerida entra dentro das curvas limites e mais próxima do limite superior. Diante do que foi exposto faz-se necessário tratar sobre a adição da escória de aciaria no traço de concreto seco na produção de paver vibro prensado.

3.4 ADIÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA NO TRAÇO

Para a adição de escória foi considerado o traço sugerido como o traço referência. A escória foi passada por um peneiramento na peneira 4,5 mm para retirar os grãos maiores e controlar mais o material. O objetivo dos traços com escória foi manter o mais próximo

BOF PROCESSADA NO BSSF.

da curva granulométrica da mistura do traço referência mantendo assim o desempenho do concreto sem alterar o consumo de cimento.

3.4.1 Adição de 10% de escória na mistura

A adição da escória foi iniciada com o percentual de 10% de todos os agregados da mistura, ajustando as proporções dos agregados conforme a curva granulométrica do traço referência. Adicionando 10% de escória na mistura foi possível notar pequenas variações na mistura como mostra a Tabela 14.

Tabela 14. Granulometria da mistura analisada, com adição de 10% de escória.

Abertura (mm)	Retida (%)		Acumulada (%)	
	Atual	Sugerida	Atual	Sugerida
31,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9,5	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%
6,3	13,0%	13,1%	15,2%	15,3%
4,8	6,8%	7,1%	21,9%	22,4%
2,4	17,6%	16,6%	39,6%	39,0%
1,2	16,2%	15,2%	55,8%	54,3%
0,6	21,8%	21,3%	77,6%	75,6%
0,3	13,8%	13,8%	91,4%	89,4%
0,15	3,7%	4,2%	95,1%	93,6%
Fundo	4,93%	6,37%	100%	100%
TOTAL	100%	100%		
Módulo de finura			3,84	3,76

Fonte: Autoria própria (2021).

Para a adição de 10% de escória de aciaria foi possível notar que na dosagem com a escória o módulo de finura foi de 3,84 mm,

BOF PROCESSADA NO BSSF.

enquanto o traço sem escória de 3,76 mm, demonstrando características granulométricas com valores próximos. Através da inserção da escória na mistura foi possível obter um traço com características granulométricas próximo ao traço referência, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 10% de escória.

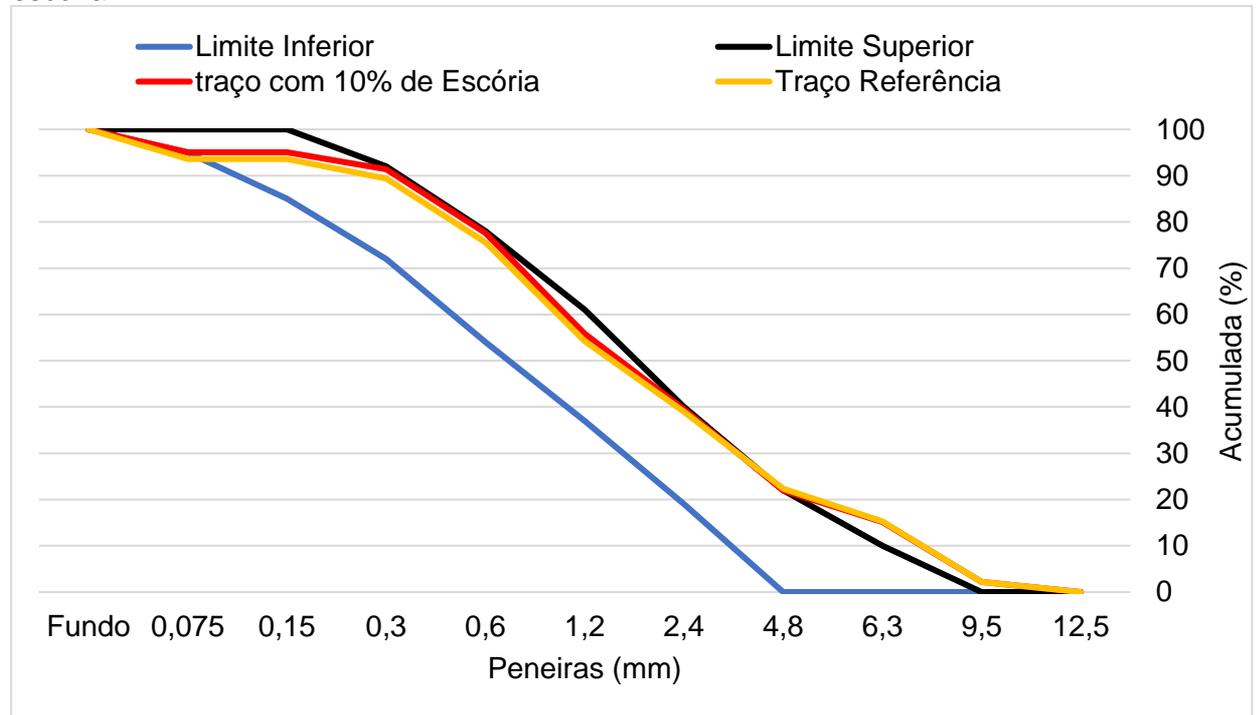
Material	Proporção com escória (%)	Proporção atual (%)
AREIA NATURAL	40,0%	40,0%
Pó de brita	30,0%	40,0%
Brita 9,5 mm	20,0%	20,0%
Escória	10,0%	0,0%

Fonte: Autoria própria (2021).

A curva granulométrica da mistura sugerida foi a referência para os demais traços com adição de escória de aciaria, com o objetivo de aproximar a curva granulométrica dos traços com adição de escória com a curva sugerida. Para a adição de 10% foi possível diminuir o pó de brita e adicionar a escória, ambas as curvas ficaram próximas como mostra a figura 15.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 15. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 10% de escória.



Através da curva granulométrica com as proporções teóricas e o traço referência foi possível determinar a pesagem e proporção do traço com a adição de 10% de escória de aciaria na fabricação de pavers como mostra na Tabela 16.

Tabela 16. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 10% de escória.

Traço Escória	10%	Pesagem(kg)	Proporção	Porcentagem agregados %
Cimento		209	1	
Areia natural		486	2,33	40,00
Escória		121,5	0,58	10,00
Pó de brita		364,5	0,75	30,00
Brita 9,5 mm		243	0,67	20,00

	BOF PROCESSADA NO BSSF.	
Total	de	
agregados		1215
Total da mistura		1424

Fonte: Autoria própria (2021).

Através do traço definido com 10% de escória foi executado e as amostras separadas para a realização dos ensaios no estado endurecido do concreto.

3.4.2 Adição de 15% de escória na mistura

A adição da escória com o percentual de 15% da mistura foi ajustada nas proporções dos agregados conforme a curva granulométrica do traço referência, adicionando 15% de escória na mistura foi possível notar pequenas variações na distribuição granulométrica como mostra a Tabela 17.

Tabela 17. Granulometria da mistura analisada, com adição de 15% de escória.

Abertura (mm)	Retida (%)		Acumulada (%)	
	Atual	Sugerida	Atual	Sugerida
31,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9,5	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%
6,3	13,1%	12,9%	15,3%	15,1%
4,8	7,1%	6,6%	22,4%	21,7%
2,4	16,6%	18,2%	39,0%	39,9%
1,2	15,2%	16,7%	54,3%	56,6%
0,6	21,3%	22,0%	75,6%	78,6%
0,3	13,8%	13,7%	89,4%	92,3%
0,15	4,2%	3,5%	93,6%	95,8%
Fundo	6,37%	4,21%	100%	100%

	BOF PROCESSADA NO BSSF.			
TOTAL	100%	100%		
Módulo de finura			3,76	3,87

Fonte: Autoria própria (2021).

Para a adição de 15% de escória de aciaria foi possível notar que na dosagem com a escória o módulo de finura foi de 3,87 mm, enquanto o traço sem escória de 3,76 mm, demonstrando características granulométricas com valores próximos. Através da inserção da escória na mistura foi possível obter um traço com características granulométricas próximo ao traço referência, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 15% de escória.

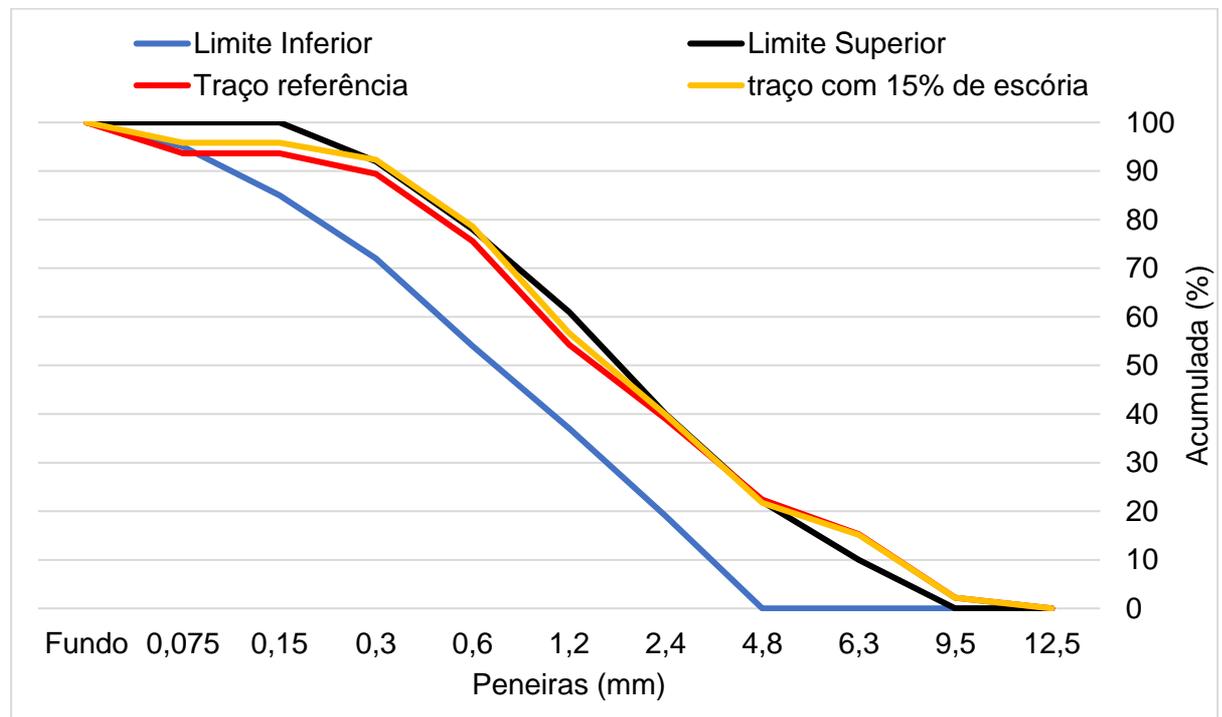
Material	Proporção atual (%)	Proporção com escória 15(%)
AREIA NATURAL	40,0%	40,0%
Pó de brita	40,0%	25,0%
Brita 9,5 mm	20,0%	20,0%
Escória	0,0%	15,0%

Fonte: Autoria própria (2021).

A curva granulométrica da mistura sugerida foi a referência para os demais traços com adição de escória de aciaria, com o objetivo de aproximar a curva granulométrica dos traços com adição de escória com a curva sugerida. Para a adição de 15% foi possível diminuir o pó de brita e adicionar a escória, ambas as curvas ficaram próximas como mostra a figura 16.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 16. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 15% de escória.



Através da curva granulométrica com as proporções teóricas e o traço referência foi possível determinar a pesagem e proporção do traço com a adição de 15% de escória de aciaria na fabricação de pavers vibro prensado como mostra na Tabela 19.

Tabela 19. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 15% de escória.

Traço 15% de Escória	Pesagem(kg)	Proporção	Porcentagem agregados%
Cimento	209	1	
Areia natural	486	2,33	40,00
Pó de brita	303,75	1,45	25,00
Escória	182,25	0,87	15,00
Brita 9,5 mm	243	1,16	20,00

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Total de agregados	1215
Total da mistura	1424

Fonte: Autoria própria (2021).

Através do traço definido com 15% de escória foi executado e as amostras separadas para a realização dos ensaios no estado endurecido do concreto.

3.4.3 Adição de 20% de escória na mistura

A adição da escória com o percentual de 20% da mistura foi ajustada nas proporções dos agregados conforme a curva granulométrica do traço referência, adicionando 20% de escória na mistura foi possível notar pequenas variações na mistura como mostra a Tabela 20.

Tabela 20. Granulometria da mistura analisada, com adição de 20% de escória.

Abertura (mm)	Retida (%)		Acumulada (%)	
	Atual	Sugerida	Atual	Sugerida
31,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9,5	2,2%	2,1%	2,2%	2,1%
6,3	13,1%	12,8%	15,3%	14,9%
4,8	7,1%	6,6%	22,4%	21,5%
2,4	16,6%	21,4%	39,0%	42,9%
1,2	15,2%	17,5%	54,3%	60,4%
0,6	21,3%	19,6%	75,6%	80,0%
0,3	13,8%	11,7%	89,4%	91,7%
0,15	4,2%	3,5%	93,6%	95,2%
Fundo	6,37%	4,85%	100%	100%
TOTAL	100%	100%		
Módulo de finura			3,76	3,94

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Fonte: Autoria própria (2021).

Para a adição de 20% de escória de aciaria foi possível notar que na dosagem com a escória o módulo de finura foi de 3,94 mm, enquanto o traço sem escória de 3,76 mm, demonstrando características granulométricas com valores próximos. Através da inserção da escória na mistura foi possível obter um traço com características granulométricas próximo ao traço referência, como mostra a Tabela 21.

Tabela 21. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 20% de escória.

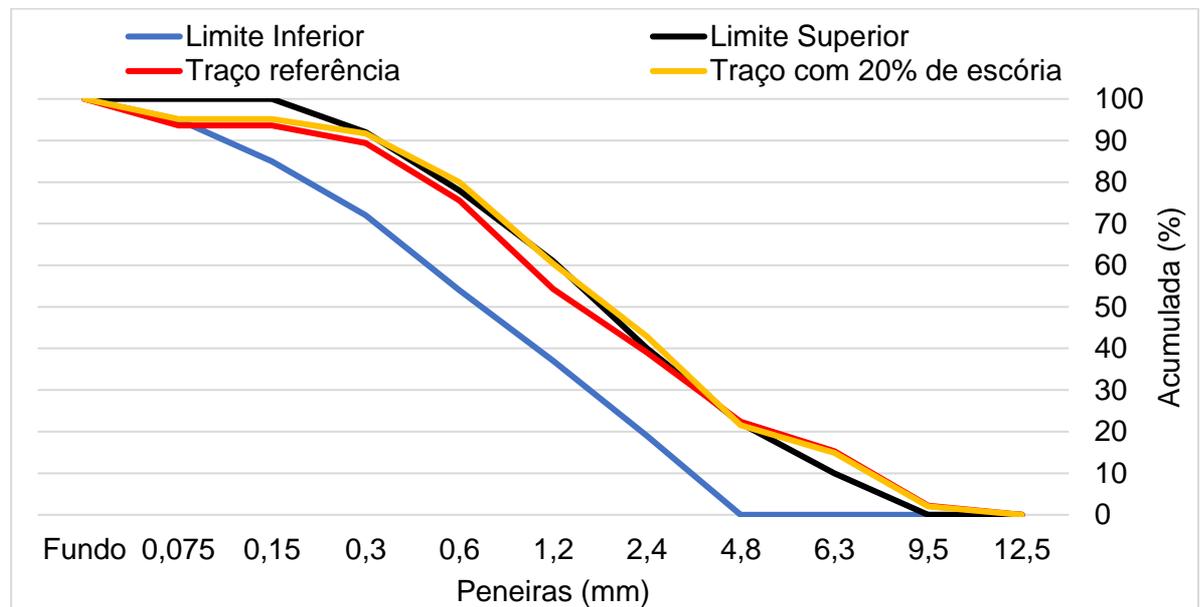
Material	Proporção atual (%)	Proporção sugerida (%)
Areia natural	40,0%	30,0%
Pó de brita	40,0%	30,0%
Brita 9,5 mm	20,0%	20,0%
Escória	0,0%	20,0%

Fonte: Autoria própria (2021).

A curva granulométrica da mistura sugerida foi a referência para os demais traços com adição de escória de aciaria, com o objetivo de aproximar a curva granulométrica dos traços com adição de escória com a curva sugerida. Para a adição de 20% foi possível diminuir a areia natural e o pó de brita adicionando a escória, ambas as curvas ficaram próximas como mostra a figura 17.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 17. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 20% de escória.



Fonte: Autoria própria (2021).

Através da curva granulométrica com as proporções teóricas e o traço referência foi possível determinar a pesagem e proporção do traço com a adição de 20% de escória de aciaria na fabricação de pavers como mostra na Tabela 22.

Tabela 22. Traço a ser testado da mistura analisada adição de 20% de escória.

Traço 20% de Escória	Pesagem(kg)	Proporção	Porcentagem agregados%
Cimento	209	1	
Areia natural	364,5	1,74	30,00
Pó de brita	364,5	1,74	30,00
Escória	243	1,16	20,00
Brita 9,5 mm	243	1,16	20,00
Total de agregados	1215		
Total da mistura	1424		

Fonte: Autoria própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Através do traço definido com 20% de escória foi executado e as amostras separadas para a realização dos ensaios no estado endurecido do concreto.

3.4.4 Adição de 35% de escória na mistura

A adição da escória com o percentual de 35% da mistura foi ajustada nas proporções dos agregados conforme a curva granulométrica do traço referência, adicionando 35% de escória na mistura foi possível notar pequenas variações na mistura como mostra a Tabela 23.

Tabela 23. Granulométrica da mistura analisada adição de 35% de escória.

Abertura (mm)	Retida (%)		Acumulada (%)	
	Atual	Sugerida	Atual	Sugerida
31,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9,5	2,2%	2,1%	2,2%	2,1%
6,3	13,1%	12,7%	15,3%	14,7%
4,8	7,1%	6,1%	22,4%	20,8%
2,4	16,6%	22,9%	39,0%	43,7%
1,2	15,2%	19,0%	54,3%	62,7%
0,6	21,3%	20,3%	75,6%	83,0%
0,3	13,8%	11,6%	89,4%	94,6%
0,15	4,2%	2,7%	93,6%	97,3%
Fundo	6,37%	2,68%	100%	100%
TOTAL	100%	100%		
Módulo de finura			3,76	4,04

Fonte: Autoria própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Para a adição de 35% de escória de aciaria foi possível notar que na dosagem com a escória o módulo de finura foi de 4,04 mm, enquanto o traço sem escória de 3,76 mm, demonstrando características granulométricas com valores próximos. Através da inserção da escória na mistura foi possível obter um traço com características granulométricas próximo ao traço referência, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24. Proporção dos agregados na mistura, com adição de 35% de escória.

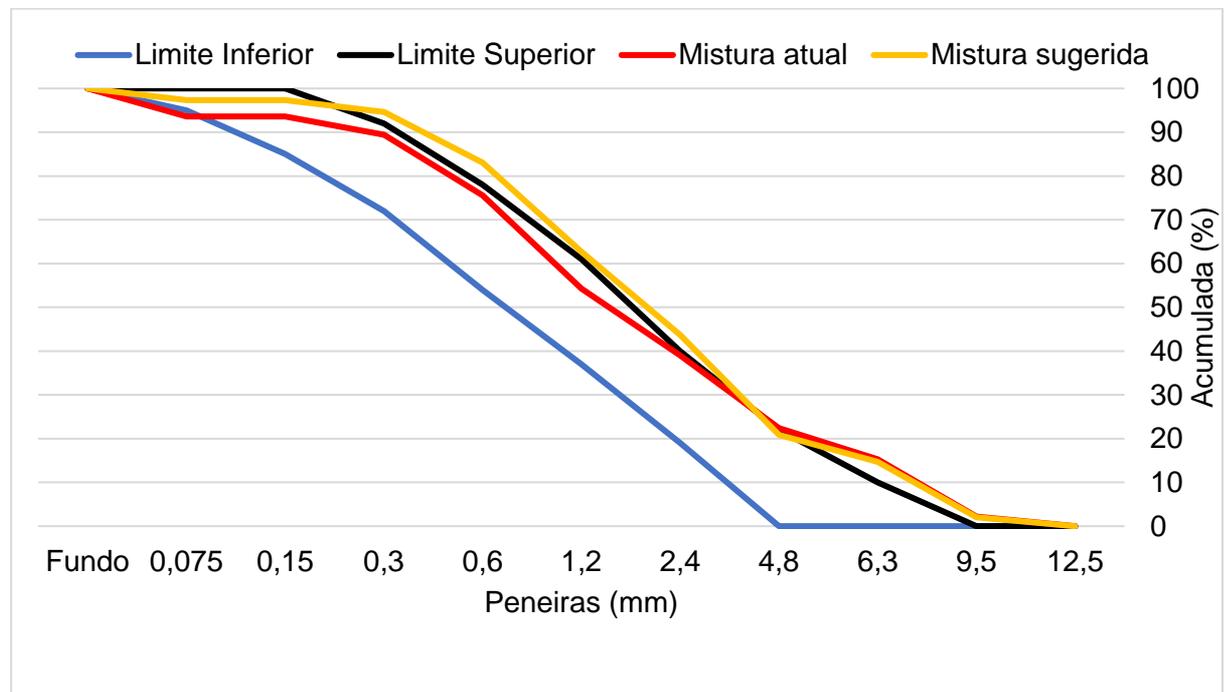
Material	Proporção atual (%)	Proporção sugerida (%)
AREIA NATURAL	40,0%	30,0%
Areia artificial	40,0%	15,0%
Brita 9,5 mm	20,0%	20,0%
Escória	0,0%	35,0%

Fonte: Autoria própria (2021).

A curva granulométrica da mistura sugerida foi a referência para os demais traços com adição de escória de aciaria, com o objetivo de aproximar a curva granulométrica dos traços com adição de escória com a curva sugerida. Para a adição de 35% foi possível diminuir a areia natural e o pó de brita adicionando a escória, ambas as curvas ficaram próximas como mostra a figura 18.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 18. Curva Granulométrica da mistura analisada adição de 35% de escória.



Fonte: Autoria própria (2021).

Através da curva granulométrica com as proporções teóricas e o traço referência foi possível determinar a pesagem e proporção do traço com a adição de 35% de escória de aciaria na fabricação de pavos vibro prensado como mostra na Tabela 25.

Tabela 25. Proporção a ser testado da mistura analisada adição de 35% de escória.

Traço 35% de Escória	Pesagem(kg)	Proporção	Porcentagem agregados%
Cimento	209	1	
Areia natural	364,5	1,74	30,00
Pó de brita	182,25	0,87	15,00
Escória	425,25	2,03	35,00
Brita 9,5 mm	243	1,16	20,00

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Total de agregados	1215
Total da mistura	1424

Fonte: Autoria própria (2021).

Através do traço definido com 35% de escória foi executado e as amostras separadas para a realização dos ensaios no estado endurecido do concreto.

3.5 LOCAL DA PESQUISA

Constituída em 2008, a Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP) foi uma *joint venture* binacional formada pela brasileira Vale (50% de participação), uma das maiores mineradoras do mundo em minério de ferro, e pelas sul-coreanas Dongkuk (30%), maior compradora mundial de placas de aço, e Posco (20%), 4ª maior siderúrgica do mundo e a primeira na Coreia do Sul. Com investimento da ordem de US\$ 5,4 bilhões, a CSP foi a primeira usina integrada no Nordeste e a trigésima instalada no Brasil. Na figura 19, 20 e 21 tem-se a imagem aérea do armazenamentos dos produtos.

Figura 19. Armazenamentos de coproduto



Fonte: Siderúrgica CSP (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Localizada em uma área de 571 hectares, a CSP integra o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), no Ceará, dentro da primeira Zona de Processamento de Exportação (ZPE) brasileira, fatores fundamentais para garantir ampla competitividade ao produto nacional.

A usina, uma das mais modernas do Brasil e do mundo, iniciou a produção de placas de aço em junho de 2016. A produção foi voltada para geração de produtos laminados de alta qualidade para a indústria naval, de óleo & gás, automotiva e construção civil. A capacidade instalada foi de 3 milhões de toneladas de placas de aço/ano nesta primeira fase do projeto.

Figura 20. Siderurgica CSP.



Fonte: Siderúrgica CSP (2021).

A CSP foi uma indústria moderna, com tecnologia limpa e de ponta que tem como diretriz a sustentabilidade em todos seus aspectos – ambiental, social e econômica. Um dos compromissos da companhia foi dar oportunidade para o maior número possível de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

profissionais do Ceará, sendo que já conta com cerca de 70% de cearenses em seu quadro funcional.

Figura 21. Siderurgica CSP



Fonte: Siderurgica CSP (2021).

Material produzido a partir da geração da escória de aciaria pela indústria CSP localizada em Pecém/CE, através de tratamento hidrodinâmico de resfriamento brusco com moagem acoplada. Processo patenteado pela *Baosteel Engineering e Technology Group*, denominado comercialmente como *Baosteel Slag Short Flow* (BSSF).

3.5.1 Escória de aciaria tecnologia BSSF

Durante a produção da escória de aciaria na fabricação do aço o tratamento após a saída do processo siderúrgico da expansividade do material foi importante para se adequar a vários tipos de uso, principalmente como agregado, o tratamento consiste em processos

BOF PROCESSADA NO BSSF.

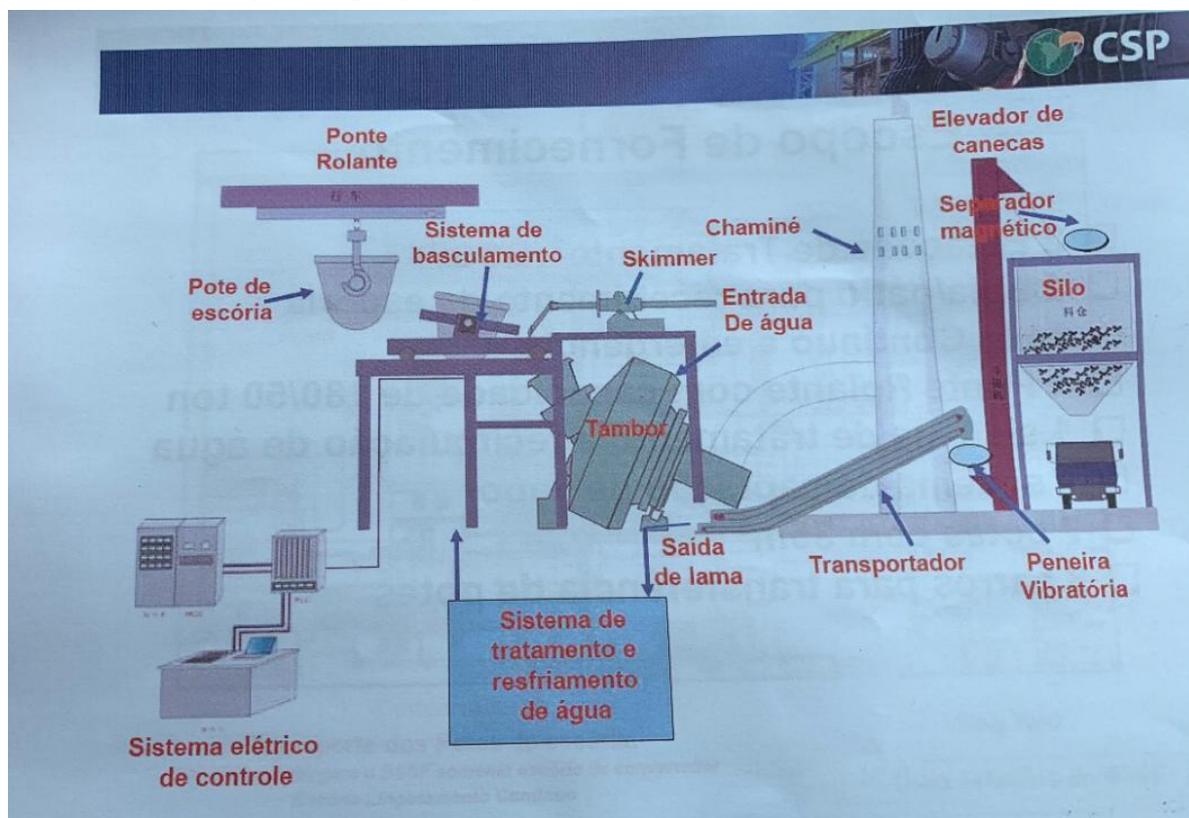
de molhagem que podem levar meses para inibir a expansividade, no entanto em 1995 a BAOSTEEL começou a desenvolver um processo para acelerar o resfriamento da escória e conseqüentemente controlar seus processos expansivos (MCNALLY; PATEL, 2012).

No processo BSSF a escória passa por um processo fundição a elevadas temperaturas em um recipiente rotativo onde a mesma passa pelo resfriamento brusco, esse resfriamento junto com a combinação mecânica da rotação a escória começa a passar para o estado sólido e logo após foi triturada em pequenas partículas. Durante a solidificação da escória ela fica separada do metal residual, devido a diferentes pontos de solidificação.

No processo BSSF a escória líquida foi levada a um tambor de granulação onde foi tratada com jatos de água com um tempo de 3 a 5 minutos, nesse processo reduz de forma significativa a quantidade de cal livre presentes. Durante o processo de tratamento da escória de aciaria BSSF além do resfriamento ela passa por um silo de separador de metais como mostra a figura 22, esse processo foi importante para a padronização da escória e retirada dos metais.

Figura 22. Processo de tratamento da escória.

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Fonte: Siderúrgica CSP (2021).

A siderúrgica CSP tem uma grande produção de aço mantendo-se em uma produção constante dos anos de 2017 a 2020 como mostra a Tabela 26.

Tabela 26. Produção de Ferro Gussa e Alto Forno de 2017 a 2020, em toneladas.

	2017	2018	2019	2020
FERRO GUSSA	2749,56	3022,713	2782,6	2676,21
ALTO FORNO	824,868	906,814	834,780	802,863

Fonte: Siderúrgica CSP (2021).

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

A grande produção de aço pela Siderúrgica CSP gera consequentemente uma grande produção de coprodutos, principalmente a escória de aciaria BSSF, como mostra a Tabela 27.

Tabela 27. Produção de Aço Líquido Processado e BSSF de 2017 a 2020, em toneladas.

	2017	2018	2019	2020
AÇO LÍQUIDO PROCESSADO	728,033	1.231,220	1.047,547	985,320
BSSF	109,205	184,683	157,132	147,798

Fonte: Siderúrgica CSP (2021).

Desta forma, em virtude da destinação eficiente da escória produzida pela siderúrgica, a Votorantim Cimentos utiliza este coproduto na sua fábrica, o estudo foi realizado na fábrica de bloco e paver denominada jota dois, sediada na mesma cidade, por sua vez a escória que foi utilizada como adição nos agregados foram fornecidos pela Votorantim Cimento, da qual o pesquisador foi funcionário.

A destinação da escória de aciaria foi estudada para o uso na fabricação de cimento, enquanto os estudos preliminares foram realizados para iniciar na produção ainda em 2021. Os materiais não utilizados na produção do cimento serão destinados a utilização na construção civil desde a preparação de solos para pavimentação como também destinação paralelas como mostra o objeto dessa pesquisa.

3.6 ESTUDOS PRELIMINARES DA ESCÓRIA DE ACIARIA

O estudo foi realizado previamente pelo laboratório ABCP em São Paulo/SP em 2018 a pedido da Votorantim cimentos, a escória

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

permanece estocada desde então para estudos não sendo necessário repetir os ensaios em 2021, os ensaios realizados na escória de aciaria BSSF foram químicos. Os ensaios têm a finalidade de qualificar o material para o uso em concreto e sua durabilidade, onde um dos principais fatores foi testificar a expansividade da escória de aciaria e sua exposição a soluções de sulfato de sódio e magnésio.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS E ANÁLISE E DISCUSSÃO

Neste capítulo foi realizado uma análise comparativa dos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais dos pavers vibro prensado fabricados com e sem escória de aciaria, por meio de ensaios de resistência à compressão abrasão e absorção, para avaliar qual o traço de menor custo.

4.1 UTILIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS PELA FÁBRICA DE CIMENTO VOTORANTIM

A escória foi adquirida pela Votorantim e coletada por transportadora contratada por ela. A escória de alto forno foi tratada e corrigida para o uso em cimento e a de aciaria BSSF são armazenadas nos pátios para utilização em cimento e outros produtos fabris, sendo utilizado até o fim do ano de 2021, enquanto isto não acontece o material foi destinado a estudos para viabilização na indústria de concreto.

4.1.1 Caracterização química e física da escória de aciaria BSSF

A escória de aciaria BSSF foi enviada para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em São Paulo/SP para os ensaios com o objetivo de avaliar a escória para o uso em concreto como agregado e para o uso em pavimentação, para o uso em paver vibro prensado foi necessário retirar os materiais retidos nas peneiras

BOF PROCESSADA NO BSSF.

acima da peneira 4,75 mm, devido uso na máquina de vibro prensa para não danificar o equipamento. Para a escória com granulometria sem cortes de peneira tem-se a distribuição granulométrica conforme mostra a Tabela 28.

Tabela 28. Distribuição granulométrica da escória BSSF.

Distribuição Granulométrica dos Materiais			
Peneiras (mm)	Medida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
50,00		0,00%	0,00%
37,50		0,00%	0,00%
31,50		0,00%	0,00%
25,00		0,00%	0,00%
19,00		0,00%	0,00%
12,50	3,66	0,37%	0,37%
9,50	9,08	0,91%	1,27%
6,30	41,16	4,12%	5,39%
4,80	106,09	10,61%	16,00%
2,40	335,88	33,59%	49,59%
1,20	249,52	24,95%	74,54%
0,60	177,68	17,77%	92,31%
0,30	60,80	6,08%	98,39%
0,15	13,79	1,38%	99,77%
Fundo	2,32	0,23%	100,00%
Total	999,98	100,00%	
Módulo de Finura (mm)		4,32	
Densidade aparente (kg/l)		1,90	
Massa específica (kg/l)		3,68	
Índice de vazios		0,48	

Fonte: Autoria própria (2021).

O ensaio de granulometria da escória foi importante para a elaboração dos traços teóricos em virtude da combinação com os agregados naturais já usados em campo, o módulo de finura da escória com 4,32 mm ficou alto para o uso nos paver vibro prensado, após essa conclusão foi retirado os materiais acima da peneira 4,75 conforme já descrito no tópico materiais e métodos. Realizou-se

BOF PROCESSADA NO BSSF.

também a caracterização química da escória onde foi possível observar seus principais compostos como mostra a Tabela 29.

Tabela 29. Caracterização química escória de aciaria BSSF.

Ensaio	Resultados
Perda ao fogo – PF	0
Dióxido de silício - SiO ₂	14,26
Óxido de alumínio - Al ₂ O ₃	2,67
Óxido de ferro - Fe ₂ O ₃	27,00
Óxido de cálcio – CaO	40,01
Óxido de magnésio – MgO	9,16
Óxido de sódio total - Na ₂ O	0,008
Óxido de potássio total - K ₂ O	0,01
Pentóxido de fósforo - P ₂ O ₅	3,2
Óxido de manganês – MnO	3,0
Sulfeto – S	0,02
Resíduo insolúvel – RI	0,50
Umidade	2,68

Fonte: Autoria própria (2021).

Com a caracterização química da escória de aciaria BSSF foi possível identificar o percentual de cada composto presente, como nas demais siderúrgicas, a escória contém bastante óxido de cálcio, Dentro da caracterização da escória outros ensaios importantes são o índice de desgaste por abrasão “Los Angeles”, índice de forma, porcentagem de partículas lamelares, absorção, massa específica e teor de material fino que passa através da peneira 75 mm, esses ensaios impactam diretamente na elaboração dos traços de concreto, pois a forma do agregado, a porcentagem de partículas lamelares contribuem para a melhor compacidade dos agregados, a absorção, massa específica e teor de finos também contribuem para a relação água/cimento e na elaboração das pesagens dos traços conforme o volume a ser executado.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Todos os ensaios de caracterização da escória de aciaria BSSF já mencionado o foram realizados pelo laboratório ABCP. A Tabela 30 mostra os resultados, os detalhamentos dos ensaios de caracterização da escória estão no Anexo A.

Tabela 30. Caracterização Física escória de aciaria BSSF.

Caracterização da Escória de aciaria BSSF			
Ensaio	Resultados	Limites da ABNT NBR 7211	Limites da ABNT NBR 16364
Absorção	1,6	-	-
Índice de forma	-	$\leq 3^{(2)}$	$\geq 0,5^{(3)}$
Porcentagem de partículas lamelares	-	-	$\leq 10^{(3)}$
Abrasão Los Angeles (gradação D) (%)	19	≤ 50	< 55
Teor de material fino que passa pela peneira 75 mm (%)		1,0	-
Massa específica aparente(g/cm ³)	3,48	-	-
Massa específica superfície saturada seca(g/cm ³)	3,53	-	-
Massa específica real (g/cm ³)	3,68	-	-

*2) Determinado conforme ABNT NBR 7809/06 – Agregado Graúdo – Determinação do Índice de forma pelo método do paquímetro

*3) Determinado conforme ABNT NBR 5564/11 – Via férrea – Lastro ferroviário – Anexo A

Fonte: Autoria própria (2021).

Os ensaios físicos nos agregados foram importantes para validar o uso da escória como agregado, pois na adição da escória de aciaria na mistura de concreto irá substituir em parte o volume de agregados do traço, e os comportamentos devem ser observados.

4.1.2 Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

As normas brasileiras não abrangem a avaliação da durabilidade com empregos de soluções de sulfato de sódio ou magnésio, no entanto esse ensaio foi desenvolvido inicialmente nos Estados Unidos, onde o objetivo do ensaio foi simular o comportamento dos agregados frente a ação do gelo e degelo. A norma DNER-ME 089/94 estabelece a metodologia para o ensaio de sanidade e a Norma DNER-ME 037/1997 fala sobre os limites de perda de massa. A Tabela 31 apresenta os resultados dos ensaios de sanidade e os limites para o agregado pelas normas ASTM C 33-13 e DNER-037/1997.

Tabela 31. Sanidade escória de aciaria BSSF.

Perda de massa ponderada (%)	Limites ASTM C-33/2013	Limites DNER ME 037/1997
0,27	<10,0	<12,0

Fonte: Autoria própria (2021).

A durabilidade da escória foi um fator importante principalmente no uso em concreto, tendo em vista que o concreto deve ser durável não só as ações de esforços, mas também as ações externas da natureza como as variações climáticas. Os ensaios de expansão validam a escória quanto a durabilidade, pois este ensaio consiste em submeter os agregados classificados conforme a granulometria em ciclos de molhagem por imersão e secagem, com determinação de perda de massa em cada fração. A metodologia que a ABCP usou nesse ensaio foram da ASTM C88 e DNER ME 089, descrito no Anexo A.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

4.1.3 Expansão em Autoclave escória de aciaria BSSF

Para a realização desse ensaio de expansão foi necessário empregar o método ASTM C 151 *Autoclave Expansion of Portland Cement* (2017), substituindo da pasta de cimento por argamassa contendo escória como agregado, na Tabela 32 tem-se os materiais utilizados para a elaboração das barras de argamassas.

Tabela 32. Expansividade em Autoclave escória de aciaria BSSF.

Abertura nominal das peneiras (mm)	% em massa	Massa (g)
8 – 2,4	10	99,0
2,4 – 1,2	25	247,5
1,2 – 0,6	25	247,5
0,6 – 0,3	25	247,5
0,3 – 0,15	15	148,5
Total	100	990,0
Cimento CPV – Ari ¹	-	440,0
Água destilada (a/c=0,47)	-	206,8

Fonte: Autoria própria (2021).

Um fator que pode eliminar o uso da escória de aciaria em concreto foi a sua expansividade, como já mencionado a escória de aciaria BSSF tem sua expansividade inibida assim que sai do processo siderúrgico, nesse ensaio de expansividade foi verificado se a escória BSSF foi expansiva ou não. Na Tabela 32 tem-se os resultados a partir dos ensaios realizados em barras de argamassas conforme descrito na Tabela 33.

Tabela 33. Expansividade em Autoclave escória de aciaria BSSF.

1° determinação	2° determinação	Média
-----------------	-----------------	-------

BOF PROCESSADA NO BSSF.		
0,190	0,110	0,11

Fonte: Autoria própria (2021).

Com os resultados foi possível notar uma baixa variação volumétrica indicando uma baixa expansividade.

4.1.4 Índice de suporte Califórnia (ISC)

O método índice de suporte de Califórnia foi desenvolvido pelo departamento de transporte da Califórnia antes mesmo da segunda guerra mundial, o valor do índice de Califórnia, foi a relação, em porcentagem, entre a pressão obtida na penetração de um pistão padronizado, a velocidade de 0,05 pol/min em um corpo de prova de solo. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 34 e na Figura 23 (2018).

Tabela 34. Índice de suporte Califórnia escória de aciaria BSSF

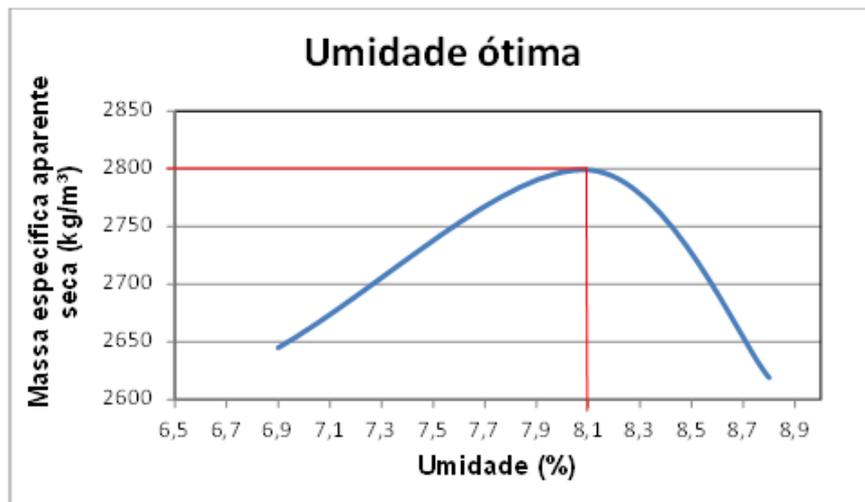
Massa específica aparente seca (kg/m ³)	Umidade %
2619	8,8
2645	6,9
2799	8,1
Max= 2799	Um.ótima=6,1

Fonte: Autoria própria (2021).

O Índice de suporte Califórnia foi possível através da massa específica aparente seca máxima em função a umidade ótima, conforme a Figura 23 abaixo.

Figura 23. Umidade ótima.

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Fonte: ABCP ensaios Anexo A (2018).

Foram definidos o Índice de suporte de Califórnia e a expansão volumétrica da amostra da escória de aciaria BSSF como mostra a Tabela 35.

Tabela 35. Índice de suporte Califórnia escória de aciaria BSSF resultados.

M.E.A. Max(g/cm³).	U.O (%)	I.S.C (%)	E.V(%) Submersa	E.V(%) Saturada	Especificação ABNT NBR 16364 I.S.C(%)	E.V(%)
2799	8,1	>=80	0,04	0,13	>=80	<3

Fonte: Autoria própria (2021).

A amostra da escória de aciaria BSSF atende o índice de suporte Califórnia e potencial de expansão especificados na NBR 16364/2015 para ser utilizado como agregado siderúrgico. Ainda sobre o fator durabilidade além dos ensaios já mencionados, outro de grande valor são os ensaios de Reação álcali-agregado, fator que qualifica o uso da escória a depender da utilização como agregado,

BOF PROCESSADA NO BSSF.

também podendo influenciar na dosagem do concreto caso seja necessário haver uma mitigação da reação álcali-agregado, que foram realizados na ABCB (2018).

4.1.5 Ensaio de reação álcali-agregado com escória de aciaria BSSF

Para a realização do ensaio foi necessário a preparação de três barras de argamassa (25x25x285) mm, a amostra passou por um processo de britagem e pulverização, utilizando um britador e em seguida peneirada até a obtenção da granulometria indicada como mostra a Tabela 36.

Tabela 36. Reação álcali-agregado escória de aciaria BSSF resultados.

Abertura nominal das peniras (mm)	Massa (g)
4,8 – 2,4	99,0
2,4 – 1,2	247,5
1,2 – 0,6	247,5
0,6 – 0,3	247,5
0,3 – 0,15	148,5
Cimento padrão	440
Água destilada (a/c =0,47)	206,8

Fonte: Autoria própria (2021).

Foi utilizado para o ensaio de Reação álcali-agregado um cimento padrão tipo CPV que obedecem a norma NBR 5733, cuja especificações adicionais da norma 15577-4 estão descritas na Tabela 37.

Tabela 37. Propriedade do cimento padrão CPV utilizado.

Propriedades	Método de ensaio	Resultado	Especificação da NBR 15577-4
--------------	------------------	-----------	------------------------------

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Óxido de sódio (Na ₂ O)	NBR NM 17	0,32%	-
Óxido de potássio (K ₂ O)	NBR NM 17	0,81%	-
Equivalente alcalino em Na ₃ O	-	0,85%	(0,90+-0,10)%
Área específica do blaine	ABT NBR 16372	4910 cm ² /g	(4900 +-200) cm ² /g
Expansividade em autoclave	ASTM C 151	0,10%	<0,20%

Fonte: Autoria própria (2021).

Com a utilização do cimento padrão foram elaboradas as barras de argamassas onde na Tabela 37 foi possível ver os resultados e sua evolução conforme o passar dos dias como mostra a figura 38.

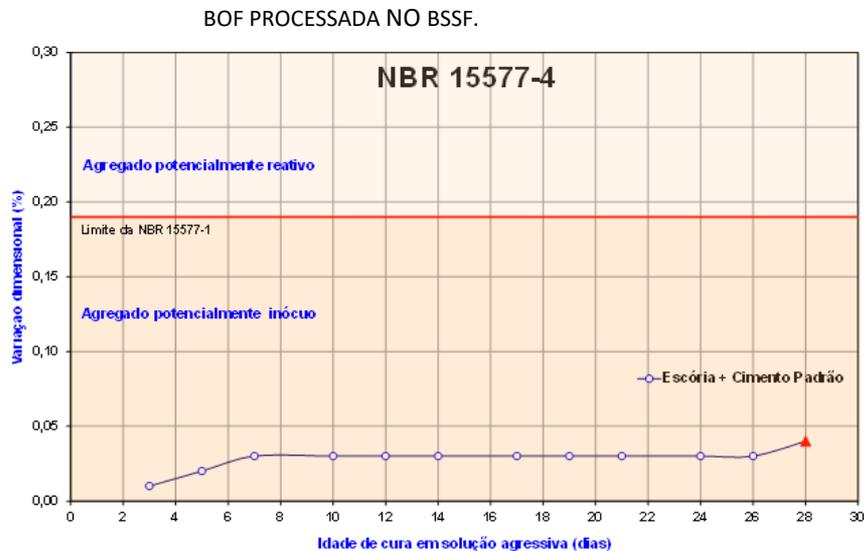
Tabela 38. Ensaio de reação álcali-agregado.

Idade de cura agressiva (dias)	Variações dimensionais médias(%)
3	0,01
5	0,02
7	0,03
10	0,03
12	0,03
14	0,03
17	0,03
19	0,03
21	0,03
24	0,03
26	0,03
28	0,04

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme os resultados obtidos foi possível analisar a reação das argamassas com escória ao longo dos 28 dias,

Figura 24. Gráfico de evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina



Fonte: ABCP ensaios Anexo A (2018).

Segundo a NBR 15577-1 para o agregado ser classificado como potencialmente reativo aos 28 dias a expansão precisa ser igual ou maior que 0,19%, de acordo com os resultados apresentados foi de 0,04% mostrando ser potencialmente inócuo.

4.2 PRODUÇÃO DOS PAVERS VIBRO PRENSADO

Os pavers foram produzidos na empresa Jota Dois, onde na sua produção são utilizados 3 agregados, areia natural, pó de brita e brita, como descrito em materiais e métodos, ao analisar a curva granulométrica foi necessário alterar o traço para melhorar o empacotamento dos agregados, onde o traço referência passou ter 20% de brita 40% de areia natural e 40% de pó de brita.

A máquina utilizada para produzir os paver vibro prensado foi da marca Trillor com funcionamento hidráulico com características descrita na Tabela 39, o tipo de máquina influencia na composição do

BOF PROCESSADA NO BSSF.

traço, pois a força aplicada na prensagem e na vibração interferem diretamente da resistência final das peças.

Tabela 39. Características da máquina utilizada pela a empresa Jota Dois.

Área útil de moldagem	500x430 mm
Dimensões dos pallets	550x550x20 mm (madeira)
Motor	10 Cv (Unid.Hidráulica) 2x3 (p/vibradores) 2(Agitador)
Peso	1730 kg (Vibro-prensa) 330 kg (Alimentador) 85 Kg (Mesa) 55 Kg (Painel) 300 kg (Matriz)
Ciclo médio de Fabricação	De 15 a 25 segundos
Capacidade do silo	585 Litros
Produção média	6500 Blocos 9cm/ Dia

Fonte: Autoria própria (2021).

A produção foi toda automatizada desde a pesagem dos agregados até a saída das peças, a figura 25 mostra a sequência de passos do processo produtivo.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Figura 25. Produção de pavers vibro prensado

Fonte: Fernandes (2016).

Dado a elaboração dos traços descritos no capítulo materiais e métodos, foi executado primeiro o traço referência, como mostrado na figura anterior o passo 1 foram colocados os agregados em cada caixa separadamente, a pesagem dos traços são todos em kg inseridos de forma digital na central de controle da usina, os agregados são pesados no passo 2 o cimento no passo 6, os materiais seguiram numa esteira até o passo 4 onde fica o misturador de concreto com capacidade 585 litros, após a inserção dos agregados no misturador, através do painel de controle o operador adicionou a água até a obtenção da umidade ótima onde a mesma é confirmada através do ensaio de umidade, na qual o objetivo foi encontrar uma umidade da mistura entre 6 a 8%.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

A escória de aciaria foi adicionada manualmente como mostra a figura 26, pesada em uma balança externa devido o material não ter caixas de estocagem para ser pesado automaticamente.

Figura 26. Aplicação da escória de aciaria BSSF



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a mistura ficar pronta ela seguiu para a máquina de vibro prensa, onde o concreto foi vibrado e prensado nas formas metálicas e desformados imediatamente, a figura 27 mostra o momento da saída do concreto já moldado na máquina de vibro prensa.

Figura 27. Paver produzidos após a saída da máquina vibro prensa

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Fonte: Autoria própria (2021).

Nessa etapa foi analisado o acabamento das peças e verificado se as peças então com os poros bem fechados, de forma simples as peças foram apertadas, caso as peças durante a aplicação da força dos dedos ou da mão não tenha grande deformabilidade foi um sintoma que o concreto foi bem vibrado e compactado. Outro ensaio simples foi a aplicação de uma pequena película de água colocada sobre o paver após a saída da máquina de vibro prensa como mostra a figura 28.

Figura 28. Aplicação de água, análise de boa compactação

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Fonte: Autoria própria (2021).

Em seguida os pavers seguiram para a câmara úmida como mostra a figura 29 onde passou pelo processo de cura, a cura foi de grande importância para o acabamento e obtenção de resistência a compressão conforme os traços elaborados, os pavers foram identificados e separados para os demais ensaios.

Figura 29. Pavers na câmara úmida



Fonte: Autoria própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Durante a produção foram testados na mesma máquina, nas mesmas condições climáticas e produtiva os traços com a adição de escória de aciaria BSSF, a escória por ser um agregado teste, a escória foi adicionada nos percentuais de 10, 15, 20 e 35%, inseridos manualmente no misturador, os demais agregados e cimento seguiram o processo já descrito saindo das caixas de agregados pesados na balança misturado vibrado e prensado. Todos os traços com e sem escória seguiram as mesmas condições de curas. Foram separados para os ensaios 24 peças de cada traço com e sem escória.

4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Foram ensaiados os pavers vibro prensado sem escória e com 10, 15, 20 e 35% de escória de aciaria, foram necessárias 6 peças de cada traço para a obtenção de uma resistência característica, as peças foram rompidas pelo laboratório da Votorantim na Engemix de Fortaleza/CE. As idades de ruptura foram nas idades 7, 28 e 91 dias.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

4.3.1 Resistência a compressão com 7 dias

A escolha da idade de ruptura inicial com 7 dias após a data de fabricação teve o objetivo de comparar se houve ou não ganho de resistências iniciais com a utilização da escória de aciaria na mistura de concreto, na Tabela 40 tem-se as dimensões e peso das amostras ensaiadas e a resistência a compressão dos pavers sem escória de aciaria na idade de 7 dias.

Tabela 40. Resistência a compressão pavers sem escória com 7 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso
1	199	100	61	3250
2	199	99	60	3251
3	200	101	62	3230
4	199	100	59	3260
5	200	101	58	3261
6	200	101	60	3305

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _p (MPa)	(MPa)
1	5672	25,09	246048,8485	2,58	41,21	39,6
2	5672	24,8	243204,92		40,74	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha
3	5672	26	254972,9		42,71	
4	5672	25	245166,25		41,07	
5	5672	24	235359,6		39,42	
6	5672	28,5	279489,525		46,81	
Média					41,99	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de seis peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver

BOF PROCESSADA NO BSSF.

aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 41 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 41. Densidade pavers sem escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,677
2	2,750
3	2,579
4	2,777
5	2,783
6	2,727
Média	2,716

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajuda a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O segundo traço de concreto foi utilizando 10% de escória de aciaria, na Tabela 42 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 10% de escória na idade de 7 dias.

Tabela 42. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 7 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	98	60	3230
2	199	101	59	3200
3	198	99	60	3301
4	199	101	55	3220
5	198	100	60	3270
6	200	101	58	3300

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	Fpi (MPa)	(MPa)
1	5672	25,87	253698,03 55		42,49	
2	5672	28	274586,2		45,99	
3	5672	25,5	250069,57 5		41,89	41,5
4	5672	25,3	248108,24 5	1,62	41,56	
5	5672	25,8	253011,57		42,38	
6	5672	26,5	259876,22 5		43,53	
Média					41,99	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 43 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 43. Densidade pavers com 10% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,747
2	2,699
3	2,807
4	2,913
/5	2,753
6	2,817
Média	2,789

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O terceiro traço de concreto foi utilizando 15% de escória de aciaria, na Tabela 44 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 15% de escória na idade de 7 dias.

Tabela 44. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 7 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	199	101	60	3405
2	200	100	60	3450
3	200	100	62	3300
4	200	100	61	3490
5	199	101	60	3390
6	198	100	59	3400

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	29,48	289100,042	2,32	48,42	43,0 Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha
2	5672	25,76	252619,304		42,31	
3	5672	28,01	274684,2665		46,01	
4	5672	28,11	275664,9315		46,17	
5	5672	25,95	254482,5675		42,63	
6	5672	27,68	271448,072		45,47	
Média					45,17	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 45 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 45. Densidade pavers com 15% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m³)
1	2,824
2	2,875
3	2,661
4	2,861
5	2,811
6	2,910
Média	2,824

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 20% de escória de aciaria, na Tabela 46 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 20% de escória na idade de 7 dias.

Tabela 46. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 7 dias.

Identificação	Comprimento	Largura	Espessura	Peso
1	199	102	60	3500
2	198	101	61	3440
3	200	100	60	3490
4	200	101	59	3390
5	200	100	58	3480
6	200	101	60	3550

Identificação	Área (mm²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _p (MPa)	(MPa)
1	5672	22,5	220649,625		36,96	37,4
2	5672	23	225552,95	1,86	37,78	Tráfego de pedestres,
3	5672	23	225552,95		37,78	

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.					
4	5672	24	235359,6	39,42	veículos leves e veículos comerciais de linha
5	5672	25	245166,25	41,07	
6	5672	25,19	247029,5135	41,38	
Média				39,06	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 47 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 47. Densidade pavers com 20% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,874
2	2,820
3	2,908
4	2,844
5	3,000
6	2,929
Media	2,896

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 35% de escória de aciaria, na Tabela 48 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 35% de escória na idade de 7 dias.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 48. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 7 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)		
1	199	102	60	3300		
2	198	101	61	3450		
3	200	100	60	3390		
4	200	101	59	3290		
5	200	100	58	3400		
6	200	101	60	3460		
Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	f _{pk} (MPa)
1	5672	22,1	216726,965		36,30	
2	5672	19	186326,35		31,21	
3	5672	19	186326,35	4,10	31,21	
4	5672	18	176519,7		29,57	
5	5672	24	235359,6		39,42	
6	5672	23	225552,95		37,78	
Média					34,25	30,5 f_{pk} menor que o mínimo exigido pela norma

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 49 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 49. Densidade pavers com 35% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,710
2	2,828
3	2,825

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

4	2,761
5	2,931
6	2,855
Media	2,818

Fonte: Autoria própria (2021).

4.3.2 Resistência a compressão com 28 dias

A escolha da idade de ruptura final com 28 dias após a data de fabricação teve o objetivo de encontrar o f_{pk} do paver, na Tabela 50 tem-se as dimensões e peso das amostras ensaiadas e a resistência a compressão dos pavers sem escória de aciaria na idade de 28 dias.

Tabela 50. Resistência a compressão pavers sem escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	99	60	3260
2	201	101	59	3250
3	199	100	61	3300
4	199	100	60	3290
5	199	100	59	3255
6	200	100	60	3310

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	30,39	298024,0935	2,24	49,92	50,4
2	5672	30,27	296847,2955		49,72	
3	5672	33,58	329307,307		55,16	
4	5672	33	323619,45		54,21	
5	5672	32,5	318716,125		53,39	
6	5672	31,81	311949,5365		52,25	
Média					52,44	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

**abrasão
acentuados**

Fonte: Autorial própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de seis peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 51 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 51. Densidade pavers sem escória

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,686
2	2,749
3	2,635
4	2,802
5	2,778
6	2,731
Média	2,730

Fonte: Autorial própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajuda a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O segundo traço de concreto foi utilizando 10% de escória de aciaria, na Tabela 21 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 10% de escória na idade de 28 dias.

Tabela 52. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento	Largura	Espessura	Peso
---------------	-------------	---------	-----------	------

FISPO

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

		(mm)	(mm)	(mm)	(g)
1		199	100	59	3200
2		200	100	61	3215
3		200	98	61	3350
4		198	100	59	3250
5		199	101	61	3250
6		201	99	58	3250

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	30,5	299102,825		50,10	
2	5672	31	304006,15		50,92	
3	5672	33	323619,45	1,42	54,21	50,7
4	5672	31,6	309890,14		51,91	
5	5672	32	313812,8		52,56	
6	5672	31,9	312832,135		52,40	
Média					52,02	Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 53 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 53. Densidade pavers com 10% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,721
2	2,711
3	2,848
4	2,940
5	2,736
6	2,774
Média	2,788

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O terceiro traço de concreto foi utilizando 15% de escória de aciaria, na Tabela 54 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 15% de escória na idade de 28 dias.

Tabela 54. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	198	101	59	3400
2	199	100	58	3390
3	200	100	60	3350
4	200	101	61	3450
5	198	98	60	3400
6	200	99	59	3420

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	fp _i (MPa)	(MPa)
1	5672	30	294199,5	1,84	49,28	46,6
2	5672	31,2	305967,48		51,25	
3	5672	28,65	280960,5225		47,06	
4	5672	28	274586,2		45,99	
5	5672	29,4	288315,51		48,29	
6	5672	29	284392,85		47,64	
Média					48,25	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

**comerciais
de linha**

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 55 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 55. Densidade pavers com 15% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,819
2	2,825
3	2,702
4	2,828
5	2,819
6	2,928
Média	2,820

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 20% de escória de aciaria, na Tabela 56 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 20% de escória na idade de 28 dias.

Tabela 56. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	100	60	3400
2	200	100	60	3550
3	200	100	58	3500
4	200	101	59	3300
5	200	100	60	3460
6	200	101	60	3550

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	fp _i (MPa)	(MPa)
---------------	-----------------------------	-----------------	--------------	--------------------------	--------------------------	-------

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.						
1	5672	32,5	318716,125		53,39	
2	5672	31	304006,15		50,92	50,7
3	5672	30,8	302044,82		50,59	
4	5672	32	313812,8	1,42	52,56	
5	5672	32,8	321658,12		53,88	Tráfego de
6	5672	31	304006,15		50,92	veículos
						especiais e
						solicitações
						capazes de
						produzir
						efeitos de
						abrasão
						acentuados
Média					52,04	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 57 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 57. Densidade pavers com 20% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,792
2	2,910
3	2,917
4	2,769
5	2,983
6	2,929
Media	2,883

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 35% de escória de aciaria, na Tabela 58 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 35% de escória na idade de 28 dias.

Tabela 58. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	198	100	59	3400
2	199	99	59	3350
3	199	98	58	3360
4	201	100	60	3200
5	199	101	61	3450
6	199	100	60	3420

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	f _{pk} (MPa)
1	5672	27	264779,55	1,50	44,35	44,1
2	5672	26,9	263798,885		44,19	
3	5672	28	274586,2		45,99	
4	5672	28,5	279489,525		46,81	
5	5672	26,9	263798,885		44,19	
6	5672	29	284392,85		47,64	
Média					45,53	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 59 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 59. Densidade pavers com 35% de escória.

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,792
2	2,746
3	2,800
4	2,685
5	2,974
6	2,822
Média	2,803

Fonte: Autoria própria (2021).

4.3.3 Resistência a compressão com 91 dias

A escolha da idade de ruptura final com 91 dias após a data de fabricação teve o objetivo de verificar se com o uso de escória de aciaria teve ganho de resistência, na Tabela 60 tem-se as dimensões e peso das amostras ensaiadas e a resistência a compressão dos pavers sem escória de aciaria na idade de 91 dias.

Tabela 60. Resistência a compressão pavers sem escória com 91 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	99	60	3240
2	200	100	59	2260
3	198	100	61	3310
4	201	99	60	3280
5	199	98	61	3300
6	199	100	59	3150

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _p (MPa)	(MPa)
1	5672	31,2	305967,48	1,19	51,25	51,1
2	5672	31	304006,15		50,92	
3	5672	33	308909,475		54,21	
4	5672	31,5	308909,475		51,74	
5	5672	32	313812,8		52,56	
6	5672	32	313812,8		52,56	

Tráfego de
veículos especiais

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Média	52,21	e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados
-------	-------	---

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de seis peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 61 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 61. Densidade pavers sem de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,727
2	1,915
3	2,741
4	2,747
5	2,774
6	2,683
Média	2,598

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajuda a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O segundo traço de concreto foi utilizando 10% de escória de aciaria, na Tabela 62 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 10% de escória na idade de 91 dias.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 62. Resistência a compressão pavers com 10% de escória com 91 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	98	60	3150
2	199	101	59	3300
3	198	99	60	3300
4	199	101	55	3300
5	198	100	60	3260
6	200	101	58	3240

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	32,5	318716,125		53,39	
2	5672	33	323619,45		54,21	53,1
3	5672	33,5	328522,775	1,16	55,03	
4	5672	32	313812,8		52,56	
5	5672	34	333426,1		55,85	
6	5672	33	323619,45		54,21	
Média					54,21	

Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver

BOF PROCESSADA NO BSSF.

aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 63 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 63. Densidade pavers com 10% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,679
2	2,783
3	2,806
4	2,985
5	2,744
6	2,765
Média	2,794

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O terceiro traço de concreto foi utilizando 15% de escória de aciaria, na Tabela 64 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 15% de escória na idade de 91 dias.

Tabela 64. Resistência a compressão pavers com 15% de escória com 91 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	100	59	3350
2	199	101	60	3350
3	198	99	61	3400
4	201	99	59	3450
5	198	99	61	3410
6	201	101	61	3450

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	f _{pk} (MPa)
1	5672	31	304006,15		50,92	
2	5672	32	313812,8		52,56	
3	5672	29,5	289296,17		48,46	48,3
4	5672	29,2	286354,18	1,69	47,96	
5	5672	30,4	298122,16		49,94	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha
6	5672	30	294199,5		49,28	
Média					49,85	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 65 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 65. Densidade pavers com 15% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,839
2	2,778
3	2,843
4	2,939
5	2,852
6	2,786
Média	2,839

Fonte: Autoria própria (2021).

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 20% de escória de aciaria, na Tabela 66 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 20% de escória na idade de 91 dias.

Tabela 66. Resistência a compressão pavers com 20% de escória com 91 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	201	99	59	3450
2	201	99	59	3540
3	199	100	61	3510
4	199	100	61	3350
5	199	100	60	3440
6	199	99	58	3500

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	33	323619,4 5		54,21	
2	5672	32,5	318716,1 25		53,39	
3	5672	31	304006,1 5	1,27	50,92	52,2
4	5672	32,4	317735,4 6		53,22	
5	5672	33	323619,4 5		54,21	Tráfego de veículos

BOF PROCESSADA NO BSSF.					
6	5672	33	323619,4	54,21	especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados
			5		
Média				53,36	

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no fpk, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 67 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 67. Densidade pavers com 20% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,939
2	3,015
3	2,892
4	2,760
5	2,881
6	3,063
Média	2,925

Fonte: Autoria própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

O quarto traço de concreto foi utilizando 35% de escória de aciaria, na Tabela 68 tem-se os resultados dos ensaios de resistência a compressão dos pavers com 35% de escória na idade de 91 dias.

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 68. Resistência a compressão pavers com 35% de escória com 28 dias.

Identificação	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)
1	200	100	59	3420
2	199	99	59	3300
3	198	99	60	3350
4	199	100	61	3150
5	199	99	58	3480
6	201	100	59	3400

Identificação	Área (mm ²)	Leitura (tf)	Carga (N)	Sd (Desvio Padrão)	f _{pi} (MPa)	(MPa)
1	5672	28	274586,2		45,99	
2	5672	27	264779,55		44,35	
3	5672	29,5	289296,175	3,27	48,46	45,7
4	5672	30	294199,5		49,28	
5	5672	31	304006,15		50,92	
6	5672	32,5	318716,125		53,39	
Média					48,73	Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da resistência a compressão que foi obtida através de 6 peças resultando no f_{pk}, foi realizado também o ensaio de densidade, tendo em vista que a escória foi um material mais pesado e pode haver aumento do peso próprio das peças. Na Tabela 69 tem-se a densidade de cada peça e a média aritmética.

Tabela 69. Densidade pavers com 35% de escória.

Identificação	Densidade (kg/m ³)
1	2,898
2	2,839
3	2,848
4	2,595
5	3,046
6	2,867

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Média	2,849
-------	-------

Fonte: Autorial própria (2021).

A densidade dos pavers foram obtidas através do peso de cada paver dividido pelo o volume das peças, a densidade também ajudar a controlar a padronização das peças, podendo ser realizado assim que sai da produção testificando se a máquina está distribuindo de maneira uniforme para todas as formas metálicas.

4.4 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção foi um indicativo de qualidade de fabricação das peças onde avalia a porosidade dos pavers através da diferença de massas seca e úmida onde o resultado satisfatório não pode ultrapassar os 5% de absorção. Foram pesadas 6 unidades de cada traço dos paver vibro prensado no estado seco e saturado por 24 horas. Na Tabela 70 estão os resultados do ensaio de absorção dos pavers testados sem escória de aciaria.

Tabela 70. Absorção pavers sem adição de escória de aciaria.

Amostra	massa Seca	massa úmida	absorção
1	3215	3280	2,02
2	3165	3240	2,37
3	3145	3225	2,54
4	3245	3310	2,00
5	3180	3240	1,89
6	3225	3295	2,17
Média	3197,5	3260	2,10

Fonte: Autorial própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Conforme as adições da escória na mistura de concreto seco e produção das peças foram ensaios absorção dos pavers com 10% de escória de aciaria como mostra a Tabela 71.

Tabela 71. Absorção pavers com adição de 10% de escória de aciaria.

Amostra	massa Seca	massa úmida	absorção
1	3260	3335	2,30
2	3265	3309	1,35
3	3245	3315	2,16
4	3255	3325	2,15
5	3315	3395	2,41
6	3255	3325	2,15
Média	3257,5	3325	2,15

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme as adições da escória na mistura de concreto seco e produção das peças foram ensaios absorção dos pavers com 15% de escória de aciaria como mostra a Tabela 72.

Tabela 72. Absorção pavers com adição de 15% de escória de aciaria.

Amostra	massa Seca	massa úmida	absorção
1	3305	3375	2,12
2	3275	3375	3,05
3	3315	3365	1,51
4	3365	3475	3,27
5	3315	3395	2,41
6	3255	3325	2,15
Média	3310	3375	2,28

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme as adições da escória na mistura de concreto seco e produção das peças foram ensaios absorção dos pavers com 20% de escória de aciaria como mostra a Tabela 73.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Tabela 73. Absorção pavers com adição de 20% de escória de aciaria.

Amostra	massa Seca	massa úmida	absorção
1	3420	3480	1,75
2	3505	3555	1,43
3	3510	3565	1,57
4	3560	3615	1,54
5	3490	3550	1,72
6	3546	3600	1,52
Média	3507,5	3560	1,56

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme as adições da escória na mistura de concreto seco e produção das peças foram ensaios absorção dos pavers com 35% de escória de aciaria como mostra a Tabela 74.

Tabela 74. Absorção pavers com adição de 35% de escória de aciaria.

Amostra	massa Seca	massa úmida	absorção
1	3370	3510	4,15
2	3400	3505	3,09
3	3450	3550	2,90
4	3200	3390	5,94
5	3350	3500	4,48
6	3450	3550	2,90
Média	3385	3507,5	3,62

Fonte: Autoria própria (2021).

Além da qualidade na produção e nas peças prontas, como também as resistências à compressão já apresentadas, outro fator muito importante em avaliação de concreto foi a durabilidade, e para medir esse fator no concreto seco, o ensaio realizado foi o de abrasão, seguindo os procedimentos da NBR 12042:2012- determinação dos desgastes por abrasão como mostra o próximo tópico

BOF PROCESSADA NO BSSF.

4.5 Desgastes por abrasão NBR 12042:2012

O ensaio de desgaste por abrasão também foi mencionado na NBR 9781 que trata especificamente dos pavers como também no livro do Idário Fernandes “Bloco e Pavers” em ambas as referências citam o ensaio como facultativo. O ensaio teve o objetivo de verificar se existe grandes diferenças de desgastes com a utilização da escória de aciaria. Na Tabela 75 estão os resultados dos ensaios de desgaste por abrasão simulando 500 e 1000 metros nos pavers fabricados sem escória de aciaria.

Tabela 75. Ensaios de abrasão com pavers sem escória de aciaria.

500 m				1000 m			
Corpos de prova	Individual (mm)	Média	Média Geral (mm)	Corpos de prova	Individual (mm)	Média	Média Geral(mm)
1	1,01	0,75	0,9	1	1,73	1,58	0,9
	0,87				1,7		
	0,46				1,54		
	0,66				1,33		
2	169	1,06		2	2,47	1,87	
	1				1,77		
	0,9				1,72		
	0,65				1,51		

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme a adição da escória de aciaria na produção dos pavers vibro prensado, também foram separadas amostras para a realização dos ensaios de desgastes por abrasão referente aos pavers com 10% de adição como mostra a Tabela 76.

Tabela 76. Ensaios de abrasão com pavers com 10% escória de aciaria.

500 m	1000 m
-------	--------

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)	Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)
1	0,54	0,59	0,87	1	2,59	1,91	2,02
	0,78				1,72		
	0,77				1,69		
	0,25				1,62		
2	0,68	1,16		2	1,60	2,13	
	0,68				1,73		
	1,66				2,50		
	1,63				2,60		

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme a adição da escória de aciaria na produção dos pavers vibro prensado, também foram separadas amostras para a realização dos ensaios de desgastes por abrasão referente aos pavers com 15% de adição como mostra a Tabela 77.

Tabela 77. Ensaios de abrasão com pavers com 15% escória de aciaria.

500 m				1000 m			
Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)	Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)
1	2,06	1,24	1,46	1	2,78	2,01	2,22
	0,95				1,73		
	1,00				1,79		
	0,95				1,74		
2	1,87	1,69		2	2,61	2,42	
	2,00				2,69		
	2,05				2,80		
	0,82				1,59		

Fonte: Autoria própria (2021).

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Conforme a adição da escória de aciaria na produção dos pavers vibro prensado, também foram separadas amostras para a realização dos ensaios de desgastes por abrasão referente aos pavers com 20% de adição como mostra a Tabela 78.

Tabela 78. Ensaios de abrasão com pavers com 20% escória de aciaria.

500 m				1000 m					
Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)	Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)		
1	1,31	1,22	1,22	1	1,92	1,86	1,95		
	1,15				1,80				
	1,23				1,90				
	1,18				1,81				
2	1,35	1,23		1,22	2	2,11		2,04	1,95
	1,00					2,59			
	1,21					1,50			
	1,34					1,94			

Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme a adição da escória de aciaria na produção dos pavers vibro prensado, também foram separadas amostras para a realização dos ensaios de desgastes por abrasão referente aos pavers com 35% de adição como mostra a Tabela 79.

Tabela 79. Ensaios de abrasão com pavers com 35% escória de aciaria.

500 m				1000 m			
Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)	Corpos de prova	individual(mm)	Média	Média Geral(mm)
1	1,51	1,77	1,73	1	2,02	1,89	1,98

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.						
	1,85				2,00	
	1,92				1,70	
	1,80				1,85	
2	1,20	1,69		2	2,40	2,07
	1,90					
	1,81					
	1,85					
					1,80	

Fonte: Autoria própria (2021).

Com os estudos foi possível realizar uma análise comparativa de desempenho e durabilidade dos pavers vibro prensando sem escória e com 10, 15, 20 e 35% de escória de aciaria, conforme exposto de maneira compilada na tabela final a seguir.

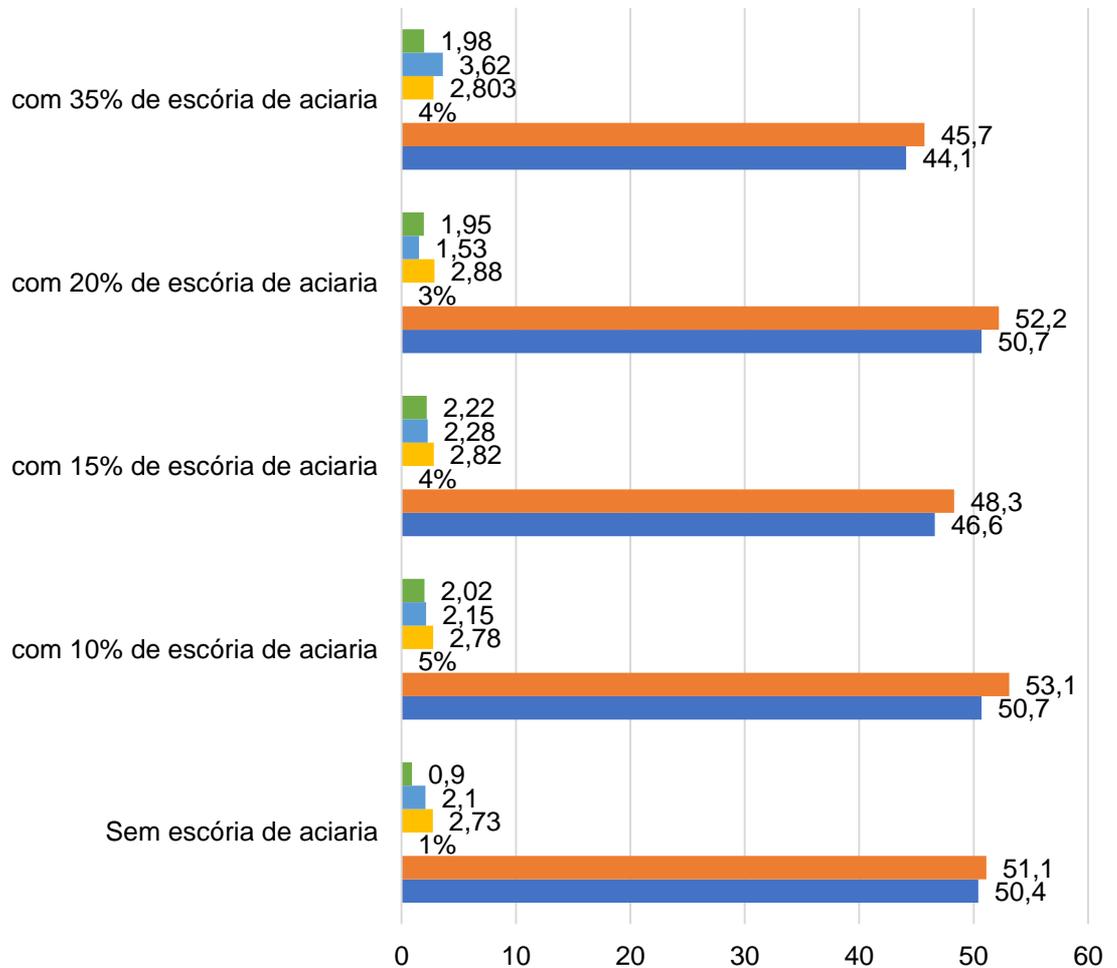
Tabela 80. Análise comparativa dos resultados.

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Análise comparativa dos resultados



	Sem escória de aciaria	com 10% de escória de aciaria	com 15% de escória de aciaria	com 20% de escória de aciaria	com 35% de escória de aciaria
■ Abrasão (mm)	0,9	2,02	2,22	1,95	1,98
■ Absorção %	2,1	2,15	2,28	1,53	3,62
■ Densidade(kg/m³)	2,73	2,78	2,82	2,88	2,803
■ Crescimento	1%	5%	4%	3%	4%
■ fpk (MPa) 91 Dias	51,1	53,1	48,3	52,2	45,7
■ fpk (MPa) 28 Dias	50,4	50,7	46,6	50,7	44,1

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Fonte: Autoria própria (2021).

BOF PROCESSADA NO BSSF.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA

5.1 CONCLUSÕES

Areia natural foi caracterizado como agregado miúdo com módulo de finura de 3,05 mm densidade aparente 1,37 g/cm³ e massa específica 2,63 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento da areia natural foi de 0,5% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

O pó de brita foi caracterizado como agregado miúdo com módulo de finura de 3,35 mm densidade aparente 1,31 g/cm³ e massa específica 2,70 kg/l, índice de vazios 0,51. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,8% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

A brita 9,5 mm foi caracterizado como agregado graúdo com módulo de finura de 6,01 mm densidade aparente 1,31 g/cm³ e massa específica 2,70 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,5% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

A escória de aciaria foi caracterizada como agregado graúdo com módulo de finura de 4,32 mm densidade aparente 1,9 kg/l e massa específica 3,68 kg/l, índice de vazios 0,48. O material pulverulento do pó de brita foi de 0,4% de material fino passantes pela peneira de 0,075 mm.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Com a caracterização dos agregados utilizando o traço já usual da empresa Jota Dois foi possível notar que a curva granulométrica está acima da mistura ótima, como delimitado pelo autor Idário Fernandes, com isso a mistura do concreto foi ajustada onde o módulo de finura da mistura saiu de 3,91 mm para 3,76 mm.

Os pavers fabricados sem escória de aciaria apresentou um fpk de 39,6 MPa na idade de 7 dias, 50,4 e 51,1 nas idades de 28 e 91 dias respectivamente.

Conforme a caracterização da escória de aciaria BSSF feita pela ABCP ela apresentou como as principais constituintes CaO, Fe₂O₃, SiO₂, MgO e secundariamente, por P₂O₅, MnO e Al₂O₃. Sua constituição indica provavelmente uma escória de aciaria de ferro elétrico.

Quanto ao uso como agregado para concreto, a norma ABNT 7211 não prevê o uso de materiais artificiais. Entretanto, a amostra da escória de aciaria apresenta características promissoras como baixa expansão, baixo desgaste por abrasão, que incentivam a realização dos estudos de dosagem de concretos preparados com escória com finalidade de dar subsídio aos ajustes necessário ao seu emprego, dentre elas a distribuição granulométrica. Tendo como uma boa finalidade o emprego em artefatos de concreto.

Com os ensaios característicos da escória com resultados positivos, tem-se a adição de 10% de escória na mistura onde apresentou um módulo de mistura de 3,84 mm. Os pavers fabricados com 10% de escória apresentou um fpk de 41,5 MPa na idade de 7 dias e 50,7 e 53,1 nas idades de 28, 91 respectivamente. adição de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

10% de escória na mistura onde apresentou um módulo de mistura de 3,84 mm.

A adição de 15% de escória na mistura apresentou um módulo de mistura de 3,87 mm. Os pavers fabricados com 15% de escória apresentou um fpk de 43 MPa na idade de 7 dias e 46,6 e 48,3 nas idades de 28, 91 respectivamente.

A adição de 20% de escória na mistura apresentou um módulo de mistura de 3,94 mm. Os pavers fabricados com 20% de escória apresentou um fpk de 37,4 MPa na idade de 7 dias e 50,7 e 52,2 nas idades de 28, 91 respectivamente.

A adição de 35% de escória na mistura apresentou um módulo de mistura de 4,04 mm. Os pavers fabricados com 35% de escória apresentou um fpk de 30,5 MPa na idade de 7 dias e 44,1 e 45,7 nas idades de 28, 91 respectivamente.

Para os ensaios de absorção os pavers fabricados sem escória obteve uma média de 2,10%, já com adição de 10, 15, 20 e 35% de escória obtiveram os valores de 2,15; 2,28; 1,58; 3,62% respectivamente.

Para os ensaios de desgastes de abrasão os pavers fabricados sem escória tiveram um desgaste de 0,9 mm com 500 metros e 0,9 mm com 1000 metros. Os pavers fabricados com 10% de escória tiveram um desgaste de 0,87 mm com 500 m e 2,02 mm com 1000 metros. Os pavers fabricados com 15% de escória tiveram um desgaste de 1,46 mm com 500 metros e 2,22 mm com 1000 metros. Os pavers fabricados com 20% de escória tiveram um desgaste de 1,22 mm com 500 metros e 1,95 mm com 1000 metros. Os pavers

BOF PROCESSADA NO BSSF.

fabricados com 35% de escória tiveram um desgaste de 1,73 mm com 500 metros e 1,98 mm com 1000 metros.

Analisando os resultados de resistência à compressão, todos os traços atingiram acima de 35 MPa no final de 28 dias, somente os traços com adição de escória tiveram maiores ganhos de resistências no final de 91 dias, sendo isso um ponto positivo a ser notado.

Todos os pavers com e sem escória obtiveram baixa absorção de água, sendo os pavers com 35% de escória com a maior porosidade. Já para os desgastes dos pavers por abrasão, houve baixa variação em todas os traços.

Os pavers que apresentaram o melhor desempenho de qualidade e resistências foram referentes aos traços com 20% de escória.

5.2 SUGESTÕES PARA CONTINUAÇÃO DA PESQUISA

Diante dos resultados apresentados é notório a possibilidade do uso da escória de aciaria como agregado em concreto, o próximo passo para o uso em grande escala seria em um primeiro momento apresentar as empresas o material, com a intenção de propagar os benefícios ambientais e conseqüentemente econômico que o uso da escória de aciaria causa.

Dado as iniciativas de apresentação da escória de aciaria um importante passo seria o teste em uma grande escala de produção em

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

empresas que venham aceitar realizar os testes piloto, por fim, dado a credibilidade do uso em concreto seco, ser testado também nos demais tipos de concreto.

REFERÊNCIAS

ABM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/NT_TR03_ACIARIAS_SUCATA_GUSA_FERRO+ESPONJA_v02_4779.pdf/f3abf9b9-921d-4a53-a7eb-7438a420ac6a?version=1.0. Acesso em: 23 mar. 2021.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio

BOF PROCESSADA NO BSSF.

de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 248**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e Concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 45**: Agregados – Determinação da Massa unitária e Volume de Vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 26**: Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**:

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

AÇO BRASIL. **Parque siderúrgico**. Aço Brasil, O Aço, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/parque-siderurgico/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

ARAÚJO, L. A. **Manual de Siderurgia**. São Paulo: Arte & Ciência, 1997. v. 1.

ARRIVABENE, L. F., *et al.* Viabilidade técnica da fabricação de cimento com mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Petro, v. 65, n. 2, p. 241-246, abr./jun., 2012. Disponível em: <http://submission.scielo.br/index.php/rem/article/view/65542>. Acesso em: 23 mar. 2021.

BENQUERER, R. A. **Gerenciamento de resíduos sólidos em siderúrgicas integradas a coque**. 2000. 225f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Belo Horizonte.

BITTENCOURT, S. D. **Caracterização de ligas magnéticas sinterizadas para aplicação em núcleos de máquinas elétricas rotativas**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/60674>. Acesso em: 05 set. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 23 mar. 2021.

CABRAL DE FREITAS, S. M. A. **Escória de aciaria: caminhos para uma gestão sustentável**. 116f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. REDEMAT. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Materiais. Ouro Preto, 2018. Disponível em:
http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/9939/1/TESE_Esc%C3%B3riaAci%C3%A1riaCaminhos.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

CASTELO BRANCO, V. T. F. **Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado**. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:
<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp084195.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 6. ed. São Paulo: ABM, 1988.

CIRILO DA SILVA, W. B. **Análise da viabilidade da fabricação de blocos intertravados de pavimentos de concreto com o uso de resíduos de Termelétrica e de agregados reciclados da construção civil**. 2020. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2020. Disponível em:
<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/56811>. Acesso em: 23 mar. 2021.

COELHO, R. J., *et al.* Modelos de previsão da qualidade metalúrgica do coque a partir da qualidade dos carvões individuais e do coque obtido no forno-piloto de coqueificação. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 57, n. 1, p. 27-32, jan./mar., 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672004000100006>. Acesso em: 23 mar. 2021.

CONJEAUD, M.; GEORGE, C. M.; SORRENTINO, F. P. A new steel slag for cement manufacture: mineralogy and hydraulicity. **Cement and Concrete Research**, v. 11, n. 1, p.85-102, jan. 1981. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884681900120>. Acesso em: 23 mar. 2021.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

COSTA, V. L.; ESCORSIM, S.; COSTA, D. L. Processo produtivo e produção de aço: a inserção do Grupo Gerdau S.A. no cenário mundial. *In: Congresso Internacional De Administração*, Ponta Grossa: UEPG, 2007. Disponível em: <http://ri.uepg.br:8080/riuepg//handle/123456789/778>. Acesso em: 23 mar. 2021.

COSTA, S. N.; SANTOS, R. O. G. Utilização da escória de aciaria em combinação com solo para uso em camadas de pavimentação rodoviária. **Engineering Sciences**, v. 8, n. 1, p. 57-66, mai., 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.001.0007>. Acesso em 25 mar. 2021.

CPRH - COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. **Inventário dos Resíduos Sólidos Industriais no Estado de Pernambuco**. Recife: CPRH/GTZ. 2001.

DA CUNHA, Anderson Gois Marques; ALVES, José Luiz; LEITE, Emanuel Ferreira. Siderurgia 4.0: dimensão inteligente e sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 37087-37103, mar./abr., 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/28052/22218>. Acesso em 074 set. 2021.

DELLA, V. P., *et al.* Utilização do subproduto da recuperação metálica de escórias de aços inoxidáveis na síntese de pigmentos cerâmicos: caracterização da matéria-prima. **Cerâmica**, São Paulo, v. 51, n. 318, p. 111-116, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n318/25587.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

DUARTE CARDOSO, M. **Reciclagem de Escória de Forno Panela de Aciaria Elétrica em Material Cerâmico**. 179f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4607>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ENGSTRÖM, F., *et al.* A study of the solubility of pure slag minerals.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Minerals Engineering, v. 41, p. 46-52, fev. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089268751200341X>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FABIANO GONTIJO, M. A. I. A.; TONINI, A. M. A Sustentabilidade em Empresas do Setor Siderúrgico: relatos de desempenho ambiental, econômico e social. **Revista ESPACIOS**, v. 36, n. 8 p. 1-15, 2015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a15v36n08/15360805.html#cuatro>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FERNANDES, D. P. **Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 142f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas - NUGEO. Ouro Preto, 2010. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2325/1/DISSERT_A%C3%87%C3%83O_EstudoEstabiliza%C3%A7%C3%A3oQu%C3%ADmica.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

FERNANDES, I. **Blocos. Pavers**: Produção e controle de qualidade. 6. ed. São Paulo: Treino-Assessorias e Treinamentos Empresariais, 2016. 200p.

FERRAZ, H. O aço na construção civil. **Revista eletrônica de ciências**, São Carlos, v. 1, n. 22, p. 1-16, mar. 2003. Disponível em: <https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%20A%C7O%20NA%20CONSTRU%C7%C3O%20CIVIL.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FISCHER, Y. R., *et al.* Produção mais Limpa em uma Indústria Siderúrgica. *In: 5th International Workshop, Advances in Cleaner Production, Academic Work*, São Paulo, mai. 2015. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sessoes/5A/3/fischer_yr_et_al_academic.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

GEYER, R. M. T. **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto**. 2001. 187f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 175p.

IABr - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Siderurgia no mundo**. IABr, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.acobrasil.org.br/site2015/siderurgia_mundo.asp. Acesso em: 23 mar. 2021.

IABr - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2018 - Dados 2016/2017**. IABr, Rio de Janeiro, 2018 Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/assets/pdfs/A%C3%A7o%20Brasil%20%C2%BB%20Completo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

IABr - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Situação atual do setor**. IABr, Estatística Mensal, Rio de Janeiro, 2021 Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/estatistica-mensal/>. Acesso em: 07 set. 2021.

IANALÍTICA. CEMS em Siderurgia. **Ianalítica Consultoria e Treinamentos**, Trindade, 2011. Disponível em: <https://ianalitica.com.br/aplicacoes-com-analisadores-industriais/cems-em-siderurgia/>. Acesso em: 23 mar. 2021.

LANDIM DE CARVALHO, P. S., *et al.* Minério de ferro. **BNDES Setorial**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 197-234, 2014. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4802>. Acesso em: 23 mar. 2021.

LEE, K. L.; SEED, H. B. Drained strength characteristics of sands. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, v. 93, n. 6, p. 117-141, 1967. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JSFEAQ.0001048>. Acesso em: 16 jan. 2022.

LEOCÁDEA DA SILVA, F. **Aproveitamento e reciclagem de**

BOF PROCESSADA NO BSSF.

resíduos da concentração de minério de ferro na produção de Pavers e cerâmica. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3501>. Acesso em: 23 mar. 2021.

LIU, S.; YAN, P. Influence of limestone powder on filling effect of cement paste and pore structure of sand grout. **Journal-Chinese Ceramic Society**, v. 36, n. 1, p. 69, 2008. Disponível em: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-GXYB200801016.htm. Acesso em: 23 mar. 2021.

MACHADO, M. L. P. **Elaboração, refino e lingotamento do aço.** Centro Federal de Educação tecnológica do Espírito Santo, Vitória, 2007. 106p.

MOURAO, M. B. **Redução de óxidos de ferro por carbono dissolvido em ligas ferro-carbono líquidas.** 164 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-01082017-145920/en.php>. Acesso em: 05 set. 2022.

MCNALLY, R. J; PATEL, H. BAOSTEEL - **Steel Waste into Revenue Streams. Innovation Excellence.** 2012. Disponível em: <https://1library.org/article/american-association-state-highway-transportation-officials-em-rom.z1dmk13z>. Acesso em: 06 dez. 2021.

MIN, Y., *et al.* Physical simulation of molten slag granulation by rotary disk. **Journal of Iron and Steel Research International**, v. 20, n. 9, p. 26-32, 2013. Disponível em: [https://link.springer.com/article/10.1016/S1006-706X\(13\)60152-1](https://link.springer.com/article/10.1016/S1006-706X(13)60152-1). Acesso em: 23 mar. 2021.

NASCIMENTO, J. F. **Estudo da expansibilidade em escória de aciaria para uso em pavimentação rodoviária.** 177 f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Hídricos. Belo Horizonte, 2003.

NETINGER, I. B. D. *et al.* Utilisation of steel slag as an aggregate in concrete. **Mater Struct**, v. 1, n. 44, p. 1565–1575, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-011-9719-8>. Acesso em: 23 mar. 2021.

OLIVEIRA ALVES, J. **Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lâ mineral**. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. Disponível em: http://bdt.d.ibict.br/vufind/Record/UFOP_e797d4492f9da39f688ed72be183e69e. Acesso em: 23 mar. 2021.

OLIVEIRA E SOUZA, E. B. de. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. 128 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ENGD-7ABNJZ>. Acesso em: 23 mar. 2021.

OLIVEIRA, B. S., *et al.* Avaliação do potencial do reaproveitamento da escória de aciaria Id como agregado siderúrgico. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis v. 7, n. 2, p. 206-229, abr./jun., 2018. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/6208/3754. Acesso em: 23 mar. 2021.

PEIXOTO, R. A. F., *et al.* Habitações sustentáveis construídas a partir de elementos construtivos produzidos com resíduos de escória de aciaria. *In: Anais do 53º Congresso Brasileiro de Concreto CBC - IBRACON*, Florianópolis, nov., 2011. Disponível em: http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/HABITAcOES_SUSTENTaVEIS.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

PERENTELLI, N. D. **Aplicação da análise envoltória de dados no estudo da eficiência econômica - financeira da indústria siderúrgica brasileira nos anos 2004 e 2005**. 100f. Dissertação (Mestrado em Gestão de organizações) - Universidade Metodista de São Paulo, São Bernardo do Campo, 2007. Disponível em: <http://tede.metodista.br/jspui/handle/tede/99>. Acesso em: 23 mar. 2021.

PERNAMBUCO. Lei nº 12.008, de 01 de junho de 2001. **Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências**. Recife, 2001. Disponível em: http://www.semas.pe.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=3a43a797-ca08-422b-8199-b08d96b4c8f2&groupId=709017. Acesso em: 23 mar. 2021.

PERNAMBUCO. Lei nº 14. 236, de 13 de dezembro de 2010. **Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências**. Recife, 2010. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%2014236;141010;20101229.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

PERNAMBUCO. Decreto nº 38.483, de 1º de agosto de 2012. **Torna obrigatória a observância, pela Administração Pública Direta e Indireta do Estado de Pernambuco, do Plano Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências**. Recife, 2012-a. Disponível em: <http://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=5219>. Acesso em: 23 mar. 2021.

PERNAMBUCO. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos - Pernambuco**. Recife, 2012-b. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/PlanoResiduoSolido_FINAL_002.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

PINTO FERNANDES, D. **Estudo de estabilização química, geomecânica e ambiental das escórias de aciaria LD para fins de aplicação como material de lastro ferroviário em vias sinalizadas**. 142f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010. Disponível

BOF PROCESSADA NO BSSF.

em: <https://repositorio.ufop.br/handle/123456789/2325>. Acesso em: 23 mar. 2021.

PINTO JÚNIOR, L. A. B. **Fabricação de cimento Portland contendo mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito**. 162f. Dissertação (mestrado de engenharia metalúrgica e materiais) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6162276-Fabricacao-de-cimento-portland-contendo-mistura-de-escoria-de-aciaria-ld-e-residuo-de-granito.html>. Acesso em: 23 mar. 2021.

POLESE, M. O. *et al.* Caracterização microestrutural da escória de aciaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, p. 444-454, out./dez., 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v11n4/v11n4a10.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

POLISSENI, A. E. Caracterização da escória de aciaria oriunda de Juiz de Fora destinada à fabricação de cimento. *In: Anais do 44º REIBRAC*. Belo Horizonte: Ibracon, 2002.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, Set., 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/CV4mMT9vzzkbnDFtYN9wWVWk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 set. 2022.

QI, L.; LIU, J.; LIU, Q. Compound effect of CaCO₃ and CaSO₄·2H₂O on the strength of steel slag-cement binding materials. **Materials Research**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 269-275, mar., 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-14392016000200269&script=sci_arttext. Acesso em: 23 mar. 2021.

RENÓ BARBOSA, M. **Caracterização Geoambiental da Escória de Aciaria de Cinco Estados Brasileiros**. 158f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Núcleo de Geotecnia – Nugeo, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em:

BOF PROCESSADA NO BSSF.

https://www.nugeo.ufop.br/uploads/nugeo_2014/teses/arquivos/dissemtacao-caracterizacaogeoambientalescorias.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

RIBEIRO BORGES, P. H., *et al.* Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 153-168, abr./jun., 2014. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/39979>. Acesso em: 23 mar. 2021.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos siderúrgicos**: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo: Campo Belo, 2005.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos Processos de Refino Primário Aços nos Fornos Elétricos a Arco**. São Paulo: ABM, 2006.

SEZER, G. I.; GÜLDEREN, M. Usage of steel slag in concrete as fine and/or coarse aggregate. **Niscair**, v.22, n. 1, p. 339-344, jun., 2015. Disponível em: <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/31757>. Acesso em: 23 mar. 2021.

TIEDEMANN, D. A. Variability of laboratory relative density test results. In: **Evaluation of relative density and its role in geotechnical projects involving Cohesionless soils**. ASTM International, jan., 1973. Disponível em: <https://www.astm.org/stp37863s.html>. Acesso em: 16 jan. 2021.

TOFFOLO, R. V. M., *et al.* Viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro. In: **Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto**, Natal, 2014. Disponível em: <http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/BannerTOFFOLO.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

WALIGORA, J., *et al.* Chemical and mineralogical characterizations of LD converter steel slags: A multi-analytical techniques approach. **Material Characterization**, v. 61, n. 1, p. 39-48, Jan., 2010.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1044580309003192?casa_token=ftQ5qdSOVPQAAAAA:wRjlvWbXHVA6Y3thKVILNCIYtcNORzIGnk16vGRboM5iTdf4Hept4sapDYVKdprx4kQj5Zwc40.

Acesso em: 05 set. 2022.

YELLISHETTY, M. K. V, *et al.* Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: A case study. **Resour Conserv Recycl**, v. 1, n. 52, p. 1283 –1289, 2008. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.resconrec.2008.07.007>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

ANEXOS

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Anexo A: Ensaios de caracterização da escória.

Associação
Brasileira de
Cimento Portland

ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 118182

205/30

Interessado: Votorantim Cimentos S.A.**Endereço:** Rua Gomes de Carvalho, 1996 – CEP 04547-006 – São Paulo/SP**Referência:** Orçamento 79356**Amostra nº:** 214663**Data de entrada:** 21.06.18**Material declarado:** Escória**Período de realização dos ensaios:** 25.06.18 a 27.07.18**Objetivo:** Avaliação da potencialidade do emprego da escória como agregado siderúrgico para concreto ou na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de caracterização química e física de uma amostra de escória visando sua utilização como agregado siderúrgico para concreto ou na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária.

Foram realizados ensaios para determinação da composição química, análise granulométrica, determinação do índice de desgaste por abrasão *Los Angeles*, absorção de água, massa específica, teor de material fino que passa através da peneira de 75µm, sanidade, expansão volumétrica e ensaios de reação álcali-agregado.

A amostra coletada e enviada pelo interessado recebeu as seguintes identificações:

ABCP

Interessado

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

214663	Escória granulada
--------	-------------------

2. MÉTODOS DE ENSAIO

NBR NM 46/03	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem
NBR NM 51/01	Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"
NBR NM 53/03	Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água
NBR NM 248/03	Agregados - Determinação da composição granulométrica
NBR 5564/11	Via férrea - Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio - Anexo A - Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada
NBR 7211/09	Agregados para concreto - Especificação
NBR 7809/06	Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro
NBR 9895/16	Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio
NBR 16364/15	Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária
PO-GT-3050	Análise química completa de escória
PO-GT-5065	Agregados - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade)

3. resultados

3.1. Amostra

A Foto 1 ilustra a amostra de escória recebida para a realização dos ensaios.

BOF PROCESSADA NO BSSF.



FOTO – 1 – Amostra de escória granulada

3.2. Análise Química

A *Tabela 1* apresenta os resultados da análise química da amostra de escória.

TABELA 1 – Análise química da amostra de escória

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Ensaio	Resultados (% em massa na base seca)
Perda ao fogo – PF	0,00
Dióxido de silício – SiO ₂	14,26
Óxido de alumínio – Al ₂ O ₃	2,67
Óxido de ferro – Fe ₂ O ₃	27,00
Óxido de cálcio – CaO	40,01
Óxido de magnésio – MgO	9,16
Óxido de sódio total – Na ₂ O	0,008
Óxido de potássio total – K ₂ O	0,01
Pentóxido de fósforo – P ₂ O ₅	3,2
Óxido de manganês – MnO	3,0
Sulfeto – S	0,02
Resíduo insolúvel – RI	0,50
Umidade	2,68

BOF PROCESSADA NO BSSF.

3.1. Determinação da Distribuição Granulométrica

A *Tabela 2* apresenta os resultados dos ensaios de distribuição granulométrica da amostra de escória.

TABELA 2 – Distribuição granulométrica

Porcentagem retida, em massa		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Escória	
	Individual	Acumulada
63	0	0
50	0	0
37,5	0	0
31,5	0	0
25	0	0
19	0	0
12,5	4	4
9,5	3	7
6,3	13	20
4,75	22	42
2,36	39	81
1,18	16	97
0,6	3	100
0,3	0	100
0,15	0	100

FISPO

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

<0,15	0	100
Total	100	527
Dimensão máxima característica (mm)	12,5	
Módulo de finura	5,27	

Com relação à composição granulométrica, a amostra de escória analisada não atende as zonas especificadas na NBR 7211, ficando condicionada a sua utilização a estudos específicos de dosagem do concreto.

A Tabela 3 apresenta as faixas granulométricas mencionadas na ABNT NBR 16364, que o agregado siderúrgico deve atender para ser utilizado na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária.

TABELA 3 – Distribuição granulométrica

Porcentagem em massa passando					
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)		Resultados obtidos		Especificação da ABNT NBR 16364	
		Escória		Faixas granulométricas	Tolerância da faixa de projeto
50	2"	100		100	± 7
25	1"	100		80 – 100	± 7
9,5	3/8"	93		50 – 85	± 7
4,75	Nº 4	58		35 – 65	± 5
2,00	Nº 10	14		20 – 50	± 5
0,42	Nº 40	0		5 – 30	± 2
0,075	Nº 200	0		0 – 15	± 2

A amostra de escória não atende todas as faixas granulométrica mencionadas na ABNT NBR 16364/2015, necessitando adequá-las para viabilizar sua utilização

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

3.2. Caracterização física de agregado

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de determinação do índice de desgaste por abrasão “Los Angeles”, índice de forma, porcentagem de partículas lamelares, absorção, massa específica e teor de material fino que passa através da peneira 75 µm.

TABELA 4 – Resultados

Ensaio		Resultados	Limites da ABNT NBR 7211	Limites da ABNT NBR 16364
Absorção (%)		1,6	-	-
Índice de forma		(1)	$\leq 3^{(2)}$	$\geq 0,5^{(3)}$
Porcentagem de partículas lamelares		(1)	-	$\leq 10^{(3)}$
Abrasão Los Angeles (graduação D) (%)		19	< 50	< 55
Teor de material fino que passa pela peneira 75 µm (%)		0,4	1,0	-
Massa específica (g/cm ³)	Aparente	3,48	-	-
	Superfície Saturada Seca	3,53	-	-
	Real	3,68	-	-

- 1) Ensaio não necessário. Material apresentou dimensão máxima característica de 12,5mm.
- 2) Determinado conforme ABNT NBR 7809/06 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.
- 3) Determinado conforme ABNT NBR 5564/11 - Via férrea - Lastro ferroviário - Anexo A - Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada

BOF PROCESSADA NO BSSF.

3.3. Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade) ¹

O ensaio de sanidade de agregados foi desenvolvido originalmente nos Estados Unidos para simular comportamento dos agregados frente à ação de gelo e degelo.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não prevê esse ensaio como metodologia normalizada, não sendo mencionada na *ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação*.

A Norma DNER-ME 089/94 estabelece a metodologia para o ensaio de sanidade e a Norma DNER ME 037/1997 os limites de perda de massa.

A *Tabela 5* apresenta os resultados dos ensaios de sanidade e os limites para agregado graúdo preconizados pelas normas ASTM C 33-13 e DNER-ME 037/97.

TABELA 5 – Resultados do ensaio de sanidade

Perda de massa ponderada (%)	Limites ASTM C-33/2013	Limites DNER ME 037/1997
0,27	< 10,0	< 12,0

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de sanidade, verifica-se que a amostra de **Escória** atende aos limites exigidos pelas normas ASTM C 33-11 e DNER-ME 037/97.

¹ O princípio da metodologia, baseada nas normas ASTM C 88 e DNER - ME 089, consiste em submeter os agregados devidamente classificados granulometricamente aos ciclos de molhagem por imersão e secagem, com determinação da perda de massa em cada fração e cálculo da perda de massa ponderada. Quando for o caso, indicar qualitativamente e reportar fenômenos de desintegração, fendilhamento, quebra, etc. das partículas.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

3.4. Expansão em autoclave

O ensaio de hidratação acelerada da escória com uso de autoclave foi realizado empregando-se o método ASTM C 151 *Autoclave Expansion of Portland Cement*, com substituição da pasta de cimento por argamassa contendo escória como agregado.

A *Tabela 6* apresenta a composição dos materiais utilizados para a preparação das barras de argamassa. A amostra de escória foi previamente preparada até obtenção da granulometria indicada.

TABELA 6 – Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)	% em massa	Massa (g)	
Agregado (escória)	4,8 - 2,4	10	99,0
	2,4 - 1,2	25	247,5
	1,2 - 0,6	25	247,5
	0,6 - 0,3	25	247,5
	0,3 - 0,15	15	148,5
	Total	100	990,0

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Cimento CP V-ARI ⁽¹⁾	-	440,0
Água destilada (a/c = 0,47)	-	206,8

(1) Cimento fornecido pela ABCP e não apresenta variação dimensional por hidratação acelerada por autoclave.

A *Tabela 7* apresenta os resultados de expansão das barras de argamassa submetidas à hidratação acelerada em autoclave.

TABELA 7 – Expansibilidade (%)

1ª determinação	2ª determinação	Média
0,109	0,110	0,11

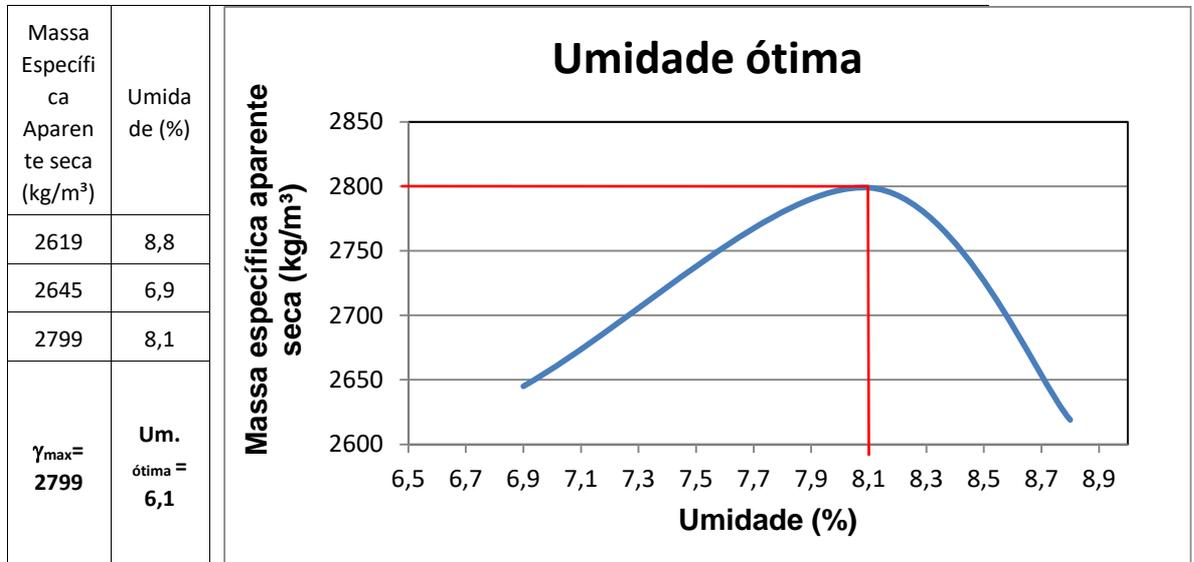
Os ensaios em autoclave revelaram que a amostra de escória apresenta baixa variação volumétrica, indicando que ela não é expansiva, característica que poderia limitar seu uso como agregado.

3.5. Índice de suporte Califórnia (ISC)

Para a determinação do Índice de Suporte Califórnia foram moldados três corpos de prova com o soquete de energia de compactação do método C (proctor modificado). Os resultados obtidos podem ser vistos na *Tabela 8* e ilustrados na *Figuras 1*.

TABELA 8 – Escória

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Com a definição das *Massas Específicas Aparentes Secas Máximas (M.E.A.Max.)* em função das *Umidades Ótimas (U.O.)*, foram definidos o *Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.)* e a *Expansão Volumétrica (E.V.)* da amostra de escória **Escória A**. *Tabela 9* apresenta os resultados obtidos.

TABELA 9 – Resultados

M. E. A. Max. (g/cm ³).	U. O. (%)	I.S.C. (%) ⁽¹⁾	E.V. (%)		Especificação ABNT NBR 16364	
			Submersa	Saturado	I.S.C. (%)	E.V. (%)
2799	8,1	≥ 80	0,04	0,13	≥ 80	< 3

1) Não foi possível realizar o ensaio completo devido à alta resistência da amostra à penetração.

A amostra de escória atende ao índice de suporte califórnia (ISC) e potencial de expansão especificados na ABNT NBR 16364/2015 para ser utilizada como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

BOF PROCESSADA NO BSSF.

3.6. Reação álcali-agregado

3.6.1. Dosagem da argamassa

A *Tabela 8* apresenta a composição dos materiais utilizada para a preparação de três barras de argamassa de (25 x 25 x 285) mm. A amostra de escória foi previamente britada e pulverizada, utilizando-se um britador de mandíbulas, marca Renard, modelo BMA 125.80, em seguida peneirada até obtenção da distribuição granulométrica indicada.

TABELA 8 – Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)		Massa (g)
Agregado	4,8 - 2,4	99,0
	2,4 - 1,2	247,5
	1,2 - 0,6	247,5
	0,6 - 0,3	247,5
	0,3 - 0,15	148,5
Cimento padrão		440,0
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8

3.6.2. Cimento padrão

O cimento padrão utilizado é do tipo CP V-ARI, que obedece integralmente às especificações da NBR 5733, cujas exigências adicionais da norma NBR 15577-4 estão registradas na *Tabela 9*.

TABELA 9 – Características do cimento padrão

Propriedade	Método de ensaio	Resultado	Especificação da NBR 15577-4
Óxido de sódio (Na ₂ O)	NBR NM 17	0,32 %	-

FISPOQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Óxido de potássio (K ₂ O)	NBR NM 17	0,81 %	-
Equivalente alcalino em Na ₂ O*	-	0,85 %	(0,90 ± 0,10) %
Área específica Blaine	ABNT NBR 16372	4910 cm²/g	(4900 ± 200) cm ² /g
Expansibilidade em autoclave	ASTM C 151	0,10 %	< 0,20 %

(*) Equivalente alcalino em Na₂O → Na₂O_{eq} = 0,658 %K₂O + %Na₂O

3.6.3. Resultados

A *Tabela 10* apresenta os resultados dos ensaios realizados, destacando-se os valores aos 14 e 28 dias de cura em solução de NaOH 1N a 80°C. A *Figura 2* ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

TABELA 10 - Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina

Idade de Cura agressiva (dias) ^(*)	Variações dimensionais médias (%)
1	-
2	-
3	0,01
4	-
5	0,02
6	-
7	0,03
8	-
9	-
10	0,03
11	-
12	0,03
13	-
14	0,03

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

15	-
16	-
17	0,03
18	-
19	0,03
20	-
21	0,03
22	-
23	-
24	0,03
25	-
26	0,03
27	-
28	0,04

- = leitura não realizada

(*) Para conhecer a idade do ensaio desde a moldagem acrescentar 2 dias

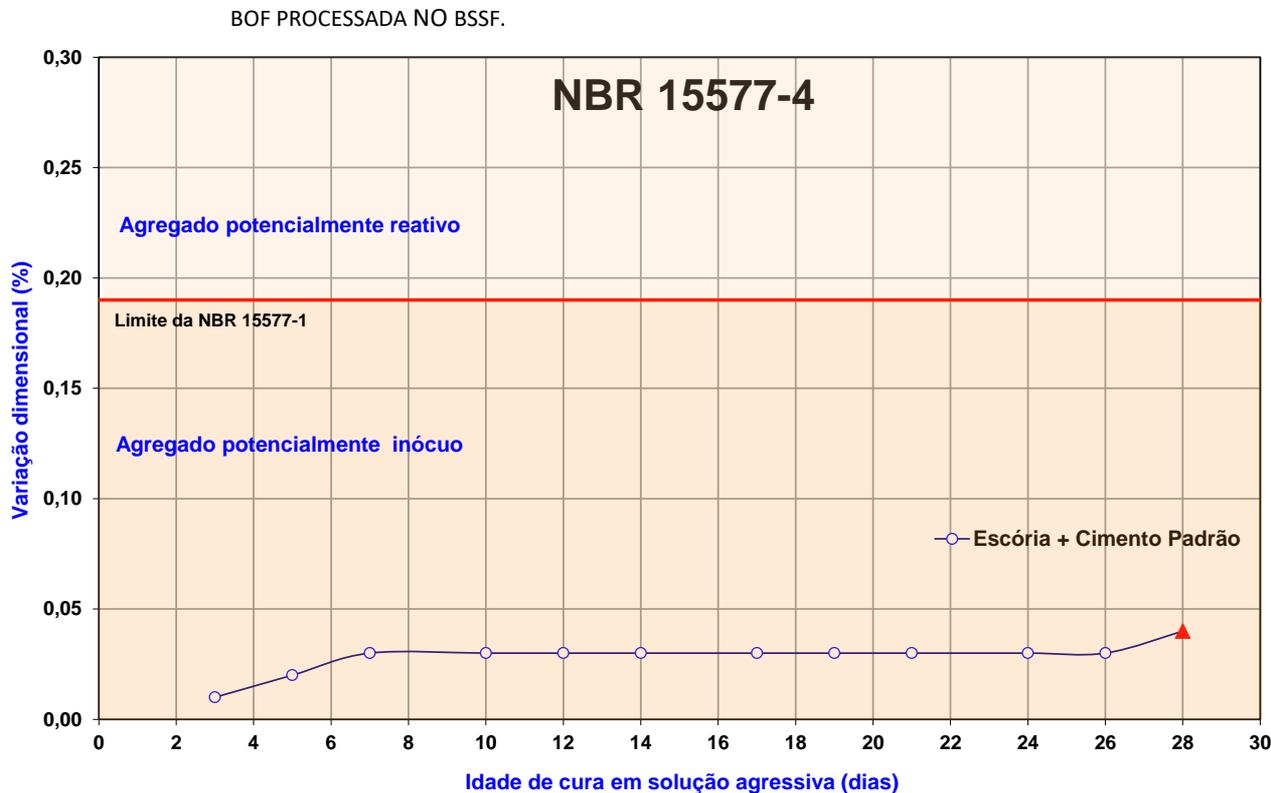


FIGURA 2 - Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

De acordo com a norma ABNT NBR 15577-1, quando o resultado do ensaio acelerado pela ABNT NBR 15577-4 indicar expansão menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina) o agregado é considerado potencialmente inócuo para uso em concreto. Expansão maior ou igual a 0,19% indica que o agregado é potencialmente reativo.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que o valor médio de expansão das barras de argamassa aos 28 dias de cura em solução alcalina da amostra de **Escória** foi de 0,04%, indicando que o agregado é **potencialmente inócuo** segundo os critérios estabelecidos.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de escória é constituída principalmente por CaO, Fe₂O₃, SiO₂, MgO e, secundariamente, por P₂O₅, MnO e Al₂O₃. Sua constituição indica provavelmente tratar-se de uma escória de aciaria de ferro elétrico.

Quanto ao uso como agregado para concreto, a Norma ABNT NBR 7211 não prevê uso de materiais artificiais. Entretanto, a amostra de escória apresenta características promissoras como baixa expansão, baixo desgaste por abrasão, que incentivam a realização de estudos de dosagem de concretos preparados com a escória com a finalidade de dar subsídios aos ajustes necessários ao seu emprego, dentre elas a distribuição granulométrica. Vale lembrar, finalmente, que uma alternativa é seu emprego em artefatos de concreto.

A amostra de escória é promissora para ser utilizada como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária, necessitando apenas de ajustes na composição granulométrica, obedecendo, portanto os requisitos da ABNT NBR 16364/15.

São Paulo, 10 de agosto de 2018.



FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Eng. Flávio André da Cunha Munhoz
Supervisor Laboratório de Cimento

Geól. Arnaldo Forti Battagin
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600586647



Associação
Brasileira de
Cimento Portland

ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 119426

221/30

Interessado: Votorantim Cimentos S.A.

Endereço: Rua Gomes de Carvalho, 1996 – CEP 04547-006 – São Paulo/SP

Referência: Orçamento 80772

Amostra nº: 216688

Data de entrada: 27.09.18

Material declarado: Escória

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Amostra nº: 216688

Data de entrada: 27.09.18

Período de realização dos ensaios: 28.09.18 a 18.10.18

Objetivo: Determinação do índice de suporte califórnia (ISC) e potencial de expansão

5. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de determinação do índice de suporte califórnia (ISC) e potencial de expansão referentes a uma amostra de escória de aciaria. A amostra coletada e enviada pelo interessado recebeu as seguintes identificações:

ABCP	Interessado
216688	Escória de aciaria

6. MÉTODOS DE ENSAIO

NBR 9895/16	Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio
NBR 16364/15	Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária
PO-GT-2074 Rev. 03	Avaliação do potencial de expansão da escória de aciaria

7. resultados

7.1. Índice de suporte Califórnia (ISC)

Para a determinação do Índice de Suporte Califórnia foram moldados três corpos de prova com o soquete de energia de compactação do método C (proctor modificado). Os resultados obtidos podem ser vistos na *Tabela 1* e ilustrados na *Figura 1*.

BOF PROCESSADA NO BSSF.



Com a definição das *Massas Específicas Aparentes Secas Máximas (M.E.A.Max.)* em função das *Umidades Ótimas (U.O.)*, foram definidos o *Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.)* e a *Expansão Volumétrica (E.V.)* da amostra de escória **Escória**. A *Tabela 2* apresenta os resultados obtidos.

TABELA 2 – Resultados

M. E. A. Max. (g/cm ³).	U. O. (%)	I.S.C. (%) ⁽¹⁾	E.V. (%)		Especificação ABNT NBR 16364	
			Submersa	Saturado	I.S.C. (%)	E.V. (%)
2971	7,0	≥ 80	0,09	0,09	≥ 80	< 3

2) Não foi possível realizar o ensaio completo devido à alta resistência da amostra à penetração.

FISPO

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

8. CoNSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de escória atende ao índice de suporte califórnia (ISC) e potencial de expansão especificados na ABNT NBR 16364/2015 para ser utilizada como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

São Paulo, 22 de outubro de 2018.



Eng. Flávio André da Cunha Munhoz
Supervisor Laboratório de Cimento



Geól. Arnaldo Forti Battagin
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600586647

Votorantim

A vida é feita para durar

DOSSIÊ TÉCNICO
(outubro 2019)

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

AGREGADO GRANULADO DE ACIARIA

MA TERIAL PRODUZIDO A PARTIR DA GERAÇÃO DA ESCÓRIA DE

ACIARIA PELA CSP/PECEM, ATRAVÉS DE TRATAMENTO

HIDRODINÂMICO DE RESFRIAMENTO BRUSCO COM MOAGEM

ACOPLADA. PROCESSO PATENTEADO PELA BAOSTEEL

ENGINEERING&TECHNOLOGY GROUP, DENOMINADO

COMERCIALMENTE COMO BSSF - Bosteei Slag Shott How

CONTEÚDO

BOF PROCESSADA NO BSSF.

A) DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO PARA
OBTENÇÃO DA

ESCÓRIA BSSF;

B) FICHA TÉCNICA

C) FISPQ;

D) NORMAS BRASILEIRAS PARA EXECUÇÃO DE
BASE, SUB-BASE

E SUBLEITO EM PAVIMENTAÇÃO;

E) TESTES EM LABORATÓRIOS EXTERNOS;

F) EXEMPLOS DE APLICAÇÕES EM OBRAS JÁ
REALIZADAS COM

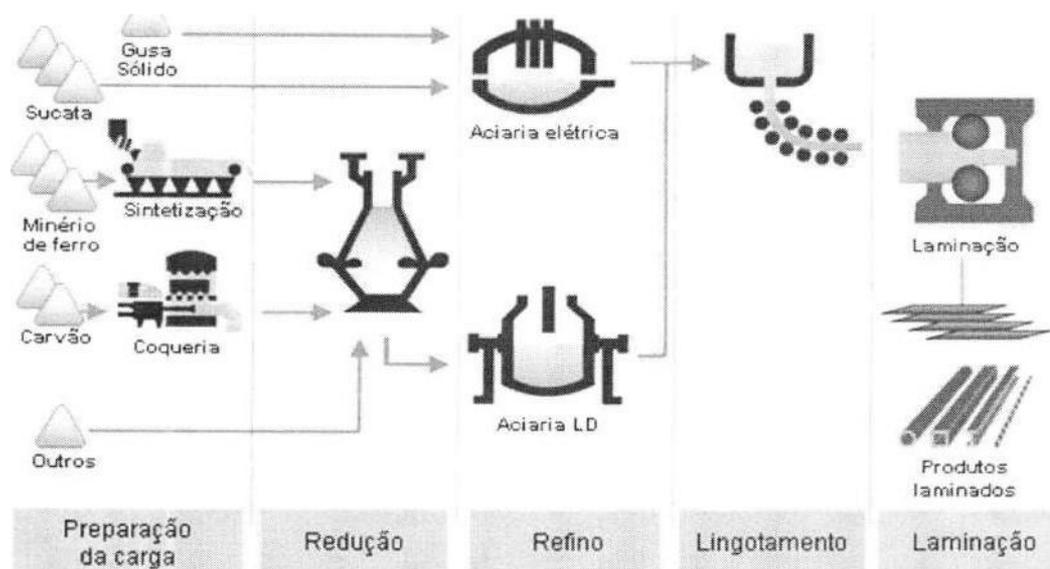
AGREGADO GRANULADO DE ACIARIA (BSSF);

G) TRABALHOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

BOF PROCESSADA NO BSSF.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO PARA OBTENÇÃO DA ESCÓRIA BSSF;

O aço é produzido basicamente, a partir de minério de ferro, carvão e cal. A fabricação do aço pode ser dividida em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação. O diagrama simplificado abaixo, resume as fases de produção:



É na fase do refino, onde estão os fornos da aciaria, que tem como objeto principal, a transformação do ferro gusa líquido ou sólido ou sucatas em aço. Mais de 80% das impurezas extraídas nesse processo, são ricas em óxido de cálcio, ferro e dióxido de silício, dando origem às

FISPOQ

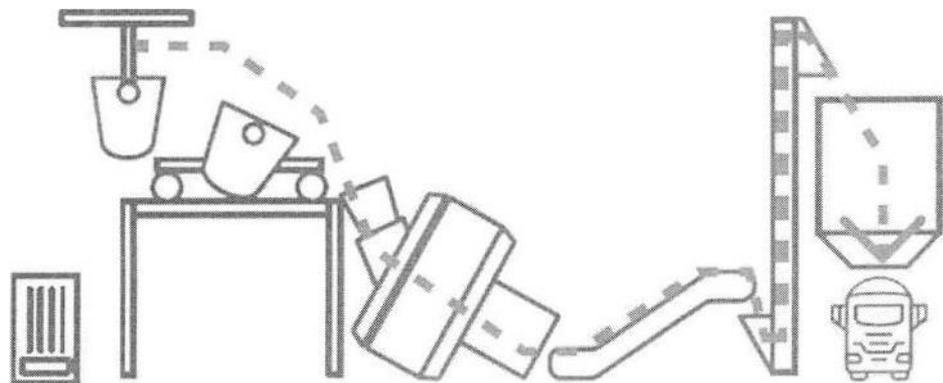
Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

escórias de aciaria. Comumente, esse material é rico em cal livre e magnésio, o que provoca expansões desordenadas, apesar de apresentar excelente resistência mecânica. O processo mais utilizado para estabilizar as reações expansivas desse material se dá através de ciclos de molhagem de água em grandes depósitos a céu aberto, que chega a durar até 12 meses.

Uma tecnologia que vem sendo aplicada para o tratamento da escória de aciaria LD (conversor a oxigênio) é o processo conhecido como BSSF (Baosteel's Slag Short Flow), desenvolvido pela Baosteel Metal Company (WORLDSTEEL ASSOCIATION, 2010). A Baosteel é uma usina siderúrgica integrada, onde o aço líquido é produzido em conversor LD (aciaria LD). O processo BSSF criado pela Baosteel é diferente de processos tradicionais de tratamento de escória, pois reduz o potencial do impacto ambiental, ocorrendo em uma unidade industrial dedicada, onde sofre um tratamento hidrodinâmico com uma moagem acoplada, dando origem a uma escória granulada, não expansiva e com baixo teor de metálicos.

A BSSF é um avanço metalúrgico no tratamento de escória de aciaria LD, que vem sendo aplicada em várias usinas siderúrgicas, tais como: Masteel, POSCQ JSW, dentre outras indústrias de grande e médio porte de produção de aço no mundo (MCNALLY, 2012). Esta tecnologia inédita, está disponível no Brasil, somente na unidade da CSP, localizada em PECEM, Ceará.



FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.
FLUXO ESQUEMÁTICO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA ESCORIA DE
ACIARIA PARA BSSF

АСНА ТЕСМСА

BOF PROCESSADA NO BSSF.

FICHA TÉCNICA

DESCRIÇÃO

O AGREGADO GRANULADO DE ACIARIA (AGA) é um agregado siderúrgico, obtido durante o processo de fabricação de aço, após a purificação do ferro gusa no forno de aciaria. As impurezas desse processo são captadas sob altas temperaturas e em estado líquido, transportadas em grandes recipientes para unidade de resfriamento hidrodinâmico e moagem, com objetivo de estabilizar as reações expansivas e controle de sua granulometria. É um processo único e patenteado pela indústria siderúrgica Baosteel, denominado escória BSSF. Possui excelentes resistências mecânicas, com baixo teor de metálicos, sendo uma excelente opção para aplicações em pavimentação, concretos, argamassas e em agrobusiness como corretivo de solos. Além de suas características técnicas, é um forte aliado as boas práticas de construção sustentável, contribuindo para a redução de CO₂ e uso de recursos naturais não renováveis, como aqueles provenientes da mineração de rochas, areia, jazidas de argilas e outros materiais primários.

COMPOSIÇÃO

O AGA é rico em óxido de cálcio (CaO), Dióxido de Silício (SiO₂) e Oxido de Ferro (Fe₂O₃), representando mais de 80 % de sua composição química. Seus teores de álcalis são praticamente nulos além do magnésio e cal livre presente, não exercerem reações expansivas. Possui teor de metálicos inferior a 5%, graças ao processo integrado de produção e separação eletro-mecânico inédito dessas partículas.

CAMPOS DE APLICAÇÃO

- Obras de pavimentação, como substituição de agregados naturais nas camadas de subleito, sub base, base e nas dosagens de CBUQ;

BOF PROCESSADA NO BSSF.

- Estradas vicinais como revestimento primário;
- Recomposição de aterros;
- Obras de terraplanagem que necessitam de reforço nas camadas de suporte;
- Agregados para concretos estruturais e não estruturais;
- Agregados para argamassas e microconcretos de alto desempenho;

VANTAGENS

- Excelentes resistências mecânicas;
- Não possui expansão volumétrica;
- Excelente durabilidade;
- Menor geração de CO₂ na cadeia de construção
- Substituição de recursos naturais não renováveis;
- Aumenta capacidade de suporte de materiais siltsos e argilosos o que permite otimizar o custo de transporte de materiais para execução das camadas do pavimento nas obras rodoviárias;

FISPO

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

ANALISE QUÍMICA	
ENSAIOS	Resultados (% em base seca)
Perda ao fogo -PF	0,00
Dióxido de Silício- SiO ₂	14,26
óxido de Alumínio • A2O ₃	2,67
Óxido de Ferro - Fe2O ₃	27,00
óxido de cálcio - Cao	40,01
Óxido de Magnésio - MgO	9,16
Óxido de sódio total - K ₂ O	0,008
Óxido de potássio total - K ₂ O	0,01
Pentóxido de fósforo - P ₂ O ₅	3,2
Óxido de Manganés - MnO	
Sulfeto - S	0,02
Resíduo Insolúvel - RI	0,50
Unidade	2,68

GRANULOMETRIA		
Porcentagem retida, em massa		
Penara ABNT Abertura nominal (mm)	AGA (Escoria BSSF)	
	Irviividtnl	Acumulada
12,5	3,0	3,0
		6,0
9,5	3,0	9,0
6,3	3,0	
4,75	12,0	21,0
2,36	21,0	42,0
1,18	36,0	78,0
0,6	15,0	93,0
		96,0
0,15	2,0	98,0
<0,15	2,0	100,0
	100,0	437,0
Total		
Dimensão máxima característica (mm)	12,5	
Módulo de finura	4,37	

EXPANSÃO AUTOCLAVE

EXPANSÃO POR AUTOCLAVE ASTM C151	
Determinação 1	0,109
Determinação 2	0,111
Média	0,11

ENSAIO SANIDADE

ENSAIO DE SANIDADE (Emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio)	
Limites ASTM C33J2013	< 10,0
Limites DNER ME 037/1997	< 12,0
Média	0,27

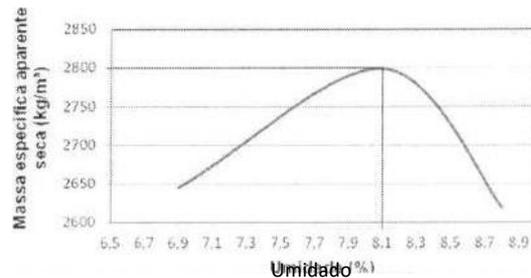
BOF PROCESSADA NO BSSF.

PAVIMENTAÇÃO (ABNT NBR 16364/2015)

TABELA 8 — Escória	
Massa Específica Aparente seca (kg/m ³)	Umidade
2619	
2645	
2799	
2799	6,1

Umidade ótima

Não foi possível realizar o ensaio completo devido à resistência da amostra à penetração.



I.sc		ABNT NBR 16364	
759	0,04	0,13	

Recomendações quanto ao uso

- **PAVIMENTAÇÃO**
- Para aplicações em subleito, sub base e base recomenda-se seguir as especificações e critérios pré-estabelecidos nas normas:
- DNIT 4016/2017 - Pavimentação rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com Açobrita@ - Especificação de serviço;
- DNIT 407/2017 - Pavimentação rodoviária - Sub-base estabilizada granulometricamente com Açobrita@ - Especificação de serviço
- DNER 114/2009 - Pavimentação rodoviária — Sub-base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria - ACERITA@ - Especificação de Serviço;
- DNER 115/2009 - Pavimentação rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria - ACERITA@ - Especificação de serviço;
- DNIT 160/2012 - Solos — Determinação da expansibilidade — Método de ensaio;

BOF PROCESSADA NO BSSF.

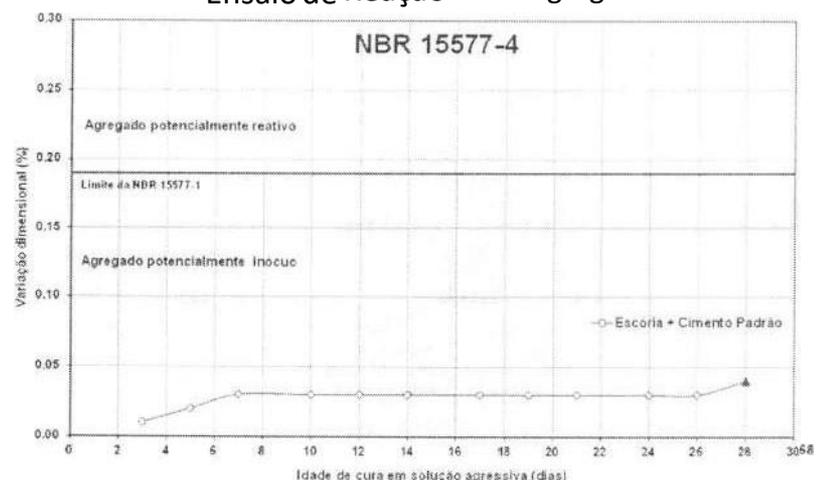
- NBR 16364 - Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária - Procedimento;

• CONCRETOS

- Apesar de até o momento não haver norma específica para agregados siderúrgicos para uso em concreto, para o agregado AGA (escória de aciaria extraída pelo processo BSSF), suas características físicas atendem a NBR 7211, sendo necessário, apenas um ajuste adequado na granulometria do concreto;
- Para concretos classificados, classificados como classe III e IV, da norma NBR6118, recomenda-se a execução de testes adicionais de durabilidade, como absorção, permeabilidade sob pressão, caso o projeto estrutural exigir tais parâmetros;
- O agregado AGA, possui propriedade inócua, quanto aos ensaios de reação álcali agregado de acordo com a norma NBR 15577-1 e NBR 15577-4;
- O agregado AGA, é um material que possui baixa expansão, e de acordo com a norma ASTM C1 51 , atende aos limites prescritos para seu uso

em

Ensaio de Reação Álcali-agregado



concretos e pavimentos;

FIGURA 2 - Gráfico da evolução da expansão com tempo de cura em solução alcalina

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Companhia
Siderúrgica
do Pecém

FISPQ NP 002

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO BOF PROCESSADA NO BSSF.

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	01	página 1 de 6

1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Nome da substância ou mistura (nome comercial): Escória Granulada de Aciaria
 Recomendações de utilização para a substância ou mistura: Material utilizado para a construção de estradas e agregados de cimento
 Nome da empresa: Companhia Siderúrgica do Pecém — CSP
 CNPJ: 09509535/0001-67
 Endereço: Rodovia CE 422, Km 11,5 — S/N — São Gonçalo do Amarante — CE.
 Telefone da empresa: 55 85 - 3033-3800.
 Telefone de emergências: (85) 3104-8287.

2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

	Efeitos / Sintomas da exposição
Inalação	Em geral a sintomatologia é proporcional ao grau de exposição e susceptibilidade do operador. Exposição aguda à poeira de trituração poderá causar irritação das vias respiratórias: tosse, espirros, sensação de falta de ar, entre outros. Exposição repetida e prolongada poderá causar intensificação do quadro acima citado,
	O contato repetitivo com o pó pode causar alterações na pele= ressecamento, coceira e desconforto cutâneo.
Olhos	Em contato com os olhos podem ocorrer inflamações como conjuntivites.
Ingestão	Pode causar inflamação com sensação de queimação na mucosa da boca, esôfago e estômago. A ingestão de grandes quantidades pode causar problemas intestinais e possível formação de agregado sólido no estômago e intestino

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Meio Ambiente	Não são esperados efeitos ambientais em condições normais de trabalho,
---------------	--

Outros perigos que não resultam em uma mistura: Não disponível.

3. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÃO SOBRE OS INGREDIENTES

Produto químico preparado CAS (N.A.)

A escória é gerada durante o refino do aço nos convertedores e processada através do BSSF. A composição química típica segue abaixo:

Companh
Siderúrgica
do Pecém

FISPQ NO 002

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	01	Página 2 de 6

Faixa de Concentração (%)

CaO: 34-43

MgO: 4-8

SiO₂: 9-14

Al₂O₃: 2-9

Fe₂O₃: 25-45

MEDIDAS DE PRIMEIROS-SOCORROS

	Prevenção	Ação
--	-----------	------

FISPQ

Em conformidade com NBR 14725:2014

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Inalação	Trabalhar em ambiente ventilado, de preferência com uso de máscaras e/ou exaustão. Caso haja possibilidade de concentrações inaceitáveis de poeira no ar, e não seja possível a utilização de proteção coletiva eficiente, deve ser elaborado um programa de proteção respiratória, de acordo com a Instrução Normativa no 1 de 11/04/1994 do MT.	Remover a pessoa para local fresco e arejado. Procure assistência médica.
Pele	Evitar contato com a pele. Usar roupas e luvas resistentes à abrasão e materiais alcalinos. Não usar cremes nas mãos no lugar de luvas.	Lavar imediatamente com bastante água corrente e sabão, por pelo menos 15 minutos. Remover toda roupa contaminada, para evitar contato com a pele. Procurar assistência médica.



FISPQ NP 002

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	OI	Página 3 de 6
	Prevenção	Ação
Olhos	Usar óculos de proteção. Não devem ser utilizadas lentes de contato.	Lavar imediatamente com bastante água, por pelo menos 15 minutos. Assegurar que as pálpebras estejam abertas e que os olhos se movam por todas as direções. Procurar assistência médica.

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Ingestão	Não fumar, beber ou comer no ambiente de trabalho. Lavar as mãos antes das refeições. Evitar todas as práticas de trabalho que possam permitir o contato com a boca.	NÃO PROVOCAR VÔMITO. Fornecer bastante água ou leite. Procurar assistência médica.
Meio Ambiente	Evitar descarte no esgoto ou em rios, córregos e lagos.	Dispor o material para reciclagem ou alocar em aterro sanitário.

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Não é inflamável.

6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO/VAZAMENTO

Limpar todo o derramamento deste material para evitar levantamento de poeira e coletar em recipientes apropriados.

Os materiais serão transportados através de caminhões cobertos com lonas.

MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Manuseio: Manusear com cuidado. Evitar contato direto com a pele. Evitar geração de poeira.

Armazenamento: O material é estocado em silos e descarregados diretamente em caminhões. Os caminhões após carregamento são cobertos de lona. Em estocagens poderão ser seguidos os requisitos da NBR 11174 ou requisitos do órgão licenciador da empresa receptora do material, pois é classificado como Inerte.

CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

FIS PQ NP 002



FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	OI	Página 4 de 6

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Valores limites de exposição 10mg/m³, concentração média de g horas. Utilizar exaustores para manter o nível de poeira abaixo dos limites de exposição em locais de trabalho com ventilação fraca e empoeirados.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO PESSOAL:

- Proteção dos olhos: Usar ÓCULOS de segurança tipo ampla visão para prevenir contato com os olhos. Não é recomendado usar lentes de contato ao manusear este produto em condições com alta concentração de poeira.
- Proteção para a pele: Usar luvas impermeáveis, botas e roupas protetoras para evitar o contato com a pele.
- Proteção respiratória: Em condições normais nenhuma proteção respiratória é requerida. Usar proteção respiratória em condições com alta concentração de poeira.

9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aspecto (estado físico, forma, cor): Sólido granulado / Sem Cheiro / Cor: cinza

pH: Não aplicável.

Ponto de Ebulição: Não Aplicável

Ponto de Fusão: Não Aplicável

Massa Específica Absoluta: Não Aplicável

Pressão de vapor (mm Hg): Não Aplicável

Solubilidade em água: Não Aplicável

Densidade relativa do vapor a 200C: Não Aplicável

Ponto de Fulgor (vaso fechado): Não Aplicável

Massa Específica Aparente: Não aplicável

Temperatura de auto-ignição: Não Aplicável

Limite de explosividade, % vol no ar: nenhum

Velocidade de evaporação (acetato de butila = 1): Não Aplicável

Coefficiente de partição octanol / água: Não Aplicável

Taxa de evaporação: Não Aplicável

BOF PROCESSADA NO BSSF.

Companhia
Industri
do Pacém

FISPO NO 002

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	01	Página 5 de 6

10. ESTABILIDADE

Estabilidade química: Produto estável em condições normais

Reações perigosas: Nenhuma.

Condições a serem evitadas: Nenhuma.

Materiais ou substâncias incompatíveis: Nenhuma.

Produtos perigosos da decomposição: Nenhum.

11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade aguda: Produto não classificado como tóxico. Ver itens 3 e 4.

12. INFORMAÇÕES

ECOLÓGICAS

Ecotoxicidade: Não reconhecida toxicidade às plantas ou animais.

Persistência e degradabilidade: Os componentes são insolúveis.

Potencial bioacumulativo: Nenhum.

Mobilidade: Nenhuma.

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto: Em caso de derramamento em meio úmido ocorre aumento do pH da água (mais básico).

13. CONSIDERAÇÕES SOBRE DESTINAÇÃO FINAL

Pequenas quantidades de material podem ser dispostas como resíduo comum ou devolvida ao recipiente para uso posterior se não estiver contaminada.

14. INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

Não é considerado produto químico perigoso, portanto não se aplicam códigos e classificações para transporte terrestre, fluvial, marítimo ou aéreo.

FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO

PRODUTO: ESCÓRIA DO BOF PROCESSADA NO BSSF.

DATA DA ÚLTIMA REVISÃO	REVISÃO	PÁGINA
-01/02/2019	01	Página 6 de 6

15. REGULAMENTAÇÕES

Por não ser produto químico perigoso ou tóxico não existem regulamentações específicas.

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Limites de exposição ocupacional: 10 mg/ m³ (ACGIH) poeiras totais.

NORMAS BRASILEIRAS

EXECUÇÃO DE SUB-BASE E BASE DE PAVIMENTOS

Relatório de ensaio ne 118182

Fev 2017	NORMA DNIT 406/2017 - ES
Pavimentação rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com Açobrita® - Especificação de serviço	
Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR	
Processo: 50600.085487/2012-72	
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 21/02/2017	
<i>Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.</i>	
Palavras-chave: Pavimentação, base, agregado siderurgico	Nº Total de páginas 10

Fev 2017	NORMA DNIT 407/2017 - ES
Pavimentação rodoviária - Sub-base estabilizada granulometricamente com Açobrita® - Especificação de serviço	
Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR	
Processo: 50600.085487/2012-72	
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 21/02/2017	
<i>Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.</i>	
Palavras-chave: Pavimentação, base, Açobrita®	Nº Total de páginas 10

de

Abril 2012	NORMA DNIT 160/2012 - ME
Solos — Determinação da expansibilidade — Método de ensaio de Pesquisas Rodoviárias •	
Revisão da Norma ONER.ME 029/94	
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 03/04/2012	
<i>Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.</i>	
Palavras-Chave: Solos, expansibilidade	

Out/2009	NORMA DNIT 114/2009 • ES
Pavimentação rodoviária — Sub-base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria • ACERITA ^a - Especificação de Servi 0	
Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR	
Processo: 50607.000.513/2009-14	
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 28/10/2009	
<i>Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.</i>	
Palavras-Chave: Pavimentação, sub-base, escoria de aciaria	

Out/2009	NORMA DNIT 115/2009 • ES
Pavimentação rodoviária • Base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria ACERITA TM • Especificação de serviço	
Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR	
Processo: 50607.000.513/2009-14	
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 28/10/2009	
<i>Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.</i>	
Palavras-Chave: Pavimentação, base, escoria de aciaria	

Relatório de ensaio ne 118182

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
16364

Primeira edição
10.04.2015

Válida a partir de
10.05.2015

Execução de sub-base e base estabilizadas
granulometricamente com agregado
siderúrgico para pavimentação rodoviária —

Procedimento

Execution of sub-base and stabilized base granularly with siderurgic aggregate road paving — procedure

ENSAIOS FISICO E QUIMICOS (Laboratorio ABCP)

Amostra ng: 214663

Data de entrada: 21.06.18

Material declarado: Escória

Período de realização dos ensaios: 25.06.18 a 27.07.18

Objetivo: Avaliação da potencialidade do emprego da escória como agregado siderúrgico para concreto ou na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária



Interessado: Votorantim Cimentos S.A.

Endereço: Rua Gomes de Carvalho, 1996 - CEP 04547-006 - São Paulo/SP

Referência: Orçamento 79356

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de caracterização química e física de uma amostra de escória visando sua utilização como agregado siderúrgico para concreto ou na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária.

Foram realizados ensaios para determinação da composição química, análise granulométrica, determinação do índice de desgaste por abrasão Los Angeles, absorção de água, massa específica, teor de material fino que passa através da peneira de 75µm, sanidade, expansão volumétrica e ensaios de reação álcali-agregado.

A amostra coletada e enviada pelo interessado recebeu as seguintes identificações:

ABCP	Interessado
214663	Escória granulada

2. MÉTODOS DE ENSAIO

NBR NM 46/03	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem
NBR NM 51/01	Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles"
NBR NM 53/03	Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água
NBR NM 248/03	Agregados - Determinação da composição granulométrica
NBR 5564/11	Via férrea - Lastro ferroviário — Requisitos e métodos de ensaio - Anexo A - Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada
NBR 7211/09	Agregados para concreto - Especificação

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

AV, Torres de Oliveira, 76 CEP 05347-902 São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5370 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br

NBR 7809/06	Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro
NBR 9895/16	Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio
NBR 16364/15	Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária
PO-GT-3050	Análise química completa de escória

PO-GT-5065

Agregados - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade)

3. RESULTADOS

3.1. Amostra

A Foto I ilustra a amostra de escória recebida para a realização dos ensaios.



FOTO — I — Amostra de escória granulada

tão

Paulo, SP

3.2. Análise Química

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise química da amostra de escória.

TABELA I — Análise química da amostra de escória

Ensaio	Resultados (% em massa na base seca)
--------	---

Relatório de ensaio ne 118182

Perda ao fogo — PF	0,00
Dióxido de silício — SiO ₂	14,26
Óxido de alumínio — Al ₂ O ₃	2,67
Óxido de ferro — Fe ₂ O ₃	27
Óxido de cálcio — CaO	40,01
Óxido de magnésio — MgO	9,16
Óxido de sódio total — Na ₂ O	0,008
Óxido de potássio total — K ₂ O	0,01
Pentóxido de fósforo — P ₂ O ₅	3,2
Óxido de manganês — MnO	3,0
Sulfeto - S	0,02
Resíduo insolúvel — RI	0,50
Umidade	2,68

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 São Pau10/SP Fone (IA) 3760-5370 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br



3.1. Determinação da Distribuição Granulométrica

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de distribuição granulométrica da amostra de escória.

TABELA 2 — Distribuição granulométrica

Porcentagem retida, em massa		
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Escória	
	Individual	Acumulada
63		
50		
37,5		
31,5		
25		
19		
12,5	4	4
9,5	3	7
	13	20
4,75	22	42
2,36	39	81
1,18	16	97
	3	100
		100
0,15		100
		100
Total	100	527
Dimensão máxima característica (mm)	12,5	
Módulo de finura	5,27	

Com relação à composição granulométrica, a amostra de escória analisada não atende as zonas especificadas na NBR 7211, ficando condicionada a sua utilização a estudos específicos de dosagem do concreto.

A Tabela 3 apresenta as faixas granulométricas mencionadas na ABNT NBR 16364, que o agregado siderúrgico deve atender para ser utilizado na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária.

tão

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



Paulo/SP

TABELA 3 — Distribuição granulométrica

Porcentagem em massa passando					
Peneira ABNT Abertura nominal (mm)		Resultados obtidos		Especificação da ABNT NBR 16364	
		Escória		Faixas granulométricas	Tolerância da faixa de projeto
50	2"	100		100	
25		100		80 - 100	
9,5	3/8"	93		50 - 85	
4,75		58		35 - 65	
2,00	NP 10	14		20 - 50	
0,42	NP 40			5-30	
0,075	NP 200			0- 15	

A amostra de escória não atende todas as faixas granulométrica mencionadas na ABNT NBR 16364/2015, necessitando adequá-las para viabilizar sua utilização como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

3.2. Caracterização física de agregado

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de determinação do índice de desgaste por abrasão "Los Angeles", índice de forma, porcentagem de partículas lamelares, absorção, massa específica e teor de material fino que passa através da peneira 75 um.

TABELA 4 - Resultados

Ensaio		Resultados	Limites da ABNT NBR 7211	Limites da ABNT NBR 16364
Absorção (%)		1,6		
Índice de forma		(1)	32)	
Porcentagem de partículas lamelares		(1)		
Abrasão Los Angeles (graduação D) (%)		19	< 50	< 55
Teor de material fino que passa pela peneira 75 1-1m (%)		0,4	1,0	
Massa específica (g/cm ³)	Aparente	3,48		
	Superfície Saturada Seca	3,53		
	Real	3,68		

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



- 1) Ensaio não necessários. Material apresentou dimensão máxima característica de 12,5mm.
- 2) Determinado conforme ABNT NBR 7809/06 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro

tão

Pau10/SP

- 3) Determinado conforme ABNT NBR 5564/11 - Via férrea - Lastro ferroviário - Anexo A - Determinação da forma dos fragmentos da pedra britada

3.3. Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio (Sanidade) ¹

O ensaio de sanidade de agregados foi desenvolvido originalmente nos Estados Unidos para simular comportamento dos agregados frente à ação de gelo e degelo. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não prevê esse ensaio como metodologia normalizada, não sendo mencionada na ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto — Especificação.

A Norma DNER-ME 089/94 estabelece a metodologia para o ensaio de sanidade e a Norma DNER ME 037/1997 os limites de perda de massa.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de sanidade e os limites para agregado graúdo preconizados pelas normas ASTM C 33-13 e DNER-ME 037/97.

TABELA 5 — Resultados do ensaio de sanidade

Perda de massa ponderada (%)	Limites ASTM c-33/2013	Limites DNER ME 037/1997
0,27	< 10,0	< 12,0

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de sanidade, verifica-se que a amostra de Escória atende aos limites exigidos pelas normas ASTM C 33-11 e DNER-ME 037/97.

Relatório de ensaio ne 118182

¹ O princípio da metodologia, baseada nas normas ASTM C 88 e DNER - ME 089, consiste em submeter os agregados devidamente classificados granulometricamente aos ciclos de molhagem por imersão e secagem, com determinação da perda de massa em cada fração e cálculo da perda de massa ponderada. Quando for o caso, indicar qualitativamente e reportar fenômenos de desintegração, fendilhamento, quebra, etc. das partículas.

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Pau10!SP

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



n?

3.4. Expansão em autoclave

O ensaio de hidratação acelerada da escória com uso de autoclave foi realizado empregando-se o método ASTM C 151 Autoclave Expansion of Portland Cement, com substituição da pasta de cimento por argamassa contendo escória como agregado.

A Tabela 6 apresenta a composição dos materiais utilizados para a preparação das barras de argamassa. A amostra de escória foi previamente preparada até obtenção da granulometria indicada.

TABELA 6 — Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)	% em massa	Massa (g)	
Agregado (escória)	4,8 - 2 4	10	99,0
	2,4 - 1 2	25	247,5
	1,2 - 0 6	25	247,5
	- 0,3	25	247,5
	0,3 - 0 15	15	148,5
	Total	100	990,0
Cimento CP V-ARI(O)		440,0	
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8	

(1) Cimento fornecido pela ABCP e não apresenta variação dimensional por hidratação acelerada por autoclave.

A Tabela 7 apresenta os resultados de expansão das barras de argamassa submetidas à hidratação acelerada em autoclave.

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182

TABELA 7 — Expansibilidade (%)

1ª determinação	2ª determinação	Média
0,109	0,110	0,11

Os ensaios em autoclave revelaram que a amostra de escória apresenta baixa variação volumétrica, indicando que ela não é expansiva, característica que poderia limitar seu uso como agregado.

 tão

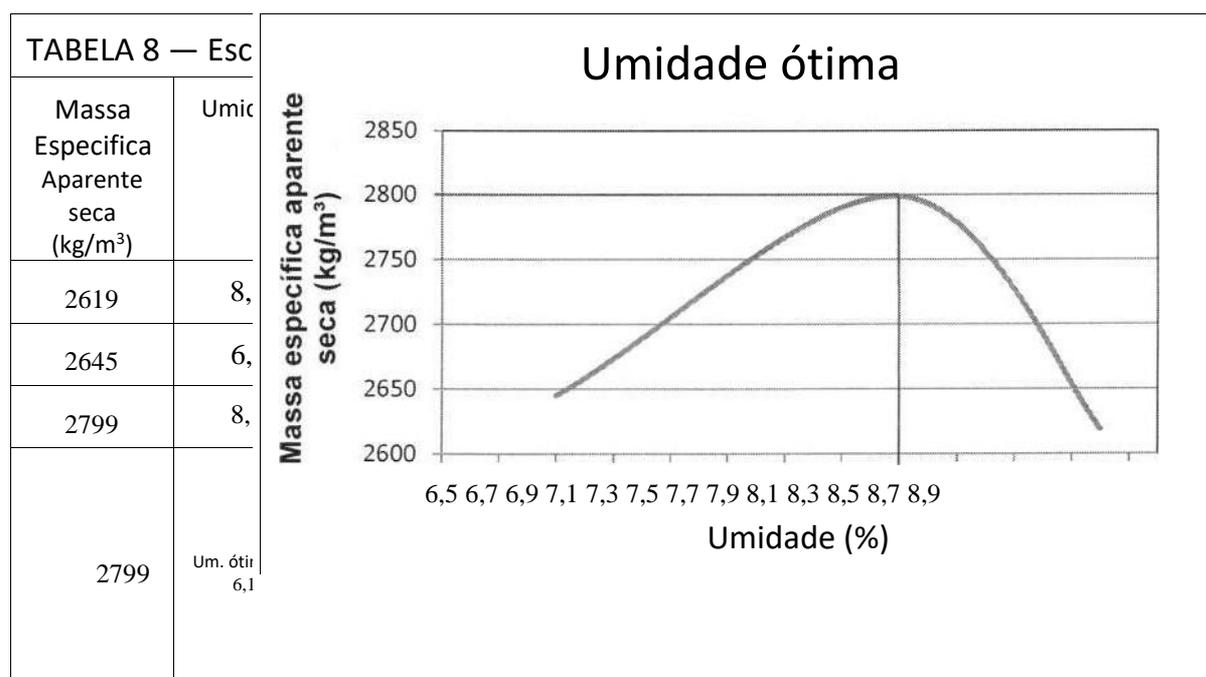
Paulo/SP



n?

3.5. Índice de suporte Califórnia (ISC)

Para a determinação do Índice de Suporte Califórnia foram moldados três corpos de prova com o soquete de energia de compactação do método C (proctor modificado). Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 8 e ilustrados na Figuras 1.



Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182

Com a definição das Massas Específicas Aparentes Secas Máximas (M.E.A.Max.) em função das Umidades Ótimas (U.O.), foram definidos o Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.) e a Expansão Volumétrica (E. V.) da amostra de escória Escória. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 9 - Resultados

Max. (g/cm ³),	(0,6)	I.S.C.	E.V. (%/0)		Especificação ABNT NBR 16364	
			Submersa	Saturado	I.S.C. (%)	E.V. (%/0)
2799	8,1	80	0,04	0,13	80	

1) Não foi possível realizar o ensaio completo devido à alta resistência da amostra à penetração.

A amostra de escória atende ao índice de suporte califórnia (ISC) e potencial de expansão especificados na ABNT NBR 16364/2015 para ser utilizada como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária

ensaiada(s). Sua total

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5370 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br

Av.



ne

3.6. Reação álcali-agregado

3.6. I. Dosagem da argamassa

A Tabela 8 apresenta a composição dos materiais utilizada para a preparação de três barras de argamassa de (25 x 25 x 285) mm. A amostra de escória foi previamente britada e pulverizada, utilizando-se um britador de mandíbulas, marca Renard, modelo BMA 125.80, em seguida peneirada até obtenção da distribuição granulométrica indicada.

TABELA 8 — Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)	Massa (g)

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182

Agregado	4,8 - 2,4	99,0
		247,5
	1,2 - 0,6	247,5
	0,6 - 0 3	247,5
	0,3 - 0 15	148,5
Cimento padrão		440,0
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8

3.6.2. Cimento padrão

O cimento padrão utilizado é do tipo CP V-ARI, que obedece integralmente às especificações da NBR 5733, cujas exigências adicionais da norma NBR 15577-4 estão registradas na Tabela 9.

TABELA 9 — Características do cimento padrão

Propriedade	Método de ensaio	Resultado	Especificação da NBR 15577-4
Óxido de sódio (Na ₂ O)	NBR NM 17	0,32 %	
Óxido de potássio (K ₂ O)	NBR NM 17	0,81 %	
Equivalente alcalino em Na ₂ O*		0,85 %	(0,90 ± 0,10) %
Área específica Blaine	ABNT NBR 16372	4910 cm ² /g	(4900 ± 200) cm ² /g
Expansibilidade em autoclave	ASTM C 151	0,10 %	< 0,20 %

(*) Equivalente alcalino em Na₂O_{eq} = 0,658 %K₂O + %Na₂O

3.6.3. Resultados

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios realizados, destacando-se os valores

tão

pau10/SP



no

aos 14 e 28 dias de cura em solução de NaOH IN a 800C. A Figura 2 ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

TABELA 10 - Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina

Idade de Cura agressiva (dias)C)	Variações dimensionais médias (%)
1	
2	
3	0,01
4	
5	0,02
6	
7	0,03
8	
9	
10	0,03
11	
12	0,03
13	
	0,03
15	
16	
17	0,03
18	
19	0,03
20	
21	0,03
22	
23	
24	0,03

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182

25	
26	0,03
27	
28	0,04

- = leitura não realizada
- (+) Para conhecer a idade do ensaio desde a moldagem acrescentar 2 dias



Relatório de ensaio nº 118182

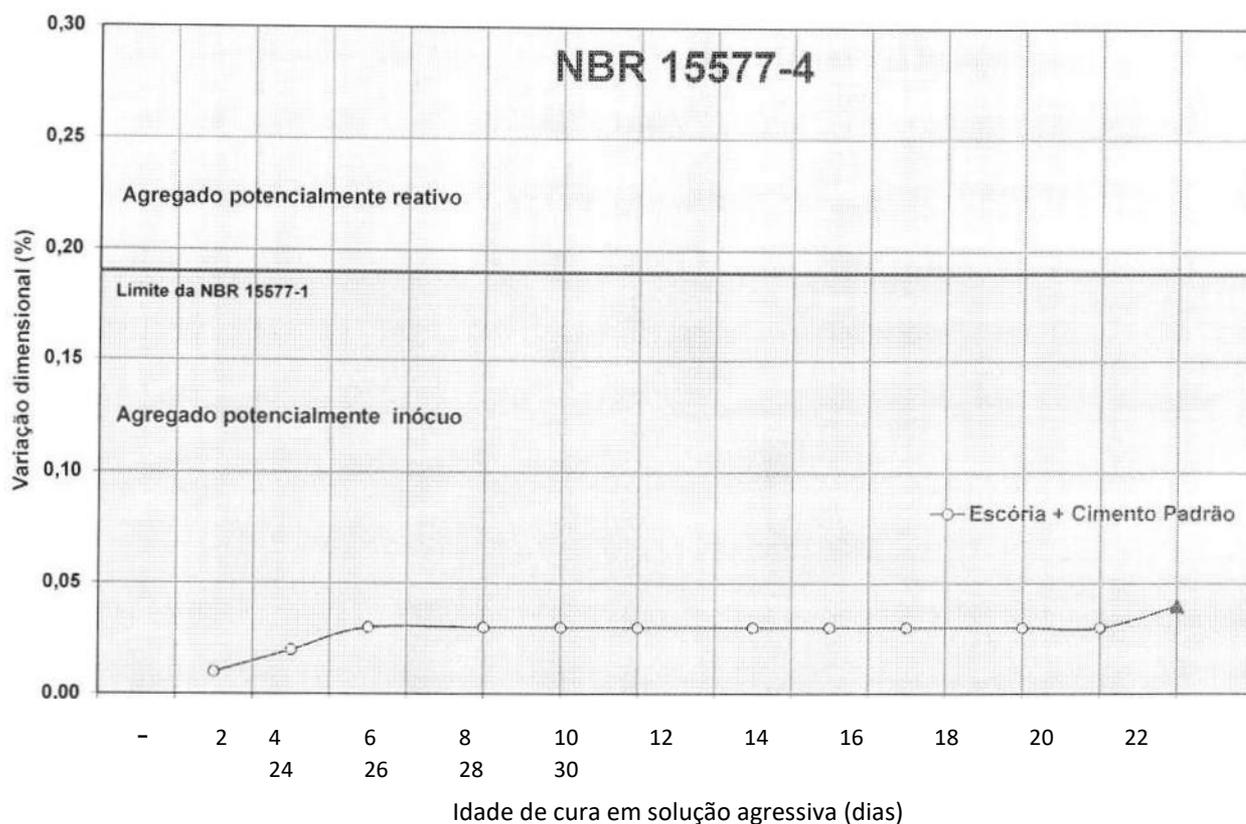


FIGURA 2 - Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

De acordo com a norma ABNT NBR 15577-1, quando o resultado do ensaio acelerado pela ABNT NBR 15577-4 indicar expansão menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina) o agregado é considerado potencialmente inócuo para uso em concreto. Expansão maior ou igual a 0,19% indica que o agregado é potencialmente reativo.

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que o valor médio de expansão das barras de argamassa aos 28 dias de cura em solução alcalina da amostra de Escória foi de 0,04%, indicando que o agregado é potencialmente inócuo segundo os critérios estabelecidos.

tão

pau10/SP



ne

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra de escória é constituída principalmente por CaO, Fe₂O₃, SiO₂, MgO e, secundariamente, por P₂O₅, MnO e Al₂O₃. Sua constituição indica provavelmente tratar-se de uma escória de aciaria de ferro elétrico.

Quanto ao uso como agregado para concreto, a Norma ABNT NBR 7211 não prevê uso de materiais artificiais. Entretanto, a amostra de escória apresenta características promissoras como baixa expansão, baixo desgaste por abrasão, que incentivam a realização de estudos de dosagem de concretos preparados com a escória com a finalidade de dar subsídios aos ajustes necessários ao seu emprego, dentre elas a distribuição granulométrica. Vale lembrar, finalmente, que uma alternativa é seu emprego em artefatos de concreto.

A amostra de escória é promissora para ser utilizada como agregado siderúrgico na execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente para pavimentação rodoviária, necessitando apenas de ajustes na composição granulométrica, obedecendo, portanto os requisitos da ABNT NBR 16364/15.

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Relatório de ensaio n2118182
São Paulo, 10 de agosto de 2018.


Eng. Flavio André da Cunha Munhoz
Supervisor Laboratório de Cimento
Chefe do Laboratório


Geól. Amaldo Forti Battagin
Amaldo
Forti Battaglin

CREA no 0600586647

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Este documento tem significação restrita e diz respeito somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

ENSAIOS FISICOS - CARACTERIZAÇÃO

(Laboratório UFC)



RELATÓRIO PARCIAL N^o 448/19

INTERESSADO: Votorantim Cimentos

ASSUNTO: Caracterização de escória

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados da caracterização de uma amostra de escória, transportada e entregue pelo interessado.

2. METODOLOGIA

As amostras de agregados foram secas em estufa e posteriormente ensaiadas seguindo a metodologia indicada na norma ABNT NBR 7211:09.

3. RESULTADOS

3.1 AREIA

- GRANULOMETRIA (NBR NM 248:03)

Malha da peneira (mm)	Porcentagem retida média individual - 1	Porcentagem retida média individual - 2	Porcentagem retida média acumulada (%)
19,0	0,0%	0,0%	0%
12,5	3,3%	2,9%	3%
9,5		2,2%	5%
6,3	10,2%	11,2%	16%
4,75	12,4%	11,5%	28%
2,36	40,2%	39,9%	68%
1,18	21,7%	22,7%	90%
0,6	6,9%	6,1%	96%
0,3	2,2%	2,1%	99%
0,15	0,8%	0,9%	99%
Fundo	0,5%	0,5%	100%
MODULO DE FINURA			4,85

Os documentos de significação restrita e aplicam-se tão-somente amostra ensaiada. A reprodução do documento para qualquer finalidade de forma integral.

Fundação de Estudos em Engenharia de Materiais - Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas - FUNDAÇÃO ASTEF

CNPJ: 06.211.114-0 Insc. Estadual: 06.211.114-0 Insc. Municipal: 22.62gg-1

Campus Universitário do Pici, Bloco 710, Sala Bairro Amadeu Furtado, Fortaleza/CE, 60.455-900. Fone: (85) 3217-1282; 9.9937-7644

**DIMENSÃO MÁXIMA
CARACTERÍSTICA**

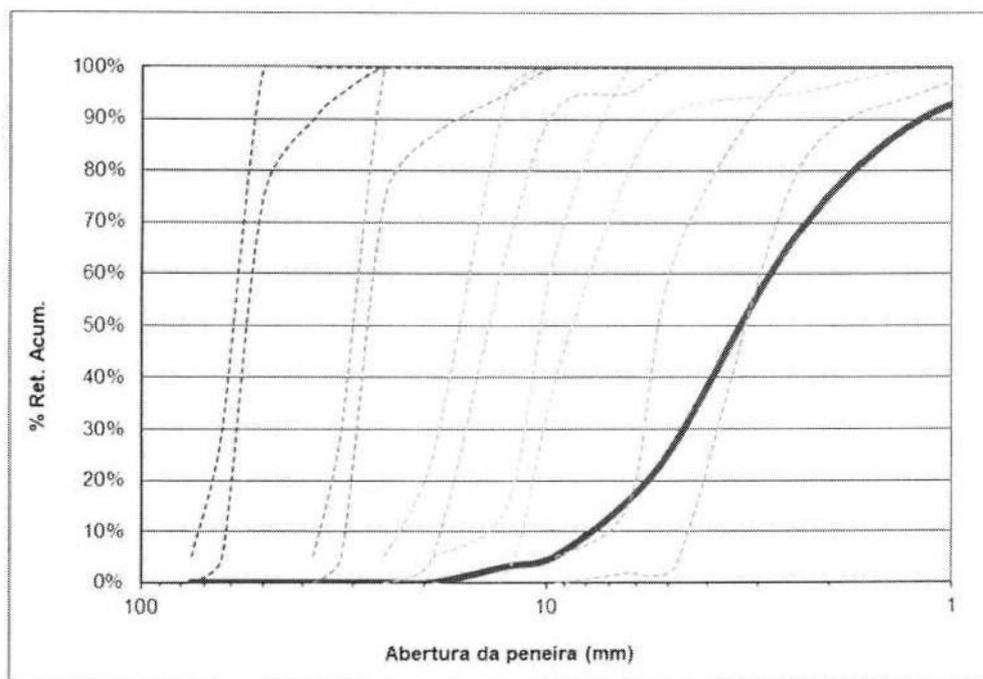
9,5 mm

resultados apresentados neste têm á fim, só poderá ser feita

de Apoio a Serviços

08.918.421/0001-08—

— B..



- DEMAIS PROPRIEDADES

PROPRIEDADE	RESULTADO	VALOR LIMITE	NORMA DE ENSAIO
Argila em torrões e materiais friáveis	0,31%		NBR 721810
Impurezas orgânicas	Satisfatório*	Satisfatório	NBR NIM 49:01
Inchamento	0,00	Não se aplica	NBR 94762006
Massa específica	3,60 g/cm ³	Não se aplica	NIM 522009

Os documento significação restrita e aplicam-se tão-somente amostra ensaiada. A reprodução do documento para qualquer de forma integral.

Fundação

Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas — FUNDAÇÃO ASTEF

CNPJ:

Insc. Estadual: 06.211.114-0 Insc. Municipal: 22.62gg-1

Campus Universitário do Pici, Bloco 710, Sala Bairro Amadeu Furtado, Fortaleza/CE, 60.455-900. Fone: (85) 3217-1282; 9.9937-7644

Teor de material pulverulento	0,31%		NBR NM 46:03
Absorção	3,43%	Não se aplica	NM 30:2001
Massa Unitária	1840 Kg/m ³	Não se aplica	NM 45:2006
Teor de cloretos	0,02%	<0,1%	NBR 9917:09
Teor de sulfatos	<0,01%	<0,1%	NBR 9917:09
Reatividade álcali-agregado	0,01%	<0,19%	NBR 15577-4:08

Para concreto não aparente e não sujeito a desgaste superficial

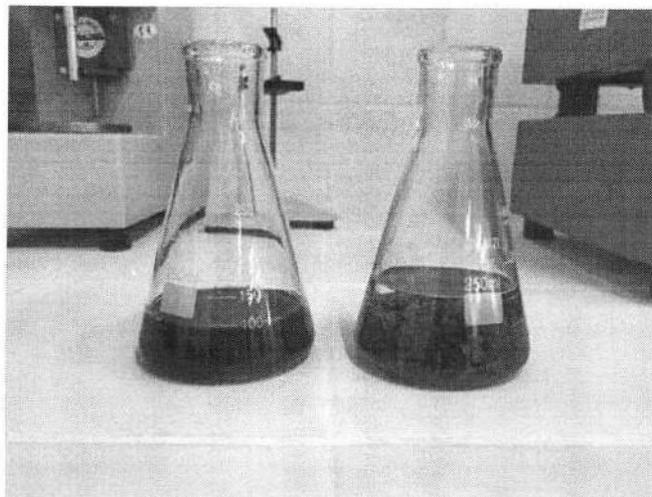
Ver foto abaixo.

resultados apresentados neste têm á fim. só poderá ser feita

de Apoio a Serviços

08.918.421/0001-08 -

— B,



Os documento significação restrita e aplicam-se tão-somente amostra ensaiada. A reprodução do documento para qualquer de forma integral.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ -

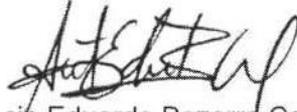
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO - LMCC

GRUPO DE PESQUISA EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E ESTRUTURAS - GPMATE

Página 4 de 3

*Impurezas orgânicas escória — solução a direita mais clara (satisfatório)

Fortaleza, 22 de junho de 2019.



Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Líder do GPMATE-CT-UFC
Eng. Civil, CREA 132770-CE
(85) 9937,7644 - 3366,9607

resultados apresentados neste têm à fim, só poderá ser feita

de Apoio a Serviços

08.918.421/0001-08 -

- B,

Os documento significação restrita e aplicam-se tão-somente amostra ensaiada. A reprodução do documento para qualquer de forma integral.

Fundação Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas — FUNDAÇÃO ASTEF

CNPJ: Insc. Estadual: 06.211.114-0 Insc. Municipal: 22.62gg-1

Campus Universitário do Pici, Bloco 710, Sala Bairro Amadeu Furtado, Fortaleza/CE, 60.455-900. Fone: (85) 3217-1282; 9,9937-7644

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO
(Laboratório MERIEUX
NutriSciences)

RESUMO DOS RESULTADOS DA AMOSTRA N° 176385/2017-0

Processo Comercial N° 13805/2017-2

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa solicitante:	VOTORANTIM CIMENTOS S.A.
Endereço:	Rodovia CURITIBA-RIO BRANCO - PR 092, 1303 - SALA 1 - ABRANCHES - Curitiba - PR - CEP: 82.130-570 .
Nome do Solicitante:	Giuliana Pavaneli

DADOS REFERENTES A AMOSTRA			
Identificação do Cliente:	Escória de Aciaria		
Amostra Rotulada como:	Resíduo - Extrato Lixiviado (NBR 10005)		
Coletor:	Interessado	Data da coleta:	12/06/2017 13:00:00
Data da entrada no laboratório:	13/06/2017 10:42	Data de Elaboração do RRA:	05/07/2017

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,169	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	< 0,1	150
Mercúrio	mg/L	0,00008	< 0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0
Solução de Extração	---	---	2	---
pH Final do Lixiviado	---	---	12,25	---
Tempo de Lixiviação	horas	---	18	16 - 20

VMP NBR 10004:2004 Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F

"Mérieux NutriSciences" nome fantasia. a razão social permanece Bioag's Ambiental Ltda. LQ/
Faixa = Limite de Quantificação ou Faixa de Trabalho, aplicável.

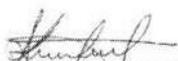
Abrangência

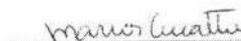
O(s) resultado(s) referem-se ao resultado(s) da amostra(s) analisada(s)
Este resumo de Resultados só pode ser reproduzido e Sem nenhuma alteração

Dados de Oagem Resumidos resultados da amostra n° 176385/2017-0 preparado com os dados dos relatórios de ensaio: 176385/2017-0 - Piracicaba
anexados a este documento.

Declaração de Conformidade

Comparando-se os resultados obtidos com Os Valores Máximos permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podem-se afirmar que: 06 parâmetro(s) satisfazem os limites Permitidos


Juliana Amola Baiqueiro
Controladora de Qualidade


Marcos Ceccatto
Diretor Técnico
CRQ 04364387 - 4ª Região

Chave de Validação: W aff)1883dOalIOS148dc8d73ad643dScel (RBio 40737/01-D - 1ª Região

RELATORIO DE ENSAIO N^o 176385/2017-0 - Complemento
 Processo comercial N^o 13805/2017-2

DADOS REFERENTES AO CLIENTE			
Empresa solicitante:	VOTORANTIM CIMENTOS S.A.		
Endereço:	Rodovia CURITIBA-RIO BRANCO - PR 092, 1303 - SALA I - ABRANCHES - Curitiba -PR -CEP 82.130-570 .		
Nome do Solicitante:	Giuliana Pavaneli		
DADOS REFERENTES A AMOSTRA			
Identificação do Cliente:	Escória de Aciaria		
Amostra Rotulada Como:	Resíduo - Extrato Lixiviado (NBR 10005)		
Coletor:	Interessado	Datada coleta:	12/06/2017 13:00:00
Data da entrada no laboratório:	13/06/2017 10:42	Data de Elaboração do RE:	05/07/2017

RESULTADOS PARA A AMOSTRA

Parâmetros	CAS	Unidade	LQ/ Faixa	Resultados analíticos	VMP NBR 10004:2004	Data do Ensaio
Arsênio	7440-38-2	mg/L	0,01	< 0,01	1,0	26/06/2017 08:53
Bário	7440-39-3	mg/L	0,01	0,169	70,0	26/06/2017 08:53
Cádmio	7440-43-9	mg/L	0,001	< 0,001	0,5	26/06/2017 08:53
Chumbo	7439-92-1	mg/L	0,01	< 0,01	1,0	26/06/2017 08:53
Cromo	7440-47-3	mg/L	0,01	< 0,01	5,0	26/06/2017 08:53
Fluoreto	16984-48-8	mg/L	0,1	< 0,1	150	30/06/2017 14:23
Merúrio	7439-97-6	mg/L	0,00008	< 0,00008	0,1	26/06/2017 08:51
Prata	7440-22-4	mg/L	0,01	< 0,01	5,0	26/06/2017 08:53
Selênio	7782-49-2	mg/L	0,008	< 0,008	1,0	26/06/2017 08:53
Solução de Extração	---	---	---	2	---	16/06/2017 17:06
pH Final do Lixiviado	---	---	---	12,25	---	16/06/2017 17:06
Tempo de Lixiviação	---	horas	---	18	16 - 20	16/06/2017 17:06

VMP NBR 10004:2004 Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F

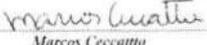
Notas fantasia, a social permanece Ambiental Ltda. LQ/
Faixa de Ou Faixa de Trabalho, quando aplicável.

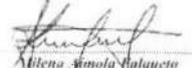
Abrangência
(As) resultados(s) referem-se somente a(s) amstra(s) analisada(s)
Este Relatório de Ensaios pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração

Plano de Amostragem
Plano de amostragem de responsabilidade do interessado

Met
Mercúrio: EPA 200S
Metais WWW, 22ª Edição. 2012. 3120 B . EPA 3010 A. 1992
Lixiviação ABNT NBR 10005 2004, Edição. 2012 - Metodo B
Fluoreto. Determinação: SMWY, Edição, 2012 - Método 4500 F C

Rogéno Caldorin
André Alex Colletti


Marcos Ceccatto
Diretor Técnico


Milena Amola Galqueto
Controladora de Qualidade
CRBIO 40737/01-D - 1ª Região

Chave de validação - am1883doalOS148dcsd73ad643dSc61

CRv00608%4• Região

Página 1 de 1 / R.E.: 176385/2017-0 - Complemento

RG 080 (rev.06) - Emitido em: 09.09.2015

ENSAIOS FÍSICOS SOLOS

Dosagem para Revestimento Primário

(Laboratório KAEME)

DETERMINAÇÃO DA COMPACTAÇÃO UTILIZANDO AMOSTRAS NÃO TRABALHADAS
DNIT.ME 164/2013

Material: Mistura de 80% de Escória Granulada de Aciaria + 20% de Argila

Amostra: Recebida em nosso Laboratorio - Origem: Votorantim Cimentos

Interessado: Votorantim Cimentos

Data: 06/0212019

Aplicação: Obras Rodoviárias - Estudo para Camada de Revestimento Primário

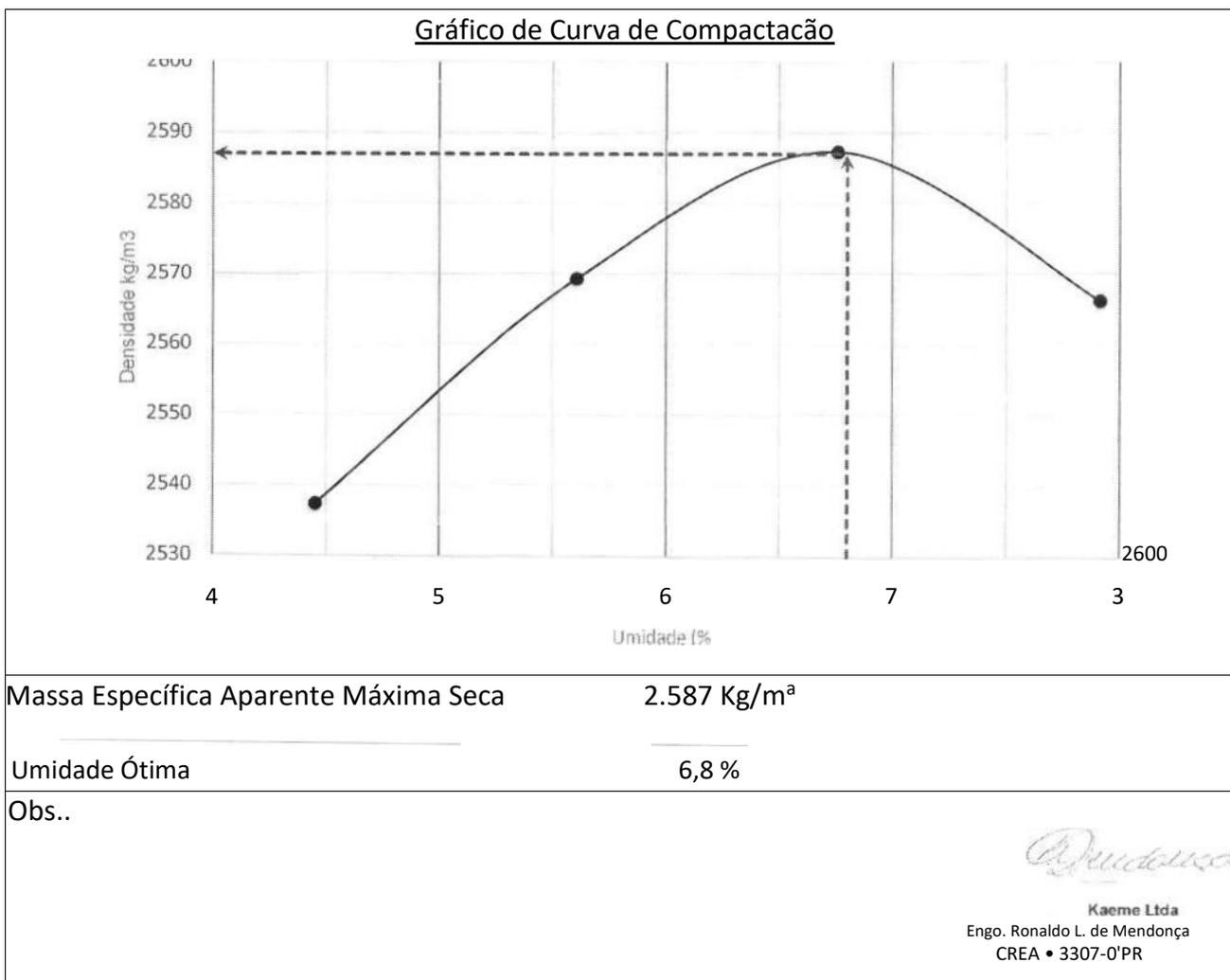
MOLDAGEM - 5 CAMADAS

PROCTOR: PM

Nº DE GOLPES 55

UMIDADE HIGROSCÓPICA

Peso Úmido 7.000,0		Peso Seco 6.931		CAPSULA	47	27	
Água Higr. (ml)	68,5	68,5	68,5	68,5	151	152,51	
	240				149,75	151,39	
Água adic. (ml)		320	400	480	16,83	18,15	
					1,51	1,12	
Água total (ml)	308,5	388,5		548,5	132,92	133,24	
					1,14	0,84	
Umidade (%)	4,5	5,6	<u>468,5</u> 6,8	7,9),99	
Nº do molde	26	77	60	64	MOLDES		
<u>M + S + A</u>	9250	10380	<u>9965</u>	9980		PESO	VOLUME
M - molde	3854	<u>4804</u>	4308		26	3854	2036
<u>S + A</u>	5396	5576	5657	4242		4804	2055
				5738	<u>77</u>	4308	2048
Volume molde	2036	2055	2048	2072	60	4242	2072
Dens. Umida	2650						
	2537	2713	<u>2762</u>	2769			
		2569	2587	2566	64		



		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA			
INDICE DE SUPORTE DE CALIF RMA					
DNIT 172/2016-ME					
Material:	Mistura de 80% de Escória Granulada de Aciaria + 20% de Argila				
Amostra:	Recebida em nosso Laboratorio - Origem: Votorantim Cimentos				
Interessado:	Votorantim Cimentos				
Aplicação	Obras Rodoviárias - Estudo para Camada de Revestimento Primário				
EXPANSÃO					
DATA	HORA	Leit.mm	Dif.mm	Molde N°	77
				Altura Inicial:	114,63 Exp (%)
06/02/2019	13:50	1,00		Molde N°	60
				Altura Inicial:	111,10 Exp (%)
				1,00	
				0,00	

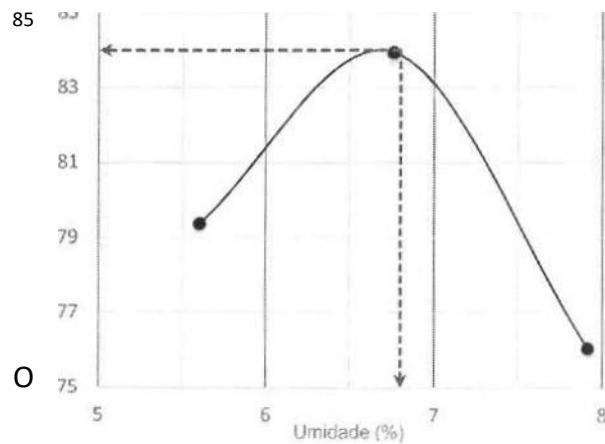
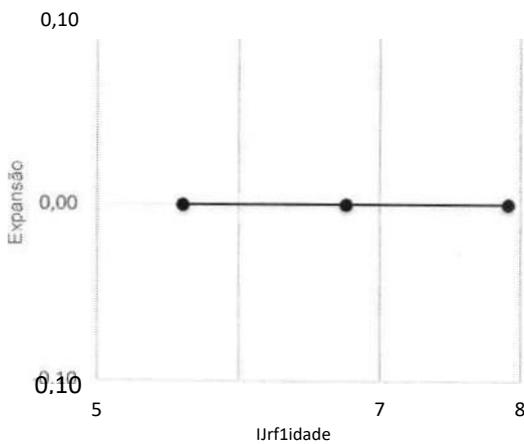
9	13:50	1,00		0,00	0,00
9	13:50				
9	13:50		0,00		
9	13:50				
07/02/2019	embebição (g)				
08/02/2019	embebição (g)				
09/02/2019	absorvida (g)				
10/02/2019					
M + S + A - após					
M + S + A - antes					
Peso da água					

PENETRAÇÃO

k: 0,0997

Tempo min	Penetração		Padrão K lcrn	Leit.		Pressão (Kgf/cm2) Calc.	ISC	Molde Nº 60	Pressão (Kgf/cm2) Corrig.	ISC
	mm	pol		mm	mm					
0,5	0,63	0,025		32	3,19				2,99	
1,0	1,27	0,050		108	10,77				10,97	
1,5		0,075		202	20,14				23,73	
2,0	2,54	0,100		327	32,60				38,58	
3,0	3,81	0,150		602	60,02		46,6		64,81	55,1
4,0	5,08	0,200		836	83,35		79,4		88,13	
6,0	7,82	0,300		1.190	118,64				122,83	83,9
8,0	10,16	0,400								
10,0	12,70	0,500								
			70							
			105							
								30		
								110		
								238		
								387		
								650		
								884		

Gráfico de Expansão

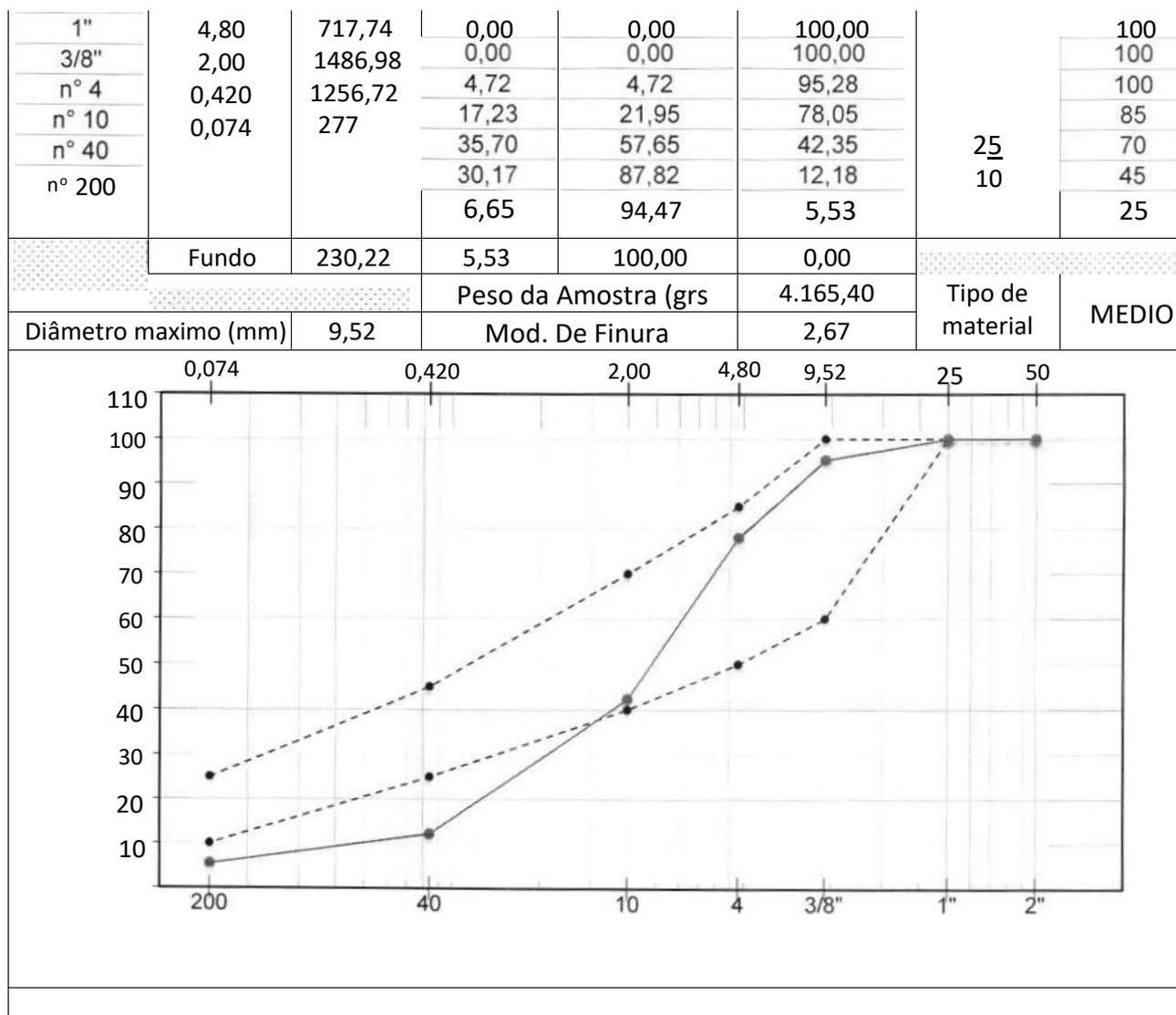


RESULTADOS DOS ENSAIOS

Massa Específica Aparente <u>Máxima Seca</u>	3	2,587	kg/m ³
Umidade ótima		6,8	%
Expansão		0,0	%
Índice Suporte Califórnia (I.S.C.)		84,0	%

Obs.

		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA				Votorantim Cime3tos					
ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO											
Material:		Mistura de 80% de Escória Granulada de Aciaria + 20% de Argila									
Amostra:		Recebida em nosso Laboratorio - Origem: Votorantim Cimentos									
Interessado:		Votorantim Cimentos									
Aplicação:		Obras Rodoviárias - Estudo para Camada de Revestimento Primário									
Data: 06/0											
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA POR PENEIRAMENTO DNER-ME 083/98											
PREPARAÇÃO DO MATERIAL				PENEIRAMENTO GROSSO							
UMIDADE HIGROSCÓPICA				PENEIRA		PESO AM. SECA		% PASSANTE			
		7 10		No mm		Retido Passando					
		114,36 109,76		-		-					
		112,91 108,47		-		-					
Recipiente		19,53 17,84		2"		50 0,00		2388,02			
S. úmido + Tara		1,45 1,29		25		0,00		2388,02			
S. seco + Tara		93,38 90,63		9,5		122,12		2265,90			
Tara		1,55 1,42		4,8		502,34		1763,56			
Solo Seco		19,53		1"		2		857,21			
Teor de Umidade				3/8"		2		906,35			
Úmidade Média				4		4		100,00			
AMOSTRA TOTAL SECA				PENEIRAMENTO FINO							
Amostra Total Úmida (g)		2401		Peso da Amostra Parcial úmida							
Solo S. Retido # 10 (g) Solo Úm.		1481,67		Peso da Amostra Parcial Seca							
passando # 10 (g) Solo S.		919,84		PENEIRA		PESO DA AM. SECA		% PASSANTE			
passando # 10 (g)		906,35		mm		Retido Passando		Parcial			
Amostra Total Seca (g)		2388,02		2,0		197,07					
RESUMO DA GRANULOMETRIA		Pedreg. %		62,05		0,42		81,90 115,17		58,44	
		Ar. Grossa%		15,77		0,074		61,23 197,07		27,37	
		Ar. Fina %		11,79		40		53,94			
		Silte+Argila%		10,39		200					
ENSAIOS FÍSICOS											
DNER-ME 122/94 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ						DNER-ME 082/94 - DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE					



Mód. Finura = $S \% \text{ retida acumulada nas peneiras normais} / 100$
 Diâmetro Máximo = abertura da peneira $\% \text{ retida acumulada } 5 \%$
 Melhor Enquadramento na Faixa "D" do DNIT

Kaeme Ltda
 Engo. Ronaldo L. de Mendonça CR
 • 3307-0'PR



LABORATÓRIO DE GEOTECNIA

VotorantimCimentos

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ABNT 16364

Material: Mistura de 80% de Escória Granulada de Aciaria + 20% de Argila

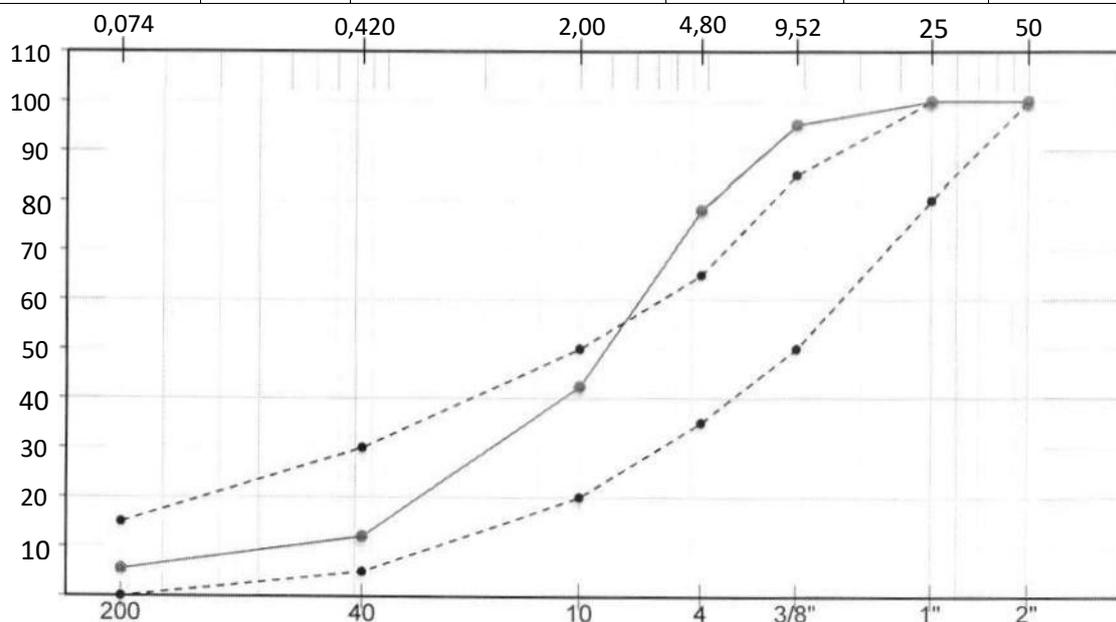
Amostra: Recebida em nosso Laboratorio - Origem: Votorantim Cimentos

Data: 06/0212019

Interessado: Votorantim Cimentos

Aplicação: Obras Rodoviárias - Estudo para Camada de Revestimento Primário

Abertura das Peneiras		Peso Retido	% Retidas		% Passando	Aço Brita - ABNT NBR 16364	
pol.	mm		Sim les	Acumulado		% min	% máx
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
	25	0,00	0,00	0,00	100,00	80	100
3/8"	9,52	196,54	4,72	4,72	95,28	50	85
	4,80	717,74	17,23	21	78,05	35	65
n ° 10	2,00	1486,98	35,70	57,65	42,35	20	50
n° 40 n	0,420	1256,72	30,17	87,82	12,18	5	30
°200	0,074	277,20	665	94 47	5 53		15
Fundo		230,22	5,53	1 00,00	0,00		
Peso da Amostra (rs					4.165,40	Tipo de material	MEDIO
Diâmetro maximo (mm)		9 52	Mod. De Finura		2,67		



Mód. Finura = (S % retida acumulada nas peneiras normais) 1 100

Diâmetro Máximo = abertura da peneira % retida acumulada 5 %

Aço Brita

≤ 5 %

Quilobase

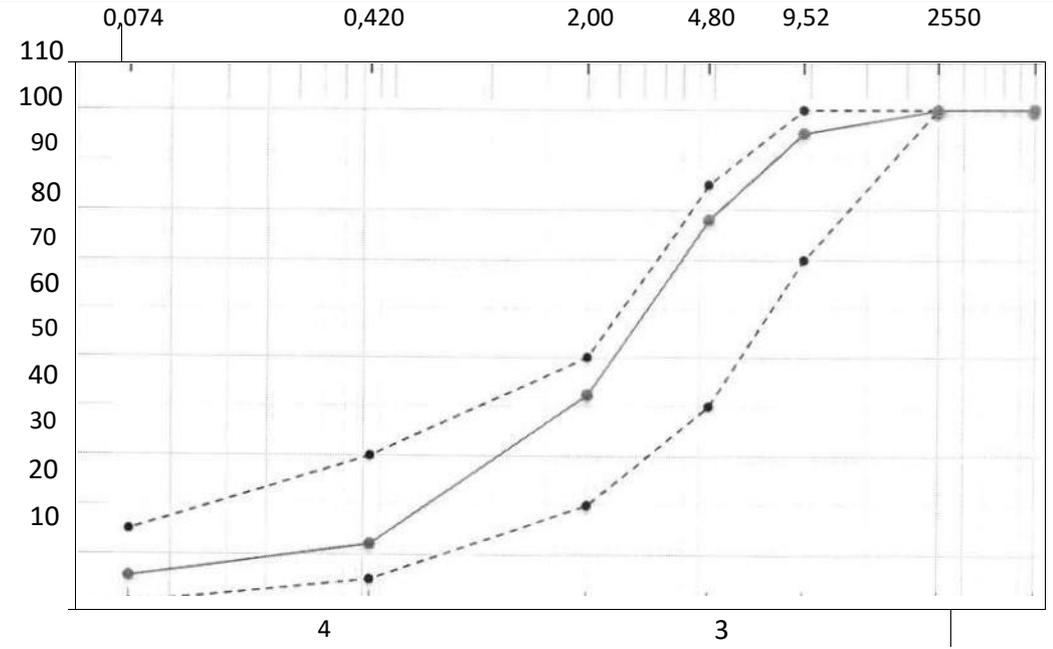
Kacme Ltda
CREA - 3307-D'PR

kaeme CONSULTORIA LABORATÓRIO DE GEOTECNIA
Votorantim Cimentos

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ABNT 16364

Material: Mistura de 80% de Escória Granulada de Aciaria + 20% de Argila
 Amostra: Recebida em nosso Laboratorio - Origem: Votorantim Cimentos
 Data: 06/02/2019
 Interessado: Votorantim Cimentos
 Aplicação: Obras Rodoviárias - Estudo para Camada de Revestimento Primário

Peso da Amostra:		4.165 40 rs					
Abertura das Peneiras		peso Retido	% Retidas		% Passando	er CRIADA	
pol.	mm		Sim les	Acumulado		FAIXA a	% min
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/8"	9,52	196,54	4,72	4,72	99,28	70	100
n° 4	4,80	717,74	17,23	21,95	78,05	40	85
n° 10	2,00	1486,98	35,70	57,65	42,35	15	20
n° 40	0,420	1256,72	30,17	87,82	12,18	5	50
n° 200	0,074	277,20	6,65	94,47	5,53	0	30
	Fundo	230,22	5,53	100,00	0,00		
Peso da Amostra (grs)					4.165,40	Tipo de material	MEDIO
Diâmetro maximo (mm)		9,52	Mod. De Finura		2,67		



Obs.

Mód. Finura = (S % retida acumulada nas peneiras normais) 1 100

Diâmetro Máximo = abertura da peneira % retida acumulada 5 % Aço

____ Brita ____



Kaeme Ltda
Engo. Ronaldo 1__ de Mendonça
CREA - 3307-0'PR

EXEMPLO OBRAS REALIZADAS COM AGREGADO GRANULADO DE ACIARIA (BSSF)

EXPANSÃO PLANTA DE MOAGEM DE CIMENTOS DA VOTORANTIM

RECEM / CE

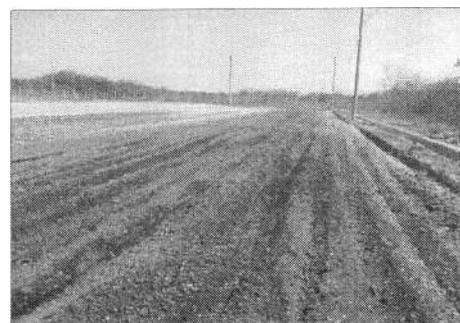
Projeto Pátio de Caminhões

Pavimento de Concreto com sub-base/base reforçada com agregado AGA (BSSF)

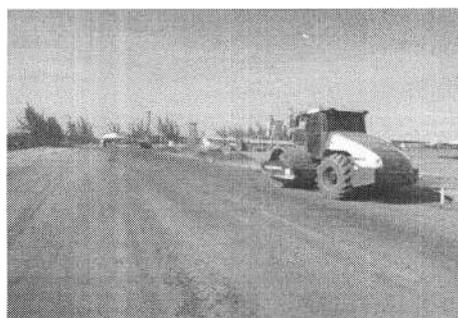
Especificação: Concreto Fc28 > 4,5 Mpa / Base CBR > 80%



Preparação da Sub-base: Lançamento e espalhamento do agregado AGA (BSSF)



Preparação da Sub-base: Espalhamento e gradeamento do agregado AGA (BSSF)



Compactação final camada base



Pavimento de concreto executado

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA DE TRABALHOS TÉCNICOS
PARA
USO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO AGREGADO EM
CONCRETOS, CIMENTOS E PAVIMENTOS

S U M Á R I O

I. Introdução

II Anexos

III. Referências Bibliográficas

I.Introdução

A indústria do aço brasileira está distribuída em 10 Estados, com grande concentração na região Sudeste. Cerca de 92% da produção de aço é realizada nessa região (CNI, 2017).



Fonte: Aço Brasil.

Há, basicamente, duas rotas tecnológicas para produção de aço, com algumas possíveis variações e combinações: produção de aço usando, majoritariamente, minério de ferro e uma pequena proporção de sucata metálica (usinas integradas) e produção de aço que utiliza basicamente a sucata (usinas semi-integradas) (CNI, 2017).

As usinas integradas são aquelas que produzem aço a partir do minério de ferro, usando o carvão (mineral ou vegetal) como agente redutor nos altos fornos para obtenção do ferro metálico. Cabe ressaltar que o carvão vegetal é usado somente em altos fornos de menor capacidade. As usinas integradas possuem as três fases básicas de produção: redução, refino e laminação (CNI, 2017).

As usinas semi-integradas não possuem a etapa de redução, pois utilizam sucata de aço e ferro gusa para alimentar as aciarias elétricas. As usinas semi-integradas operam apenas as fases de refino (via forno elétrico a arco — EAF) e laminação (CNI, 2017).

II. Anexos

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA PARA APLICAÇÃO DO RESÍDUO ESCÓRIA DE ACIARIA

Base: Scopus e Google Scholar

Aplicação: CIMENTO					
1	Adição de Residuo da Indústria de Granito em Escória de Aciaria BOF visando sua utilização na Produção de Cimento	<p>A produção de aço necessita de etapas e gera resíduo, dentre eles tem-se a escória de aciaria. No estado do Espírito Santo, Brasil, a mineração de granito é uma das principais atividades econômicas gerando o resíduo de serragem de granito. Nesta pesquisa, busca-se o reaproveitamento destes resíduos, de modo a minimizar possíveis problemas ambientais, apontar a viabilidade técnica do seu uso e reciclá- 10s por meio de utilização na produção de cimento. Alguns dos principais componentes das escórias de aciaria, tais como, o óxido de cálcio, óxido de magnésio e o ferro metálico sofrem transformações químicas em presença de umidade, que provocam expansão volumétrica da escória. Este fenómeno aliado a reatividade da escória tem dificultado sua utilização. Este trabalho é uma contribuição ao estudo do aproveitamento da escória de aciaria, que passa a ser chamada de ss (steel slag) e do resíduo da serragem de granito, que passa a ser chamado gsw (granite sawing waste), oriundo da extração de granito.</p> <p>Os resíduos estão disponíveis em quantidades nos pátios das siderúrgicas e nas áreas de mineração do granito, respectivamente. Para o reaproveitamento foi realizada a caracterização física, química e mineralógica dos resíduos. Diferentes dosagens de misturas foram produzidas com ss e gsw de forma a permitir avaliação das propriedades obtidas nestas misturas visando sua utilização na produção de cimento. Desenvolveu-se misturas nas quais busca-se a basicidade na escória de aciaria, compreendida entre 4 e 5, para valores próximos ao da escória de alto-forno, na faixa de 0,9 a 1,5 cuja utilização na produção de cimento já está normatizada desde 1991 (NBR 5735, ABNT 1991). Misturas com basicidade entre 0,9 a 4 foram pesquisadas e selecionou-se a mistura com basicidade I para ser utilizada na produção de cimento. Ao longo da pesquisa foi necessária a produção de 3 (três) tipos de cimento até se equacionarem os problemas técnicos e operacionais que surgiram ao longo da mesma. Suas propriedades foram medidas e comparadas com as do cimento contendo escória de alto-forno. AS análises dos resultados obtidos para o cimento produzido com a mistura são apresentadas e indicam o potencial de utilização dos resíduos como elementos de adição ao cimento apesar da heterogeneidade dos materiais.</p>	202	Brasil	Tese apresentada Programa PósGraduação Metalurgia e Mat da Universidade de Paulo, como req parcial à obtenção titulo de Doutor e Metalurgia e Mat

2	<p style="text-align: center;">ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIAS DE ACIARIA DO PROCESSO LD COMO ADIÇÃO EM CIMENTOS</p>	<p>A reciclagem de resíduos apresenta-se como uma alternativa adequada com relação à preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. As escórias de aciaria são resíduos siderúrgicos originados na fabricação do aço, e são geradas em grandes quantidades. Estes resíduos são estocados nos pátios siderúrgicos, onde permanecem, na sua maioria, sem qualquer destino. Normalmente, as escórias de aciaria são volumetricamente instáveis, apresentando características expansivas, e por esta razão, a aplicação das mesmas em materiais de construção torna-se restrita. Esta pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade técnica do uso das escórias de aciaria LD como adição em cimentos, propondo um método de estabilização por meio de granulação por resfriamento brusco destas escórias, buscando, desta forma, a eliminação do fenômeno da expansão, e visando a melhoria das características destes resíduos. No processo de estabilização, a escória líquida foi granulada em uma usina siderúrgica. Estudos complementares de granulação foram realizados nos laboratórios da UFRGS, empregando-se escórias refundidas. A granulação por resfriamento brusco favoreceu a redução do CaOlivre, a eliminação do MgO na forma de periclásio, e a eliminação do PC2S das escórias, considerados agentes causadores da expansão. No entanto, a elevada basicidade da escória LD dificulta a formação da estrutura vítrea e a separação da fração metálica após o resfriamento brusco. Foram realizados ensaios de expansão das escórias, atividade pozolânica, e resistência mecânica de argamassas com escórias granuladas. O resfriamento brusco proporcionou a eliminação da expansão e o desenvolvimento das propriedades pozolânicas/cimentícias da escória granulada. Como adição em cimentos, do ponto de vista da resistência mecânica, as argamassas compostas com escórias granuladas e clínquer apresentaram níveis de resistência à compressão axial compatíveis com as especificações referentes ao cimento Portland composto, apesar destes resultados serem inferiores aos obtidos para as argamassas de referência.</p>	2 Brasil	Tese apresentada no Programa PósGraduação Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do
---	--	--	-------------	--

3	<p>ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA MICRONIZADA COMO MATERIAL CIMENTÍCIO</p>	<p>A compatibilização do desenvolvimento tecnológico com desenvolvimento sustentável é um dos desafios para o meio técnico-científico nos dias atuais. Dentro deste contexto, a reciclagem de resíduos, tal como a escória de aciaria elétrica, oriunda da indústria siderúrgica e que poderá ser reciclada pela indústria cimenteira, é vista como uma oportunidade de preservação de recursos naturais e do meio ambiente, uma vez que ao substituir o cimento Portland por escória micronizada, ocorrerá, principalmente, a economia de jazidas de pedra calcária, menos poluição de gás carbônico para a atmosfera, além de se evitar a estocagem em bota-foras de pilhas de escória na siderúrgica, o que pode causar, em função de um inadequado manejo ambiental, contaminação ao meio ambiente. Porém, um dos desafios tecnológicos da utilização da escória de aciaria elétrica como material cimentício é a sua expansibilidade. Esta pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade técnica da utilização da escória de aciaria elétrica micronizada como material cimentício, obtido através do processo de moagem por micronização, visando garantir a estabilização da escória em relação ao fenômeno de expansão, bem como melhorias nas características do resíduo. Principalmente através dos ensaios de granulometria a laser e de avaliação de expansão, ficou evidenciado que a moagem da escória de aciaria elétrica pelo processo de micronização garantiu a sua estabilidade. Foram estudadas argamassas de traços 1 : 1,5, 1 : 3,0 e 1 : 4,5 com substituição de 0%, 10% e 34% de cimento Portland por escória de aciaria elétrica micronizada. Em relação à resistência mecânica à compressão, o desempenho apresentado pelas argamassas que utilizaram a escória de aciaria elétrica micronizada foram inferiores às argamassas de referência, porém os resultados encontrados nos ensaios são satisfatórios para atender às exigências de um cimento Portland. Em relação aos aspectos de durabilidade, foram avaliados o desempenho em relação à absorção de água e à penetração de íons cloretos. Para a propriedade de absorção de água, a substituição nos mesmos traços de argamassas e teores de escória de aciaria elétrica micronizada mencionadas anteriormente, os resultados obtidos apresentaram desempenho superior às argamassas de referência. Do ponto de vista de penetração íons cloretos (ASTM C 1202, 1997), verifica-se que para os traços mais pobres (1 : 3,0 e 1 : 4,5) e que requerem respectivamente maiores relações água/aglomerantes, a adição de escória de aciaria elétrica micronizada ao CPV ARI RS nos teores de 1 e 34%, respectivamente, é o principal fator que contribui para o aumento da carga passante das argamassas e</p>	2 Brasil 5	<p>Tese apresentada ao Programa PósGraduação Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande de</p>
---	--	---	------------------	---

--	--	--	--	--	--

		<p>consequentemente a redução da capacidade de resistir à penetração de íons cloretos. Já para o traço mais rico (1 : 1,5) que requer menor relação água/aglomerante, a adição de escória de aciaria elétrica micronizada ao CPV ARI RS, no teor de 10%, é o principal fator que contribuiu para a diminuição da carga passante, em relação à argamassa referência, consequentemente aumentando a capacidade da argamassa de resistir à penetração de íons cloretos.</p> <p>Para o teor de substituição de 34% de escória de aciaria elétrica micronizada ao CPV ARI RS, houve aumento da carga passante de 16,72% em relação à argamassa referência. De acordo com os critérios da</p> <p>ASTM C 1202, a substituição de 10% e 34% de escória de aciaria elétrica micronizada ao CPV ARI RS, classificou o traço 1 : 1,5 e os traços I : 3,0 e I : 4,5, respectivamente, como sendo de moderada e de elevada penetração de íons cloretos.</p>		
4	Estabilização e viabilidade técnica da utilização de escórias de aciaria elétrica	<p>Escórias de aciaria elétrica são resíduos gerados na produção do aço. São E materiais de características expansivas, causadas principalmente pela presença de óxido de cálcio livre, óxido de magnésio reativo, óxido de ferro e pela metaestabilidade do silicato dicálcico. A utilização deste resíduo passa pela sua estabilização quanto à expansibilidade. Este trabalho apresenta uma breve revisão da geração, dos agentes e mecanismos causadores da expansão das escórias. É testado um método de estabilização da escória de aciaria elétrica quanto à sua expansão e avaliado o comportamento mecânico e quanto à absorção de água de argamassas com uso de uma escória de aciaria estabilizada. Os resultados encontrados indicam que argamassas com até 50 % substituição de cimento por escória estabilizada</p>	2 4 Brasil	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

		(ACIGRAN) apresentam desempenho semelhante do ponto de vista mecânico e de absorção de água que argamassas sem escória.			
--	--	---	--	--	--

5	Utilização de escória de aciaria do processo Linz-Donawitz como adição em cimentos	<p>A reciclagem de resíduos siderurgicos é uma alternativa de preservação do meio ambiente. Esse trabalho avalia a viabilidade técnica do uso de escória granulada de aciaria Linz-Donawitz como adição em cimentos. A escória sofreu, previamente, processo de granulação por resfriamento brusco. O uso da escória como substituição de clínquer na fabricação de cimento foi avaliada segundo a norma NBR 7215 cimento Portland-determinação da resistência à compressão. Os teores de substituição de clínquer por escória foram de 0%, 6%, 20% e 34%, em massa. O traço das argamassas adotado foi de 1:3, em massa, e a relação água/aglomerantes igual a 0,48. A resistência à compressão das argamassas foi avaliada para as idades de três, sete, 28 e 91 dias. As argamassas contendo clínquer e escória apresentaram níveis de resistência à compressão axial compatíveis com as especificações referentes ao cimento Portland composto, apesar desses resultados serem inferiores aos obtidos para as argamassas de referência. A influência do teor de escória na resistência à compressão diminuiu com o aumento da idade das argamassas.</p>	2 4	Brasil	
---	--	---	--------	--------	--

Aplicação: CONCRETO

	<p>Escórias de Aciaria e Resíduos de Concretos Refratários em Componentes de Pavimentação</p>	<p>Este trabalho procurou avaliar a possibilidade de utilização de resíduos oriundos do processo de fabricação do aço, na substituição aos agregados naturais, usados na fabricação de elementos de pavimentação em pisos industriais e não industriais em conformidade com a norma brasileira ABNT NBR 9781:1987.</p> <p>Para o desenvolvimento da pesquisa foram escolhidos os seguintes resíduos: escória de aciaria LD estabilizada volumetricamente, concreto refratário de canal de vazamento de gusa, concreto refratário de carro torpedo e concreto refratário de desgaseificador RH. Essas amostras foram britadas e moídas procurando-se obter uma distribuição granulométrica adequada para a fabricação do concreto.</p> <p>Para cada resíduo foram determinadas individualmente a composição química, a granulométrica, a massa específica e a composição mineralógica. Ensaios de lixiviação e de solubilização também foram conduzidos nas amostras individuais e em amostras de misturas para a caracterização ambiental.</p> <p>Várias misturas com diferentes teores de cada um dos resíduos foram formuladas em escala de laboratório na tentativa de se obter os valores mínimos especificados na norma de 35 MPa (para veículos comerciais de linha) e de 50 MPa (tráfego de veículos especiais ou acentuados efeitos de abrasão) para a resistência à compressão.</p> <p>Após o desenvolvimento satisfatório em laboratório, foi então decidida</p>	2007	Brasil		<p>Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação</p> <p>Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos_</p>
--	---	--	------	--------	--	---

		<p>a produção em escala industrial, em uma empresa da Região Metropolitana de Belo Horizonte, fabricante de peças de pavimentação intertravada.</p> <p>Foi feita a inspeção dimensional nas peças fabricadas tanto em laboratório quanto em escala industrial, com resultados que satisfizeram à norma brasileira, Embora não exigidos pela norma, foram feitos os testes de absorção de água e de abrasão, que apresentaram bons resultados.</p> <p>No ensaio mecânico de compressão foram encontrados valores 50 MPa. A partir desses valores obtidos nas peças produzidas em escala industrial, concluiu-se que os resíduos do processo de fabricação do aço empregados nesta pesquisa, desde que adequadamente ajustados a uma composição granulométrica típica, têm potencial para serem usados Como matéria prima na produção de peças para pavimentação intertravada para pisos industriais e não industriais.</p>				
--	--	---	--	--	--	--

2	<p>Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto</p>	<p>A geração de resíduos tem se mostrado mn problema de preocupação mundial crescente. Muitos rejeitos, sejam industriais ou urbanos, muitas vezes acabam por poluir o meio- ambiente, causando problemas de armazenagem de certos materiais. Além disso, materiais alternativos a partir desses rejeitos podem ser mais baratos, apresentando muitas vezes características de desempenho melhores que os materiais convencionais.</p> <p>As siderúrgicas, em nível mundial, vêm enfrentando um problema comum, que consiste no que fazer para que a totalidade da escória gerada no refino do aço em aciarias elétricas ou à oxigênio tenha uma solução de aproveitamento melhor do que vem sendo feito atualmente.</p> <p>Na fabricação do aço as escorias são geradas em duas etapas: a primeira provém do chamado refino oxidante (forno elétrico a arco ou convertedor à oxigênio) e a segunda do refino redutor em processos de metalurgia na panela (forno-panela).</p> <p>Este trabalho tem como objetivo principal o de apontar potencialidades de uso da escória de aciaria elétrica, com destaque para a proveniente do forno-panela (escória do refino redutor), na indústria da construção civil através de testes em que a escória é utilizada, após moagem, como adição ao cimento Portland comum.</p> <p>Inicialmente foram realizados ensaios de viabilização para se testar a pozolanicidade, resistência à compressão, expansibilidade e profimdidade de carbonatação de concretos gerados com diversas adições de escórias de aciaria elétrica Comprovada a sua viabilidade partiu-se para os ensaios complementares do trabalho utilizando-se somente uma escória do refino redutor. Nesta segunda etapa foram realizados ensaios de caracterização de todos materiais estudados, ensaios de expansibilidade, ensaios mecânicos e de durabilidade dos concretos gerados com esta escória e ensaios de microscopia eletrônica de varredura e de difração de raios X do material</p> <p>Após o estudo realizado comprovou-se ser perfeitamente viável a utilização de até 10% da escória do refino redutor (forno-panela- FP) como adição ao cimento para produção de concretos. Inclusive, independente do tempo de estocagem da escória, pode-se constatar melhorias no concreto produzido.</p>	2001	Brasil	<p>Tese realizada no Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais ppGEM</p>
---	---	--	------	--------	---

3	<p>UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE COBRE COMO ADIÇÃO E COMO AGREGADO MIÚDO PARA CONCRETO</p>	<p>A preocupação com o grave problema da geração de resíduos vem, cada vez mais, despertando na sociedade a conscientização da necessidade de realização de estudos com vistas a melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação dos resíduos gerados. Neste sentido, a reciclagem se apresenta como uma grande alternativa. Nesta pesquisa, é estudada a possibilidade de reciclagem da escória de cobre, partindo-se da hipótese que é viável sua utilização como adição e como agregado miúdo para concreto. Inicialmente foi constatado, através de ensaios de lixiviação e solubilização, que a escória não apresenta risco ambiental. É estudada a influência da adição de escória de cobre sobre as características do concreto no estado fresco (trabalhabilidade e massa específica) e no estado endurecido (massa específica, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, absorção por imersão, absorção por sucção capilar, carbonatação e resistência ao ataque por sulfato). Estuda-se, também, a influência da utilização de diferentes teores de escória de cobre granulada, como agregado miúdo, nas características do concreto no estado fresco e no estado endurecido. A análise dos resultados permite concluir que a adição de 20% de escória de cobre ao concreto proporciona melhor desempenho em relação a todas as características estudadas. É possível concluir, ainda, que a utilização de escória de cobre como agregado miúdo, até 40% em volume, melhora o desempenho do concreto, quanto às características estudadas.</p>	2000	Brasil	-	Te aprese ao Pr de Gradua Engenh Civi Univer Federal Grande
4	<p>ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA VIA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA COMO AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE PRÉFABRICADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL - ECOBLOCOS</p>	<p>O pós-processamento desse rejeito (escória de aciaria) gera duas matérias-primas: a sucata metálica, de interesse para a siderurgia e uma fração não-metálica, de interesse para a construção civil. Essa fração não-metálica surge como material potencial para a fabricação de matrizes de concreto pré-fabricados, como blocos para alvenaria e para pavimentação. Dentre outras vantagens, as escórias de aciaria pós-processadas, utilizadas como agregados, apresentam custo relativamente menor em relação ao custo dos agregados naturais. A tonelada de areia, brita 0 e brita 1 custa em média R\$ 90,00/ton.; R\$ 100,00/ton.; e R\$ 100,00/ton, respectivamente. Relativamente ao valor de mercado, a escória de aciaria, utilizada como agregado artificial em substituição aos agregados naturais, pode ser comercializada a um valor até 50% inferior ao valor de mercado dos agregados naturais. (RAMOS, POLISSEM, FREESZ, 2014). Adicionalmente, devem ser destacados também os ganhos ambientais da utilização das escórias de aciaria como agregados em substituição aos agregados artificiais. (PEIXOTO, 2011).</p>	2015	Brasil	-	Disse aprese Program Pós-Grad d Depart de Eng Civil d de M Univer Federal pre
	<p>Coeficiente de conformação superficial de armaduras em concreto sustentável —</p>	<p>Este trabalho propõe estudar a viabilidade da utilização de agregados artificiais (escória de aciaria) no concreto armado. Os agregados artificiais foram caracterizados para determinação de suas propriedades físicas e químicas de acordo com a normatização da ABNT. Foram produzidas peças de concreto armado a partir da substituição total dos</p>	26	Brasil	-	Mono aprese ao Cur Engen Civi

5	Escória de aciaria	<p>agregados convencionais por agregados obtidos do pós-processamento das escórias de aciaria e peças de concreto armado com agregados convencionais com objetivo de comparação. Os elementos foram produzidos a partir de uma dosagem para obtenção de resistência à compressão de 20 MPa e 40 MPa.</p> <p>Esses elementos foram submetidos à ensaios de resistência à tração na flexão e em seguida, foi determinado o coeficiente de conformação superficial dos elementos.</p>		Univer Feder Ouro
---	--------------------	--	--	-------------------------

6	<p>CONTRIBUIÇ ESTUDO DAS PROPRIEDAD ES MECÂNICAS E DA DURABILIDAD EDE CONCRETOS COM ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA (EAF) COMO AGREGADO GRAÚDO</p>	<p>A crescente demanda por agregados para usos em engenharia estimulou a procura por materiais alternativos. Desta forma, a construção civil passou a ser potencialmente uma grande consumidora de resíduos provenientes de outras indústrias, tornando-se uma grande usina recicladora. A utilização de subprodutos traz benefícios ambientais bastante expressivos em relação à degradação do meio ambiente, como por exemplo, a menor deposição de resíduos em aterros, a diminuição da extração predatória de recursos naturais e a exploração de jazidas de agregados. As siderúrgicas, em nível mundial, vêm enfrentando um problema comum, que consiste no que fazer para que a totalidade da escória gerada no refino do aço em aciarias elétricas ou a oxigênio tenha uma solução de aproveitamento melhor do que vem sendo feito atualmente. Na fabricação do aço as escórias são geradas em duas etapas: a primeira provém do chamado refino oxidante (forno elétrico a arco ou conversor à oxigênio) e a segunda do refino redutor em processos de metalurgia na panela (forno-panela). Este trabalho tem como objetivo específico demonstrar, por meio de estudos, a potencialidade do uso das escórias de aciaria elétrica (escórias FEA) como agregado graúdo. Foram realizados ensaios de expansibilidade, resistência à compressão, à tração por compressão diametral, módulo de deformação e ensaios relacionados à durabilidade, tais como: intensidade de corrente de corrosão, potencial de corrosão, resistência ôhmica e profundidade de carbonatação. Após o estudo realizado observou-se a semelhança dos resultados dos concretos confeccionados com escória de aciaria elétrica com os concretos confeccionados com agregados convencionais, no caso o micaxisto. Podem-se constatar melhorias nas propriedades dos concretos produzidos com escória, tais como: aumento em suas resistências (compressão / tração) e aumento do módulo de deformação. No que diz respeito à durabilidade verificou-se, de uma maneira geral, que a substituição dos agregados, convencional por siderúrgico, não influenciaram no desempenho dos concretos.</p>	2 7	Brasil	-	Univers Feder Goi
---	--	---	--------	--------	---	-------------------------

7	"ATIVAÇÃO DE CIMENTO SIDERURGICO"	<p>O uso de escória de alto forno como aglomerante alternativo ao cimento Portland tem sido objeto de vários estudos no Brasil e no exterior. O estudo bibliográfico aqui relatado mostrou que o conhecimento do poder aglomerante da escória de alto forno vem desde meados do século XIX (1865). A escória de alto forno é comercializada no Brasil a preços inferiores a vinte dólares por tonelada. Esta diferença de preços entre o cimento Portland (cento e quarenta dólares a tonelada) e a escória, torna possível o uso intensivo de ativadores, mesmo os de maior preço, viabilizando no Brasil tecnologias que em outros países não seriam competitivas. Diversas publicações abordam a função aglomerante da escória quando misturada a substâncias ativadoras (cal, hidróxido de sódio, gipsita e silicato de sódio). Pode-se dizer que o cimento Portland é um caso particular de ativador da escória. Além de representar vantagens ao meio ambiente por ser um resíduo, a escória apresenta boas possibilidades de emprego, principalmente pelo baixo custo e por suas vantagens técnicas</p>	2	Brasil		<p>Monografia apresentada ao Curso Especial em Construção Civil da UFMG</p>
		<p>das quais se destacam a elevada resistência mecânica, a boa durabilidade em meios agressivos e o baixo calor de hidratação. Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre aditivos que possam ativar a escória, e resultar em características próximas de aglomerantes de cimento Portland a serem utilizados em argamassas e concretos em geral.</p>				

8	The use of steel slag aggregate to enhance the mechanical properties of recycled aggregate concrete and retain the environment	<p>Waste materials, such as demolished concrete rubbles and steel slag, are dumped in landfills. Such action destroys the environment. Recycling these materials and using them as coarse aggregate in new concrete mixes would eliminate the problem. The paper summarizes a two-stage research conducted to evaluate the use of the two environmentally harmful materials in concrete.</p> <p>Stage I studies the effect of using recycled concrete aggregate (RCA) or steel slag aggregate (SSA) on the properties of normal concrete. First, RCA and SSA properties have been determined and compared with those of normal aggregates. Later, RCA and SSA were introduced in concrete mixes. In these mixes, natural coarse aggregate is partly or totally replaced by RCA or SSA. Results show that the use of RCA or SSA has an adverse effect on the workability and air content of fresh concrete. While RCA resulted in reduction in the mechanical properties of concrete, SSA enhanced these properties.</p> <p>In order to enhance the properties of RAC so that it can be used safely in structural concrete, the RCA has been partially replaced by SSA in stage 2 of the research. Results show that this is possible,</p>	203	Jordan	Construction and Building Material
9	Design and Preparation of Steel Slag SMA	<p>On the basis of the characteristics of high rigidity and excellent friction resistance, a new kind of steel slag SMA (stone matrix asphalt) concrete was designed and prepared. The main processes include aggregate gradation, peoormance analysis of steel slag before and after aging, preparation methods and properties test of steel slag SMA . The experimental results indicate that the index of steel slag' s activation is less than 1 percent, the dynamic stability is 5699 times/ram, and both the residual stability and ratio of frozen splitting strength are more than 80 percent ; the friction factor and structure depth are 67.1% and 0.7 mm respectively. These results show the steel slag SMA is superior to the common asphalt concrete and SMA that uses common aggregate.</p>	203	China	Journal of Wuhan University of Technolo Mater. Sci. Ed.

Aplicação: PAVIMENTO

1	<p>ESCÖRIA DE ACIARIA ELÉTRICA EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS ESTUDO LABORATORIAL</p>	<p>Esta dissertação apresenta os resultados de um estudo sobre o emprego da escória de aciaria elétrica como agregado para pavimentação. Este tipo de resíduo é gerado durante o processo de produção do aço em siderúrgicas que utilizam fornos elétricos a arco. As características mecânicas do agregado foram determinadas através de ensaios de granulometria, durabilidade ao sulfato de sódio, abrasão no equipamento de Los Angeles, compactação, índice de suporte Califórnia e módulo de resiliência. Constatou-se a necessidade de corrigir a granulometria da escória, procedimento que melhorou significativamente a capacidade de suporte e a trabalhabilidade do material. Através da avaliação do potencial expansivo do material concluiu-se que o tempo de estocagem mínimo para liberação do agregado é 4 meses. Após a correção granulométrica, a escória apresentou módulos de resiliência superiores aos de materiais granulares tradicionais, resultando em pavimentos mais esbeltos e econômicos. As características ambientais foram avaliadas através de ensaios de lixiviação e solubilização e o resíduo classificado como classe II, ou seja, não inerte. Adicionalmente analisou-se a possibilidade de melhorar as características de resistência e trabalhabilidade do agregado através da adição de outros resíduos industriais (cinza pesada e cal de carbureto). Determinou-se a mistura ótima e avaliaram-se as características ambientais e de deformabilidade elástica. Os resultados do estudo permitem concluir que a escória de aciaria elétrica pode ser empregada como material de pavimentação, seja por meio de estabilização granulométrica ou pela modificação com cinza pesada e cal de carbureto, não provocando riscos ao meio ambiente e saúde pública e proporcionando boa qualidade técnica e notáveis benefícios ambientais e econômicos.</p>	2 2	Brasil	<p>Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul</p>
2	<p>Characteristics and Utilization of Steel Slag in Road Construction</p>	<p>Presently, the rate of utilization of steel slag in Malaysia is rather too low compared to some advanced countries. Many studies focused on the better way to increase the usage of industrial by-products in order to ease disposal problems. Enormous quantities of steel slag were deposited in yards, causing environmental pollution. Like other metallurgical slags, steel slags exhibit a great potential to be used as aggregate in highway construction. The assessment and evaluation of this material should be based on environmental, economic and technical factors before it can be used in road construction. In terms of technical perspective, steel slags must meet the required test requirements that are needed for natural aggregates used for similar purposes. The degree of slag utilization needs to be improved as an important measure to these problems. The physical and chemical properties of slag were reviewed and the various areas of its applications are highlighted. The principal setback of its use; volumetric instability which results from hydratable oxides can be checked through appropriate methods like aging and steam test.</p> <p>In order to sustain its uses, microstructure analysis that can identify any harmful materials present in it is suggested. There is also an urgent need of standard methods to assess its suitability as highway construction material.</p>	2 4	Malaysia	<p>Jurnal Teknologi</p>

3	Comportamento Mecânico e Ambiental de Materiais Granulares. Aplicação às Escórias de Aciaria Nacionais	<p>Nesta tese estudou-se o comportamento mecânico e ambiental de materiais granulares e muito particularmente os agregados processados das escórias de aciaria produzidas na Siderurgia Nacional, com o principal objectivo de promover a sua valorização (reciclagem) como material de construção nas infraestruturas de transporte e obras geotécnicas. Neste sentido, estabeleceu-se um programa experimental para a caracterização ambiental e mecânica, quer em laboratório, quer no campo, dos agregados processados das escórias de aciaria nacionais, bem como de dois materiais naturais (Saibro Granítico e Agregado Granítico), com o propósito de se compararem as suas propriedades. Em laboratório, o principal ensaio mecanicista utilizado para determinar as propriedades de deformabilidade dos materiais granulares tem sido o triaxial cíclico, desenvolvido durante este programa de investigação. Uma câmara triaxial com 150mm de diâmetro e 300mm de altura foi instrumentada internamente para medição directa da força aplicada e dos deslocamentos no provete de ensaio. Paralelamente ao estudo sobre a valorização dos agregados processados das escórias de aciaria nacionais efectuou-se um outro, relativo à influência do índice de vazios e da granulometria nas características de deformabilidade dos materiais granulares. Esse estudo envolveu a realização de ensaios triaxiais cíclicos, em provetes com diferentes granulometrias, combinando diferentes dimensões médias das partículas (D50) e diferentes índices de vazios. Os resultados do estudo mostraram, claramente, que as equações relativas ao índice de vazios obtidas sobre areias, e normalmente utilizadas em materiais granulares com fracções mais grossas, não descrevem o comportamento destes materiais, sobretudo quando bem compactados. Com base nos resultados obtidos propôs-se para a normalização do módulo de deformabilidade em relação ao índice de vazios uma nova expressão matemática que incorpora um factor que depende da granulometria dos materiais. Os resultados mostraram ainda que o módulo de deformabilidade dos materiais granulares depende da dimensão máxima das partículas e do D50.</p> <p>No campo, a avaliação dos desempenhos mecânico e ambiental dos materiais efectuou-se recorrendo à construção de um trecho experimental, integrado numa estrada nacional em serviço, constituído por três secções distintas. Numa foram utilizados apenas os dois materiais naturais (no aterro e nas camadas de leito do pavimento e base), noutra foi utilizado exclusivamente agregado processado (no aterro e nas camadas de leito do pavimento e base) e na restante aplicou-se o Saibro Granítico, no aterro e na camada de leito do pavimento, e o agregado processado, na camada de base. A avaliação do desempenho mecânico e ambiental dos materiais efectuou-se durante e após a fase de construção. A avaliação do desempenho mecânico durante a fase de construção realizou-se através do controlo dos parâmetros de estado e da deformabilidade dos materiais, com recurso a diferentes ensaios. A avaliação do desempenho mecânico, após a fase de construção, efectuou-se ao longo de dois anos, quer ao nível interno das camadas do pavimento com recurso a extensómetros e do aterro através de varões extensométricos instalados durante a fase de construção, quer ao nível do comportamento global do aterro através de campanhas de nivelamento topográfico de precisão e no pavimento com recurso a ensaios com deflectómetro de impacto pesado. A avaliação do desempenho ambiental efectuou-se, ao longo de um ano, com recurso a instrumentação original em Portugal nesta aplicação: instalação de dois lisímetros. Os resultados experimentais obtidos</p>	2	Brasil	Tese de Doutorado Universidade de Minas Gerais
---	--	---	---	--------	---

		<p>neste estudo mostraram que os agregados processados das escórias de aciaria nacionais são inertes e</p>			
--	--	--	--	--	--

		<p>apresentam um desempenho mecânico superior ao dos materiais naturais, contribuindo decisivamente para a sua valorização em infraestruturas de transporte e obras geotécnicas. Presentemente, são comercializados pela Siderurgia Nacional como um novo material de construção, com Marcação CE e marca registada com a designação de Agregado Siderúrgico Inerte para a Construção (ASIC).</p>			
--	--	---	--	--	--

4	<p>UTILIZAÇÃO DO AGREGADO SIDERÚRGICO (ESCÓRIA DE ACIARIA) EM REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO TRATAMENTO SUPERFICIAL</p>	<p>A sustentabilidade ambiental necessita de medidas preventivas ou mitigadoras dos impactos causados ao ambiente pelas atividades industriais produtivas, para preservação dos recursos minerais não renováveis.</p> <p>Neste sentido, esta dissertação tem por objetivo avaliar através de estudos predominantemente experimentais por ensaios de laboratório e aplicação em campo o uso da escória de aciaria produzida pela empresa Arcelor Mittal Tubarão na execução do revestimento asfáltico tipo tratamento superficial, em substituição aos agregados naturais.</p> <p>Com a pesquisa realizada foi possível executar trecho experimental na Estrada Municipal de Ligação entre o Bairro Cascata (Serra Sede) até Queimados. entre o km 2,1 e km 2,2, no município de Serra, Estado do Espírito Santo. A aplicação do tratamento superficial duplo foi realizada em fevereiro, a primeira avaliação ocorreu em março e atendendo solicitação da Banca Examinadora da Dissertação, a segunda avaliação ocorreu junho de 2011. Após a aplicação do tratamento supelicial duplo verificou-se na primeira e segunda avaliação o bom desempenho funcional, com ausência de fissuras, trincas, desagregações, exsudação, falha de bico, do revestimento em tratamento superficial executado com agregado siderúrgico (escória de aciaria).</p> <p>Durante a pesquisa foi possível verificar as limitações atuais da norma técnica DNER — EM 262/94, a qual fixa condições relativas a escórias de aciaria a serem utilizadas na construção de pavimentos</p>	2	Brasil		<p>Disserta apresenta Mestrado Profission Engenhar Geotécnic Núcleo Geotecnia Escola de M Universidad Federal de preto</p>
		<p>rodoviários. As condições gerais e específicas contidas nesta norma técnica não especificam a camada do pavimento, sugerindo tais condições para todas as camadas (regularização de subleito, subbase, base e revestimento).</p> <p>Analisando os resultados foi possível concluir que o Agregado Siderúrgico (escória de aciaria) produzido pela Arcelor Mittal Tubarão pode ser a principio utilizado para compor revestimento de tratamento superficial com boas características e economia na região da produção da escória.</p>				

5	<p>ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DO USO DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE</p>	<p>A escória de aciaria já é amplamente conhecida no meio rodoviário, mas geralmente é utilizada como material granular nas camadas de base e de sub-base. Todavia, esse excelente material é muito pouco utilizado como agregado em misturas asfálticas.</p> <p>Portanto, tentando preencher essa lacuna, este trabalho teve por objetivo verificar a viabilidade técnica e económica da utilização de agregados de escória de aciaria em mistura asfáltica usinada tipo CBUQ, em comparação com o mesmo tipo de mistura confeccionada com agregado gnáissico. Os estudos mostraram que o CBUQ confeccionado com escória de aciaria curada possui excelentes qualidades técnicas, superiores, inclusive, às do CBUQ confeccionado com agregados naturais. Todavia, o elevado índice de absorção da escória de aciaria demanda um maior teor de ligante que os agregados gnáissicos de mesma granulometria, o que recomenda a análise económica do uso desse material em CBUQ em comparação com o uso de agregados naturais.</p> <p>Uma análise económica de comparação simulada neste trabalho, mostrou que, para ocorrer a igualdade de custos totais, a DMT do agregado gnáissico deverá ser cerca de 28 km maior que DMT da escória de aciaria. Através da equação de distância económica apresentada no estudo de viabilidade, os fornecedores de escória de aciaria poderão definir uma área regional ao redor das suas áreas de estocagem, dentro da qual o uso de agregado de escória se torna mais económico que o uso de agregados naturais, propiciando grande economia para os seus clientes.</p> <p>As misturas asfálticas produzidas com agregado de escória de aciaria apresentaram maior estabilidade, menor fluência e maior módulo de resiliência, sendo, portanto, mais qualificadas que as misturas com agregado pétreo natural para uso em pavimentos que serão solicitados por tráfego pesado em clima quente.</p> <p>O uso do agregado de escória de aciaria com cimento asfáltico de petróleo mais viscoso (CAP 30/45) potencializa a estabilidade Marshall e a resistência à deformação permanente (fluência) da mistura, minimizando os riscos de</p>	2	Brasil	<p>Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica do Núcleo de Geotecnia da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, em 2014.</p>
---	--	---	---	--------	---

		<p>surgimento de deformações plásticas por fluência (ondulação) ou por consolidação (afundamentos nas trilhas de roda).</p>			
6	<p>Caracterização de escória de ferro silíciomanganês para uso em camadas de base e subbase rodoviárias</p>	<p>O impacto gerado pelos resíduos da indústria siderúrgica provoca discussões acerca das melhores formas de destinação final dos subprodutos resultantes do processo de geração de ligas metálicas. Visando mitigar esses problemas, este trabalho apresenta os resultados dos estudos sobre a caracterização da escória de ferro silício-manganês para potencial aplicação em projetos de misturas com solo, na construção de camadas de base e sub-base de pavimento rodoviário. A relevância deste trabalho se mostra diante da necessidade de prover uma destinação ambientalmente adequada para subprodutos de processos siderúrgicos que podem prover a sociedade de soluções viáveis, ou seja, se tornar um coproduto que reduza o consumo de matéria-prima natural, além de promover economia financeira.</p> <p>Alguns métodos utilizados são tradicionais, como Granulometria, Densidade e absorção, e Abrasão Los Angeles. Outros são usados mais recentemente para caracterizar agregados, como Microscópio Eletrônico de varredura (MEV) e Sistema de caracterização de agregados por imagem (AIMS). Complementarmente, são apresentados os dados obtidos na Degradação após o teste de compactação Proctor e a determinação da perda ao choque no equipamento Treton. Os resultados encontrados nos ensaios mencionados se mostram satisfatórios diante dos valores estabelecidos nas normas específicas para cada metodologia. Finalmente, conclui-se que a escória de ferro de silício-manganês apresenta propriedades geotécnicas compatíveis com as</p>	28	Brasil	<p>Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais</p>

		estabelecidas para uso em base e sub-base de pavimentos flexíveis.				
--	--	--	--	--	--	--

7	<p>UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA PURA E COM ADIÇÃO DE ARGILA COMO CAMADA DE BASE EM PAVIMENTAÇÃO O RODOVIÁRIA</p>	<p>Um dos principais problemas defrontados pela engenharia rodoviária atualmente, consiste na escassez de materiais naturais em condições adequadas para utilização nas obras de implantação e pavimentação. Entretanto, paradoxalmente, as siderúrgicas geram diversos resíduos, constituindo passivos ambientais que necessitam urgentemente serem mitigados. Desta forma, pode-se equacionar ambos os problemas, utilizando-se, por exemplo, à escória de aciaria na confecção da camada de base rodoviária, onde a mesma, passa de um resíduo indesejável, a um valioso coproduto.</p> <p>Desta maneira, através deste estudo, visando comprovar a eficácia da citada utilização da escória de aciaria, analisou-se o comportamento geotécnico do pavimento da rodovia MG232 - trecho: Mesquita a Santana do Paraíso, integrante da malha rodoviária do Estado de Minas Gerais, com vinte quilômetros de extensão. Este trecho rodoviário é constituído por seis segmentos homogêneos, onde o pavimento é composto por revestimento em pré-misturado a frio e tratamento superficial duplo e camadas de base estabilizadas granulometricamente, em cascalho, escória de aciaria pura e com adição de argila. Desta forma, para subsidiar os estudos, foram coletadas algumas amostras da escória de aciaria diretamente da pilha de depósito na siderúrgica USIMINAS, na cidade de Ipatinga — MG. Sequencialmente, amostragens representativas dos materiais que compõem todos os referidos seis segmentos, foram extraídas de todas as camadas do pavimento e também do subleito, que analisado pelo método Miniatura Compactado Tropical, mostrou-se, laterítico argiloso — LG. Implementou-se ainda, estudos e caracterização físico-química e mineralógica dos diversificados materiais, componentes da estrutura deste pavimento rodoviário. Por intermédio da viga Benkelman, efetivou-se em todo o trecho, levantamentos das bacias de deflexão e dos raios de curvatura. O módulo de resiliência foi definido por retroanálise e ratificado pelo laboratório, concluindo os estudos promoveu-se um dimensionamento para vida útil de dez anos. A base em escória de aciaria analisada apresentou um bom comportamento, principalmente quando comparada aos resultados exibidos pela base confeccionada em cascalho. Demonstrando assim, a eficácia da utilização da escória de aciaria Linz- Donawitz nesta referida camada dos pavimentos rodoviários, tanto pura, quanto com adição de argila.</p>	2	Brasil		<p>Dissertação apresentada à Mestrado em Engenharia Geotécnica Núcleo Geotécnico Escola de Minas Universidade Federal de Minas Gerais</p>
---	--	--	---	--------	--	---

8	<p>COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UM TRECHO RODOVIÁRIO CONSTRUÍDO COM AGREGADO SIDERÚRGICO INERTE PARA CONSTRUÇÃO (ASIC)</p>	<p>A utilização de materiais alternativos, nomeadamente subprodutos industriais e materiais reciclados, na construção de infraestruturas de transporte e de obras geotécnicas, tem vindo a ser promovida por todo o mundo. Para garantir que a aplicação desses materiais é feita de forma eficiente, cumprindo os requisitos técnicos e ambientais das obras onde são utilizados, têm sido realizados diversos estudos e desenvolvidas especificações técnicas. No entanto, atendendo a que, na maioria das situações, as aplicações de alguns destes materiais são relativamente recentes, existe ainda pouca informação relativa ao desempenho a longo prazo das infraestruturas onde foram utilizados, nomeadamente no que se relaciona com o respetivo comportamento estrutural. Neste trabalho apresentam-se alguns resultados relativos à caracterização do agregado siderúrgico inerte para construção (ASIC), processado a partir das escórias de aciaria de forno de arco elétrico da Siderurgia Nacional, e à evolução das características de superfície e do comportamento estrutural de um trecho experimental construído em 2007 num troço de estrada em Portugal, no qual foi utilizado ASIC em aterro e em diversas camadas do pavimento. A inspeção visual, os resultados dos ensaios mecânicos realizados e o valor dos assentamentos medidos em marcas superficiais, no âmbito de uma campanha de monitorização levada a cabo em 2017, cerca de dez anos após a entrada em serviço do referido trecho, permitem concluir que o pavimento existente na zona onde se aplicou ASIC como material de construção encontra-se, em geral, em melhor estado e exibe um melhor comportamento estrutural, quando se compara com as zonas adjacentes que foram construídas com materiais naturais. Em termos de assentamentos máximos do aterro, não se observaram diferenças significativas quando se compararam as zonas com ASIC com as zonas adjacentes.</p>	218	Portugal	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa
---	---	--	-----	----------	--

9	<p>UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM PAVIMENTAÇÃO O RODOVIÁRIA</p>	<p>Em razão do elevado uso de recursos naturais na construção civil, gerou-se a necessidade de estabelecer um uso mais racional destes recursos. Com foco numa sociedade mais sustentável, este trabalho visa promover a utilização de resíduos sólidos com características e comportamentos semelhantes aos materiais convencionais empregados na pavimentação rodoviária e, assim, incentivando a sustentabilidade dentro da construção civil. Para isto, foram abordados, através do estado da arte, os materiais constituintes na estrutura de um pavimento, assim como levantadas questões sobre evolução legislativa e ambiental e os impactos que um resíduo oferece, ou não, ao meio ambiente. A partir deste ponto, são analisados os diferentes tipos de resíduos estudados por diversos autores, como o uso de borracha de pneus, asfaltos reciclados, RCD (Resíduos de Construção e Demolição), cinza da casca de arroz, resíduos do carvão mineral e escória de aciaria. Destes resíduos, foram propostas sete estruturas de pavimentos, com quatro tipos dos resíduos, além de uma estrutura com materiais convencionais para comparação. Para a análise mecanicista</p>	2 4	Brasil		<p>Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil</p>
---	--	--	--------	--------	--	---

da estrutura foram levados em conta o módulo de resiliência e coeficiente de Poisson, onde, com o uso do software Everstress 5.0, chegou-se às respostas estruturais, como as deflexões, deformações e tensões das camadas. Com estes resultados, compararam-se os dados dos pavimentos propostos com a estrutura padrão projetada e valores admissíveis de fadiga e deformação, através do número N de 1×10^7 . Logo, chegou-se à conclusão que grande parte dos resíduos estudados apresentou bom desempenho à carga aplicada. Apenas para a proposta 5 (revestimento de asfalto reciclado) foi sugerido um novo dimensionamento, por não atender a deformação admissível para o volume de tráfego estabelecido. Verificou-se que as propostas 3 (escória mistura ótima) e 6 (asfalto reciclado na camada de base) apresentaram excelentes comportamentos quanto à resistência à carga aplicada, e

consequentemente evitando o aparecimento de trincas causadas pela fadiga, apresentando ainda baixa deformação permanente.

Técnicas de melhoramento de solos localizados próximos a locais de implantação de novos pavimentos se tornam cada vez mais necessárias, dada à escassez de recursos naturais com características técnicas adequadas e economia que pode ser obtida com a viabilização de materiais não nobres. Existe EM CAMPO DE uma tendência de se buscar alternativas de estabilização com ESTRUTURA subprodutos de outras indústrias. Estudos utilizando escórias DE de aciaria como material cimentante têm ganhado PAVIMENTO notoriedade. Desse modo, o objetivo desse trabalho é mostrar

INCORPORAN

o desempenho em campo de estruturas de pavimentos

DO SOLO

empregando solos argilosos estabilizados quimicamente com ESTABILIZADO escória de dessulfurização em camadas de base e sub-base

COM

em comparação com estruturas usuais empregando solo

COPRODUTO

melhorado com cimento Portland. Para tanto, foram

DE ACIARIA

Dissertação

construídas das camadas constituintes e variando os materiais

KR SUJEITA À

duas pistas experimentais, fixando as espessuras

apresentada ao

CARREGAMEN

2 Programa de

Pós-

empregados nas camadas de sub- base, sendo uma pista

TO COM

Graduação em

10

(Pista 01) executada com solo argiloso A-7-6 estabilizado com

Brasil Civil da

SIMULADOR

Engenharia

20% executada com solo arenoso A-2-6 melhorado com 3% de

HVS E

de coproduto de aciaria KR e outra pista (Pista 02)

9

Universidade

COMPARAÇÃO

Federal do Espírito cimento Portland. A camada do revestimento das duas pistas

COM

Santo foi executada com asfalto borracha. Os materiais utilizados

PREVISÕES nas construções de todas as camadas

foram coletados e

DE

ensaiados em laboratório. As duas pistas experimentais em

DESEMPENHO

SEGUNDO O foram sujeitas a carregamento de tráfego repetitivo campo usando o simulador de tráfego móvel do tipo Heavy Vehicle NOVO

MÉTODO Simulator (HVS), As avaliações de desempenho em campo incluíram deflexões

BRASILEIRO usando Viga Benkelman, afundamento de DE roda (ATR) usando Trelíça Metálica, microtextura e trilha de macrotextura do revestimento por meio de ensaios de

DIMENSIONAM

Pêndulo Britânico e Mancha de Areia, respectivamente, e, por

ENTO MEDINA

fim, análise visual da evolução da área trincada.

Posterior as avaliações de campo, foi simulado no Método de

Dimensionamento Nacional (MeDiNa) as estruturas construídas para verificar o desempenho previsto, Também

		<p>foram verificadas as espessuras finais sugeridas com base nos modelos propostos no MeDiNa, considerando o carregamento ao qual os trechos foram submetidos e algumas propriedades dos materiais empregados obtidas em laboratório. Os resultados encontrados mostraram que a Pista 01 , que utilizou a mistura de solo argiloso com adição de 20% de KR na sub-base e solo arenoso melhorado com 3% de cimento Portland na base, apresentou resultados de desempenho tão bons quanto a mistura de solo arenoso melhorado com 3% de cimento Portland na sub-base e na base. Verificou-se que os resultados de evolução do desempenho previstos utilizando o</p> <p>MeDiNa para as Pistas 01 e 02 foram similares àqueles obtidos em campo, tanto para o ATR quanto com relação à fadiga. A possibilidade de usar solução de solo-KR na aplicação de sub-base pode ser uma solução econômica e sustentável para a construção de rodovias, já que é muito menos dispendioso do que outras soluções comumente usadas, como a de solo melhorado com cimento.</p>			
--	--	--	--	--	--

1 1	<p>APLICABILIDADE DO AGREGADO SIDERÚRGICO AÇOBRI­TADO MISTURADO COM SOLO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS</p>	<p>O agregado siderúrgico, também denominado açobrita, foi desenvolvido pela indústria siderúrgica a partir das escórias de aciaria. Este é um material tratado, com expansão volumétrica controlada, britado e enquadrado numa granulometria definida, desenvolvido para se tornar uma alternativa aos agregados naturais convencionais em obras de pavimentação rodoviária. Neste contexto, esta dissertação visa à avaliação da aplicabilidade do agregado siderúrgico açobrita como constituinte de camadas de base em pavimentos rodoviários. Ressalta-se que esta pesquisa foi desenvolvida por meio de uma parceria do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte — DNIT, o Instituto Aço Brasil - IABR e a Universidade de Brasília — UnB, objetivando também gerar parâmetros no sentido de obter uma normativa DNIT que oriente o uso sistemático deste produto no Brasil. Para esse fim, o DNIT planeja a implantação de trechos experimentais utilizando o agregado siderúrgico em rodovias federais no estado de Minas Gerais (BR120/MG e BR381/MG), próximos às usinas siderúrgicas, utilizando misturas de este, com diferentes materiais como solos naturais, materiais fresados e adições de cimento. Uma mistura de agregado siderúrgico e solo tropical obtido no local onde será executado um dos trechos experimentais (BR 381/MG) foi o tema de estudo nesta pesquisa. Assim, o programa experimental relativo aos ensaios geotécnicos de laboratório, foi definido incluindo a caracterização física e mecânica do agregado siderúrgico, do solo e três misturas</p>	2 6	Brasil	<p>DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA</p>
--------	---	--	--------	--------	--

		<p>destes dois: 70% agregado siderúrgico + 30% solo (M7030), 80% agregado siderúrgico + 20% solo (M8020) e 90% agregado siderúrgico + 10% solo (M9010). Além dos ensaios de caracterização física e mecânica dos materiais, foi determinado o potencial de expansão do agregado siderúrgico pelo método ME 113 (DNIT, 2009), conhecido internacionalmente como método PTM 130. Os resultados dos ensaios mostraram que o agregado siderúrgico açobrita proporciona características adequadas para ser empregado como material de pavimentação, principalmente por obter controle na sua expansão; e que as três misturas de agregado siderúrgico e solo, apresentam desempenho satisfatório, tendo conformidade granulométrica, expansão controlada e altos valores de índice de Suporte de Califórnia, sendo aplicáveis como material de base de pavimentos rodoviários.</p>			
12	<p>AVALIAÇÃO LABORATORIAL DE MISTURA ASFÁLTICA DO TIPO SMA COM AGREGADO SIDERÚRGICO</p>	<p>A busca por materiais alternativos para uso em pavimentação vem de longa data, visando ajudar a resolver o problema ambiental e também baratear as obras. A escória de aciaria como agregado para pavimentação é um destes materiais.</p> <p>Este trabalho discute fatores que influenciam na determinação da proporção adequada tecnicamente para o uso de agregado siderúrgico em misturas asfálticas. Aplicam-se os princípios da dosagem Superpave na composição de misturas asfálticas com uma amostra de agregado siderúrgico, proveniente de processo de fabricação de aço do tipo a oxigênio, tratado posteriormente por processos de redução da expansão e por britagem. Foi realizada a caracterização física e mecânica da escória, nas suas várias frações, visando analisar suas propriedades para utilização como agregado para pavimentação. Com isto, definiu-se a necessidade de compor a granulometria do esqueleto mineral com uso de finos de agregado natural. Foi utilizado o método Bailey para avaliação do esqueleto pétreo. Foram dosadas duas misturas do tipo SMA (Stone Matrix Asphalt), com dois ligantes asfálticos (CAP 30/45 e asfalto-borracha), avaliadas por ensaios mecânicos de: módulo de resiliência, resistência à tração, flow number, deformação permanente e fadiga. Os resultados permitem concluir que os agregados siderúrgicos</p>	2 2	Brasil	<p>DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓSGRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO</p>

		avaliados são adequados para este tipo de mistura asfáltica.			
--	--	--	--	--	--

13	Pré-misturado a frio contendo escória de aciaria: Uma alternativa viável para construção de pavimentos	<p>As misturas asfálticas do tipo Pré Moldado a Frio (PMF) podem ser uma alternativa técnica, econômica e ambiental às misturas asfálticas do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Entretanto a baixa resistência mecânica do</p> <p>PMF produzido com os materiais convencionais atende somente às solicitações de carga de tráfego leve. Como uma alternativa para ampliação do uso desta técnica, tem-se a utilização de agregados alternativos, principalmente resíduos da indústria siderúrgica, tal como a escória de aciaria. No estado do Rio de Janeiro (RJ), no bairro de Santa Cruz na zona oeste, a prefeitura do RJ possui uma usina de produção de mistura asfáltica PMF e também está localizada a Empresa Siderúrgica CSA, que tem interesse em dar um destino para sua produção de agregado siderúrgico. Nesse estudo, para avaliação da utilização da escória de aciaria em misturas do po</p> <p>PMF foram dosadas misturas com emulsão convencional e modificada por polímero e submetidas aos ensaios para avaliação do comportamento mecânico: estabilidade Marshall, resistência à tração (RT), vida de fadiga por compressão diametral e dano por umidade induzida. A mistura de PMF foi aplicada em duas vias da zona oeste do RJ e foram avaliadas quanto à deflexão e extraídos corpos de prova para</p>	2 7	Brasil	Associação Nacional de Engenheiros de Transportes
----	--	---	--------	--------	---

		<p>verificação da resistência pela estabilidade Marshall e RT.</p> <p>Concluiu-se, a par dos resultados obtidos tanto de campo como de laboratório, que o pavimento resistiu às solicitações, cujas magnitudes o caracterizam como de tráfego médio,</p>			
--	--	--	--	--	--

14	<p>UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA</p> <p>FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO</p>	<p>siderurgia no Brasil apresenta-se como importante atividade econômica. No entanto, a atividade siderúrgica gera significativa quantidade de resíduos e ainda consome muitos recursos naturais, o que conjuntamente afetam o meio ambiente de forma severa. A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, tem levado à busca por soluções de reutilização e incorporação dos resíduos como alternativas para o desenvolvimento de produtos de base tecnológica ou ainda como fonte alternativa de matéria-prima na construção civil. Este trabalho apresenta resultados relativos a produção de blocos de concreto para pavimentação fabricados integralmente com agregados reciclados (escória de aciaria) obtidos em planta especializada com aplicação de metodologias e processamentos específicos de pós-tratamento. Os agregados reciclados, ou pósprocessados, geram matéria prima (metálicos) que retornam ao processo siderúrgico e garantem a sustentabilidade da atividade de pós-processamento. Por outro lado, geram uma rejeito não metálico que pode ser aplicado como agregado em matrizes cimentícias. Assim sendo, foram produzidas diferentes séries de corpos de prova, submetidos a análises mecânicas e de durabilidade em diferentes idades, segundo planejamento experimental. Estes corpos de prova foram ainda submetidos a análises ambientais para determinação de suas interações com o meio. A análise dos resultados indicou potencial viabilidade para o emprego de agregados reciclados (escória de aciaria) na fabricação de blocos de concreto para pavimentação.</p>	2 1 Brasil	Anais do 53 Congresso Brasileiro do Concret	CB Ca 11
----	--	---	------------------	---	----------------

15	<p>ESTUDO EXPERIMENTAL DE COMPACTAÇÃO E EXPANSÃO DE UMA ESCÓRIA DE ACIARIA LD PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO</p>	<p>A escória de aciaria LD é um subproduto gerado durante o processo de fabricação do aço em siderúrgicas que utilizam conversores e oxigênio. A utilização desse material em bases e sub-bases de pavimentos pode ser vantajosa em termos técnico, econômico e ambiental, comparados a agregados convencionais. Porém, problemas como sua natureza expansiva e a deficiência de critérios técnicos para sua aceitação têm limitado a utilização das escórias de aciaria em pavimentação. A expansão das escórias de aciaria é provocada principalmente pela hidratação dos óxidos de cálcio e magnésio livres presentes nesse material. O objetivo desta dissertação é estudar experimentalmente a compactação e a expansão de uma escória de aciaria LD, e assim contribuir para a definição de critérios técnicos de avaliação da expansão desse material visando a sua utilização em bases e sub-bases de pavimentos. A escória de aciaria LD deste estudo é proveniente de uma siderúrgica da região metropolitana de Vitória, Espírito Santo. Neste trabalho, são apresentados ensaios laboratoriais de caracterização química, física e ambiental, ensaios de compactação com energias do Proctor normal e do Proctor modificado e ensaios de expansão. Os três métodos de ensaio de expansão utilizados foram os métodos: PTM-130/78, JIS A 5015/92 e ASTM D 4792/00.</p> <p>Os resultados dos ensaios de compactação demonstraram que as amostras de escória de aciaria LD estudadas não apresentaram umidade ótima de compactação definida, tendo um comportamento típico de solos e materiais granulares.</p> <p>Análises estatísticas realizadas nos resultados dos ensaios de compactação mostraram ausência de diferenças estatisticamente significantes entre os dois procedimentos utilizados (com e sem reuso de material), entre as duas energias de compactação utilizadas (Proctor normal e Proctor modificado) e entre as duas amostras utilizadas (com e sem tratamento de redução de expansão).</p> <p>As análises estatísticas dos resultados dos ensaios de expansão obtidos pelo método PTM- 130/78, nas amostras de escória de aciaria estudadas, demonstraram que: a umidade de compactação não teve influência estatisticamente significativa nos resultados de expansão; a influência da temperatura nos resultados de expansão foi altamente significativa; e a influência da energia de compactação nos resultados de expansão foi estatisticamente significativa.</p> <p>sendo que a energia do Proctor modificado provocou menores valores de expansão em relação à energia do Proctor normal.</p> <p>Neste trabalho, também se propõe um critério técnico para aceitação dos lotes de escória de aciaria LD segundo o requisito expansão utilizando o</p>	2 5	Brasil	<p>Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo</p>
----	--	--	--------	--------	--

		<p>método PTM-130/78. Esse critério engloba o procedimento de amostragem, uma metodologia estatisticamente significativa para o cálculo do número mínimo de corpos-de-prova e o limite máximo de 3% de expansão determinada pelo método PTM-130/78.</p>			
--	--	---	--	--	--

16	Escória de aciaria elétrica: uma alternativa aos materiais granulares tradicionais	São apresentados os resultados de um estudo sobre o emprego da escória de aciaria elétrica como agregado para pavimentação. Este resíduo é gerado na produção do aço em siderúrgicas que utilizam fornos elétricos a arco. As características físicas e mecânicas do agregado foram determinadas através de ensaios de granulometria, durabilidade ao sulfato de sódio, abrasão no equipamento de Los Angeles, compactação, Índice de Suporte Califórnia e módulo de resiliência. Constatou-se a necessidade de corrigir a granulometria da escória, procedimento que melhorou a capacidade de suporte e a trabalhabilidade do material, gerando módulos de resiliência superiores aos de materiais granulares tradicionais. Através da avaliação do potencial expansivo do material concluiu-se que o tempo de estocagem mínimo para liberação do agregado é 4 meses. Os resultados do estudo permitem concluir que a escória de aciaria elétrica pode ser empregada como material de pavimentação proporcionando boa qualidade técnica e benefícios ambientais e econômicos.	2 2	Brasil	Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
17	ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS DE SOLO E ESCÓRIA DE ACIARIA PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO RODOVIÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA	A escória de aciaria é um resíduo sólido da produção do aço utilizado na construção civil. Para cada tonelada de aço produzido têm-se 15% em peso de escória de aciaria como material de descarte. Com o objetivo de utilizar o material na construção rodoviária, este agregado siderúrgico pode ser adicionado ao solo para utilização na construção de bases e subbases estabilizadas granulometricamente. Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa em andamento que tem como objetivo principal avaliar o comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria a partir de resultados de ensaios triaxiais cíclicos e CBR. Nas misturas de solo-escória foi analisada a influência de se considerar diferentes percentuais de escória no processo de estabilização granulométrica. Foram também estudadas misturas de solo-brita para fins de comparação com as misturas solo-escória. Foram verificadas a influência do teor de escória no módulo de resiliência e CBR das misturas e a comparação destes parâmetros com os obtidos para as misturas compostas com brita.	2 5	Brasil	Universidade Federal do Ceará UFC

18	<p>ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA, GEOMECAÂNICA E AMBIENTAL DAS ESCÓRIAS DE ACIARIA LD PARA FINS DE APLICAÇÃO COMO MATERIAL DE LASTRO FERROVIÁRIO EM VIAS SINALIZADAS</p>	<p>A reutilização de resíduos constitui uma grande alternativa para a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente. Nesse sentido, as escórias de aciaria LD apresentam-se como um dos resíduos de maior geração nas usinas siderúrgicas.</p> <p>Estima-se que para cada tonelada de aço produzida, gera-se cerca de 150 kg de escória de aciaria no processo LD.</p> <p>Geralmente, as escórias de aciaria LD recém produzidas são volumetricamente instáveis, apresentando características expansivas, e por esta razão, a aplicação das mesmas deve ser feita a partir de estudos de estabilização. O objetivo precípua desta pesquisa é elaborar e implantar uma metodologia de estabilização química da escória de aciaria LD para fins de aplicação como lastro ferroviário em vias sinalizadas. Procura-se dessa maneira caracterizar definitivamente o uso da escória de aciaria em larga escala como lastro de ferrovias. Para atingir esse objetivo foi definida uma metodologia para a cura do material no pátio de beneficiamento de escória da USIMINAS com base na hidratação e na carbonatação em pilhas de 2 metros de altura, umectadas com aspersores e que foram instrumentadas com sensores de molhamento foliar, temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e teor de dióxido de carbono. Foi montada ainda uma pilha controle para acompanhar o processo de estabilização chamado "weathering" ou ao tempo, que consiste na metodologia adotada pela siderúrgica. Nesta campanha de campo, foi feito um monitoramento do teor de cal livre e também da expansibilidade presente nas pilhas de escória de aciaria analisadas durante o período de 180 dias. Durante este acompanhamento foram realizadas extensas campanhas de campo para caracterizar quimicamente, geo-mecanicamente, fisicamente, ambientalmente, antes e depois do processo de estabilização.</p> <p>As campanhas laboratoriais foram desenvolvidas nos laboratórios da Universidade Federal de Ouro Preto. Dessa forma, por meio dos resultados obtidos foi possível concluir que a metodologia de estabilização com base na hidratação e carbonatação para a escória de aciaria LD foi bastante eficiente, diminuindo o teor de cal livre a valores bem abaixo ao prescrito por normas internacionais e conseqüentemente reduzindo também a expansão destrutiva da escória. Os</p>	2	Brasil	Dissertação Mestrado da Universidade Federal de Ouro preto
----	--	--	---	--------	--

		<p>resultados também mostraram que a escória estabilizada</p> <p>Obteve classificação ambiental como resíduo IIB, enquanto que a escória não estabilizada foi classificada como resíduo</p> <p>IIA. Assim, conclui-se que a escória estabilizada possui grande potencial para ser aplicado como lastro ferroviário em vias sinalizadas em termos de comportamento mecânico, ambiental e propriedades elétricas.</p>			
--	--	---	--	--	--

19	<p>CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO COMO AGREGADO PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS</p>	<p>Este trabalho tem objetivo geral de discutir o uso de escórias de alto forno para utilização em camadas de pavimento rodoviários., avaliar procedimentos laboratoriais para controle tecnológico e interpretar os aspectos geoquímico e geotécnico, visando validar o uso de "Escórias de Alto Forno como agregado para utilização em camadas granulares de pavimentos". Para atingir o objetivo geral, adotou-se os seguintes objetivos específicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> divulgar para a comunidade a necessidade de classificar, distinguir comportamentos e desempenhos das Escórias de Alto Forno, produzidos na região central de Minas Gerais; mostrar os resultados obtidos em um universo da ordem de 26 ensaios completos, de várias procedências; discutir outros ensaios poderem ser aplicados para auxiliar na caracterização física e química; <p>1 Cristiano Costa Moreira, Av. dos Açudes, 99 — Belo Horizonte — MG CEP: 30.550-020 — solocap@solocap.com.br No 103</p> <ul style="list-style-type: none"> demonstrar a capacidade destas escórias de comportar-se satisfatoriamente, em aplicações como materiais granulares para camadas de bases e sub-bases, podendo ser aplicadas também, em misturas com solos locais para reforço de subleito, sob a luz das especificações aqui consideradas, frente aos resultados dos ensaios realizados em laboratório desses materiais em obras reais. 	2 6 Brasil	37a UNI AO AN UAL DE IME o 1 10 EN co NTR O A CIO NAL DE CO NSE RVA A O DO VIÁ RIA 37a RAP v/I I ENA co	-
----	--	---	------------------	--	---

20	<p>TÉCNICA DO APROVEITAMENTO DA ESCÓRIA DE ACIARIA</p> <p>BAOSTEEL SLAG SHORT FLOW COMO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO</p>	<p>Atualmente, a escória de aciaria representa cerca de 27% da geração total de coprodutos e da siderurgia no Brasil, o equivalente a 5,6 milhões de toneladas/ano. A principal destinação dessas escórias tem sido para composição de bases e sub-bases pavimentos e nivelamento de terrenos e aterros. Para o atual aproveitamento da escória de aciaria é necessário um período de envelhecimento, reduzindo sua competitividade em comparação aos materiais tradicionais.</p> <p>Um novo tratamento foi implementado visando minimizar o efeito das reações expansivas de seus componentes. Como resultado desse processo tem-se a obtenção da escória de aciaria do tipo Baosteel Slag Short Flow — BSSF, um material granulado, de fase vítrea, livre dos efeitos de expansão e que pode ser utilizado de imediato. No Ocidente, a Companhia Siderúrgica do Pecém — CSP é a única empresa siderúrgica que incluiu esse processo na sua linha de produção do aço até o presente momento. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade técnica de aproveitamento da escória de aciaria BSSF oriunda da CSP como substitutivo parcial do agregado natural miúdo na produção de concretos. Para isso foram produzidos traços de classes de resistências 20 MPa, 30 MPa e 40 MPa, com a substituição do agregado miúdo natural por escória de aciaria BSSF nos teores, em volume, de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. No estado fresco foram avaliadas propriedades como trabalhabilidade, consumo de aditivo e teor de ar incorporado. No estado endurecido avaliou-se resistência à tração e à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água, velocidade de propagação de onda ultrassônica e penetrabilidade de íons cloretos. Constatou-se que à medida que ocorreu o aumento do teor de substituição de agregado natural por escória de aciaria BSSF, o concreto apresentou redução da trabalhabilidade, aumento do consumo de aditivo e de teor de ar incorporado no estado fresco. Para o estado endurecido, observou-se que este adquiriu melhorias ou obteve resultados similares nas propriedades mecânicas, como resistência à compressão e módulo de elasticidade obtendo valores máximos de acréscimo de 63%, 31%, respectivamente, para essas propriedades. Em contrapartida, o formato angular e textura rugosa da escória de aciaria BSSF contribuíram para o aumento da porosidade do concreto, trazendo como consequências, o aumento da absorção e índice de vazios do concreto. De maneira geral, observa-se que a aplicação da escória</p>	2 1 9	Brasil	<p>Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará</p>
----	--	--	-------------	--------	--

		<p>de aciaria BSSF no concreto é vantajosa desde que seja avaliado o nível de controle de qualidade para essas propriedades que obtiveram redução de desempenho.</p>			
--	--	--	--	--	--

21	Accelerated carbonation of steel slags in a landfill cover construction	<p>Steel slags from high-alloyed tool steel production were used in a full scale cover construction of a municipal solid waste (MSW) landfill. In order to study the long-term stability of the steel slags within the final cover, a laboratory experiment was performed. The effect on the ageing process, due to i.e. carbonation, exerted by five different factors resembling both the material characteristics and the environmental conditions is investigated. Leaching behaviour, acid neutralization capacity and mineralogy (evaluated by means of X-ray diffraction, XRD, and thermogravimetry/differential thermal analysis, TG/DTA) are tested after different periods Of ageing under different conditions.</p> <p>Samples aged for 3 and 10 months were evaluated in this paper. Multivariate data analysis was used for data evaluation.</p> <p>The results indicate that among the investigated factors, ageing time and carbon dioxide content of the atmosphere were able to exert the most relevant effect. However, further investigations are required in order to clarify the role of the temperature,</p>	29	Sweden	Waste Management
----	---	--	----	--------	------------------

Aplicação: NORMAS

	DNIT 406	Pavimentação rodoviária- Base estabilizada granulometricamente com AqobritaEspecificação de serviço	Normas	2017	Brasil
2	DNIT 407	Pavimentação rodoviária - Sub-base estabilizada granulometricamente com AG0brita Especificação de serviço	Normas	2017	Brasil
3	DNIT 160	Solos - Determinação da expansibilidade Método de ensaio	Normas	2012	Brasil
4	DNIT OXX	Pavimentação rodoviária - Sub-base estabilizada granulometricamente com Aqobrita Especificação de serviço	Normas	2016	Brasil

III. Referências Bibliográficas

ARRIVABENE, L. Adição de Resíduo da Indústria de Granito em Escória de Aciaria BOF Visando Sua Utilização na Produção de Cimento. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Metalurgia e Materiais da Universidade de São Paulo, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Metalurgia e Materiais. São Paulo, 2012.

SOUZA, E. ESCÓRIAS DE ACIARIA E RESÍDUOS DE CONCRETOS REFRAATÓRIOS EM COMPONENTES DE PAVIMENTAÇÃO. Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 2007,

GEYER, R. Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto. Trabalho realizado no Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais - PPGEM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia. Porto Alegre, 2001.

ROHDE, L. ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA EM CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS - ESTUDO LABORATORIAL. Dissertação apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA. Porto Alegre, 2002.

GUMIERI, A. ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIAS DE ACIARIA DO PROCESSO LD COMO ADIÇÃO EM CIMENTOS. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia. Porto Alegre, 2002.

MOURA, W. UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE COBRE COMO ADIÇÃO E COMO AGREGADO MIÚDO PARA CONCRETO. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia. Porto Alegre, 2000.

GONÇALVES, D. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA VIA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ACIARIA COMO AGREGADO NA FABRICAÇÃO DE PRÉ-FABRICADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL - ECOBLOCOS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Engenharia Estrutural e de Materiais. Ouro Preto, 2015.

OLUWASOLAA, E.A., HAININA, M R.: AZIZA, M A.: Characteristics and Utilization of Steel

Slag in Road Construction. Jurnal Teknologi_ Malaysia, 2014.

FERREIRA, S. Comportamento Mecânico e Ambiental de Materiais Granulares. Aplicação às Escórias de Aciaria Nacionais. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Portugal, 2015.

ROCHA, F. UTILIZAÇÃO DO AGREGADO SIDERÚRGICO (ESCÓRIA DE ACIARIA) EM REVESTIMENTO ASFÁLTICO TIPO TRATAMENTO SUPERFICIAL