

# Ciência e Engenharia de Materiais

3

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

## **3**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e engenharia de materiais 3 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 3)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-85107-65-9  
DOI 10.22533/at.ed.659183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS	
<i>Bárbara Ponciano de Souza</i>	
<i>Wanna Carvalho Fontes</i>	
<i>José Maria Fontes de Carvalho</i>	
<i>Rosana Marcia de Resende Mol</i>	
<i>Ellen Cristine Pinto da Costa</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ANÁLISE MICROESTRUTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE SEIXO PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	
<i>Marco Antonio Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Kleber Roberto Matos da Silva</i>	
<i>Vitória Santos Barroso</i>	
<i>José de Ribamar Mouta Araújo</i>	
<i>Marcelo de Souza Picanço</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DA FRATURA DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS DO PROCESSO DE RECAPAGEM	
<i>Fábio Santos de Sousa</i>	
<i>Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho</i>	
<i>César Tadeu Nasser Medeiros Branco</i>	
<i>Laércio Gouvêa Gomes</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS	
<i>Jonath Oliveira do Nascimento</i>	
<i>Bruno Diego de Moraes</i>	
<i>Marcos Mattheus Lopes da Silva</i>	
<i>Felipe Lira Formíga Andrade</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO UV EM COMPOSTOS DE POLIETILENO COM ADITIVOS OXI-BIODEGRADANTES	
<i>Caroline Henrique de Souza Borba</i>	
<i>Zora Ionara Gama dos Santos</i>	
<i>Raul Franklin Andrade Santos</i>	
<i>Grazielle Rozendo de Cerqueira</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>54</b>
USO DO PÓ DA PALHA DE CARNAÚBA COMO IMPERMEABILIZANTE EM TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	
<i>Ana Raira Gonçalves da Silva</i>	
<i>Marília Pereira de Oliveira</i>	
<i>Marineide Jussara Diniz</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>61</b>
EVALUATION OF THE COLOR CHANGES IN ARTIFICIALLY AGED PINE	
<i>Tiago Hendrigo de Almeida</i>	
<i>Diego Henrique de Almeida</i>	
<i>André Luis Christóforo</i>	
<i>Francisco Antonio Rocco Lahr</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 66**

COLORIMETRIC PARAMETERS OF BRAZILIAN TROPICAL WOOD SPECIES

*Diego Henrique de Almeida*  
*Tiago Hendrigo de Almeida*  
*Francisco Antonio Rocco Lahr*  
*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 9 ..... 70**

ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNA

*JanettyJany Pereira Barros*  
*Danusa de Araújo Moura*  
*Camila Gomes Moreno*  
*Fabiana de Carvalho Fim*  
*Eduardo Braga Costa Santos*  
*Lucineide Balbino da Silva*

**CAPÍTULO 10 ..... 82**

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *PINUS SP.* E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS ADVINDAS DA SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

*Juliana Esteves Fernandes Cieslinski*

**CAPÍTULO 11 ..... 93**

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Marília Claudino Moreira Cunha*  
*André Luiz Fiquene de Brito*  
*Ana Cristina Silva Muniz*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*  
*Carlos Eduardo Pereira*

**CAPÍTULO 12 ..... 104**

TESTE DE ATIVIDADE E EFICÁCIA DE AGENTES BIOCIDAS EM TINTA ACRÍLICA

*Túlio Valério Agostinho da Silva*  
*Sara Horácio de Oliveira*  
*Magda Rosângela Santos Vieira*  
*Ildnay de Souza Lima Brandão*

**CAPÍTULO 13 ..... 112**

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA CALOTROPIS PROCERA E SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS E DERIVADOS

*Anaxmandro Pereira da Silva*  
*Erick Buonora Tabosa do Egíto*  
*Késia Karina de Oliveira Souto Silva*  
*Rasiah Ladchumananandasivam*  
*José Heriberto Oliveira do Nascimento*  
*Ana Rita Leandro dos Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 118**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA MICROSSÍLICA COM ALTO TEOR DE CARBONO: ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA E MECÂNICA

*Ruan Landolfo da Silva Ferreira*  
*Marcos Alyssandro Soares dos Anjos*  
*Andreza Kelly Costa Nóbrega*

**CAPÍTULO 15..... 129**

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

*Andréa de Souza Almeida*

*Tiago Hendrigo de Almeida*

*Francisco Antonio Rocco Lahr*

*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 16..... 139**

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

*Camila Freire Berenguer*

*Yana Batista Brandão*

*Mohand Benachour*

**CAPÍTULO 17 ..... 156**

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES POR ESPECTROSCOPIA FTIR/ATR E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

*Isabela Nogueira*

*Maísa Maciel Machado Santos*

*Thiago Arantes Nogueira*

*Estácio Tavares Wanderley Neto*

*Credson de Salles*

*Tessa Martins de Carvalho Carneiro*

*Álvaro Antônio Alencar de Queiroz*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 171**

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS

### **Bárbara Ponciano de Souza**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

### **Wanna Carvalho Fontes**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

### **José Maria Fontes de Carvalho**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

### **Rosana Marcia de Resende Mol**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

### **Ellen Cristine Pinto da Costa**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

### **Ricardo André Fiorotti Peixoto**

Universidade Federal de Ouro Preto  
Ouro Preto – Minas Gerais

**RESUMO:** O concreto é o material mais utilizado na construção civil, consumindo uma elevada quantidade de matérias-primas naturais em sua produção. Assim, este trabalho tem como proposta analisar aspectos técnicos e ambientais dos concretos com substituição integral dos agregados naturais por agregados artificiais obtidos do pós-processamento de escória de aciaria LD. Foram realizados ensaios de caracterização física como distribuição granulométrica, teor de umidade, massa

específica, massa unitária e caracterização química elementar e mineralógica das amostras de escória de aciaria, utilizando Fluorescência de Raios X. A caracterização morfológica utilizou lupa estereoscópica. A partir desses resultados, foram produzidos concretos com resistências à compressão de 20 e 40 MPa aos 28 dias, pelo método ABCP. Estes foram caracterizados nos estados fresco e endurecido, obtendo-se resultados favoráveis à aplicação de escória de aciaria para produção de concreto de cimento Portland, apresentando propriedades semelhantes aos convencionais, e contribuindo para sustentabilidade das construções.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregado artificial, Escória de aciaria, Concreto, Resíduo siderúrgico, Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** The concrete is the material most widely used in construction, consuming a large amount of natural resources for its production. Therefore, this work analyzes the technical and environmental aspects of concrete with full replacement of natural aggregates for processed LD steelmaking slag. The experimental program comprehends physical characterization - particle size distribution, moisture content, bulk and specific density - and elemental chemical characterization with X-Ray Fluorescence, and mineralogical characterization via X-Ray Diffraction. Morphological characterization was



performed through a stereomicroscope. From these results, concrete with compressive strengths of 20 and 40 Mpa were developed, with ABPC methodology. These were characterized in the fresh and hardened states, obtaining results favorable to the steelmaking slag application in Portland cement concrete. This sustainable concrete features properties similar conventional concrete, and contributing to sustainability of buildings.

**KEYWORDS:** Artificial aggregate, Steel slag, Concrete, Steel waste, Sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica, assim como a da construção civil, é responsável por impactos ambientais consideráveis, associados, principalmente, ao consumo de recursos naturais e à geração de um grande volume de resíduos. O setor consome cerca de 75% de todos os recursos minerais extraídos, assim como 44% da energia produzida no país (LAURIANO, 2016). Aliado a isso, a geração de aproximadamente 17 milhões de toneladas de coprodutos e resíduos por ano, os quais são geralmente armazenados em pátios de rejeitos, envolvendo o consumo de recursos financeiros para sua manutenção e monitoramento e impactando significativamente o meio ambiente (IABr, 2016).

Assim sendo, ao considerar o melhor aproveitamento da matéria-prima e a reciclagem de resíduos sólidos, aplicando-se o conceito de sustentabilidade em vista a possibilidade de unir duas grandes forças da cadeia produtiva do país, surge a proposta de substituir integralmente os agregados naturais por agregados artificiais siderúrgicos, obtidos do pós-processamento de escória de aciaria, dado que o concreto é capaz de incorporar, como material constituinte, resíduos provenientes da indústria siderúrgica.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para produção das matrizes cimentícias (concreto) empregadas neste trabalho é a escória de aciaria tipo LD, coletada no pátio de rejeitos de uma usina siderúrgica localizada na região sudeste do estado de Minas Gerais. As amostras foram submetidas a processos de estabilização dos óxidos de cálcio e magnésio, através de ciclos de molhagem e revolvimento durante período de 12 meses.

Com o objetivo de corrigir a granulometria do material utilizado, construíram-se duas peneiras com dimensões de 1,00 x 2,00m com malha de aberturas de 2,4mm e 1,18mm. A granulometria foi montada de forma a ficar contida nos limites utilizáveis. As porcentagens das frações utilizadas foram:

- Material abaixo de 1,18mm: 74,60%

- Material entre 1,18mm e 2,36mm: 11,35%
- Material acima de 2,36mm: 14,05%

Essas amostras de escória de aciaria foram submetidas a processo convencional de tratamento para a recuperação de metálicos, utilizando um imã com tambor magnético modelo HF-Ø12”x12”, com potência em torno de 1350 Gauss. Foram realizados vários testes e observou-se que o processamento mais eficiente ocorria quando o material era passado no imã 2 vezes. Para produção das matrizes de cimento Portland, foram coletados 600kg de material, devidamente homogeneizados, quarteados e estocados.

Os ensaios de caracterização foram realizados nos agregados artificiais e agregados naturais, a fim de comparação.

## **2.1 Caracterização físico-química dos agregados**

Os agregados artificiais de escória de aciaria e natural utilizados na produção do concreto foram submetidos aos seguintes ensaios de caracterização: análise granulométrica (NBR NM 248, 2003); massa específica dos agregados miúdos (NBR NM 52, 2009); massa específica dos agregados graúdos (NBR NM 53, 2009); massa unitária (NBR NM 45, 2006); material pulverulento (NBR NM 46, 2003); teor de umidade (NBR 9939, 2011); umidade superficial (NBR 9775, 2011) e absorção de água (NBR NM 30, 2001).

Os agregados artificiais também foram caracterizados segundo sua morfologia. Para identificação das características microscópicas desses materiais foram conduzidas análises com auxílio de estereoscópio modelo XTB-3AT, marca Coleman, com aumento de 45X. As imagens foram adquiridas de um sistema digital modelo HDCE-50B, também da marca Coleman, a fim de que fossem identificadas propriedades como forma, rugosidade e distribuição dos grãos.

Para a determinação da constituição química dos agregados artificiais utilizados, foram conduzidas análises químicas por fluorescência de raios X (FRX) – NanoLab – RedeMat/UFOP, equipamento da Shimadzu RayNy EDX720. As amostras utilizadas foram secas em estufa à 105°C por 24 horas, cominuídas em moinho Retsch PM100 de alta eficiência, durante 5 minutos a uma rotação de 300rpm. Após a caracterização físico-química dos agregados foram dimensionados os traços dos concretos, que foram produzidos em laboratório e moldados corpos de prova necessários para a determinação das propriedades físicas e mecânicas.

## **3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.2 Caracterização físico-química dos agregados**

As amostras de escória utilizada como agregados apresentaram teores

significativos de óxidos de ferro magnéticos, conforme resultados apresentados na Figura 1.

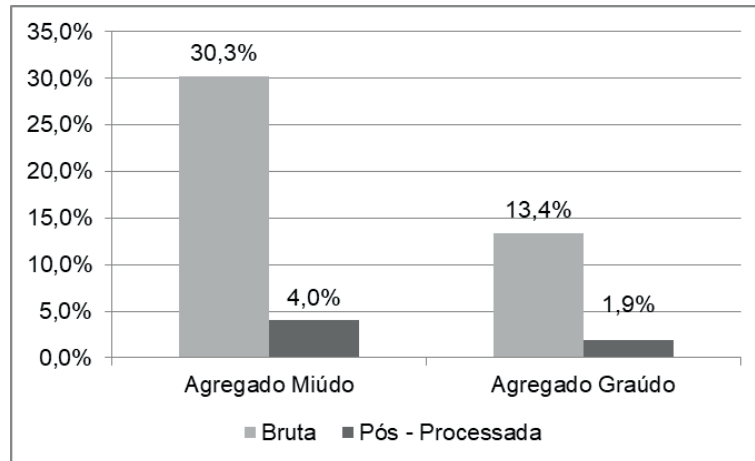


Figura 1: Teor de metálico das escórias

Os materiais utilizados na produção dos concretos de referência (NAT 20, NAT 40) e nos concretos de escória (ELD 20, ELD 40) foram classificados segundo faixas granulométricas para agregados miúdos (NBR NM 248, 2003), conforme ilustrado na Figura 2.

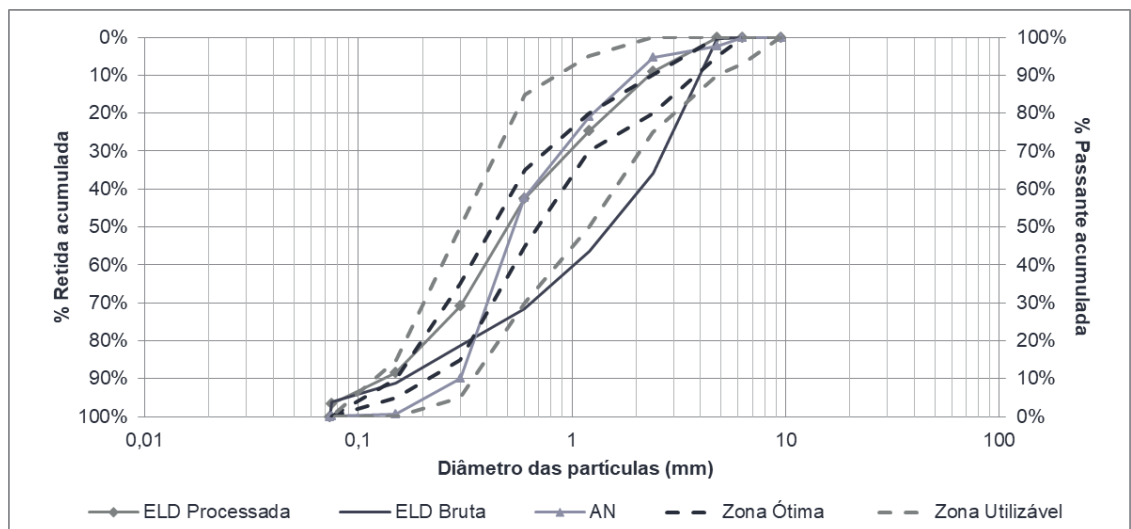


Figura 2: Distribuição granulométrica – Agregado miúdo

Comprova-se a necessidade do processo de segregação das escórias brutas a fim de que sua granulometria seja adaptada a padrões normativos mínimos.

A classificação dos materiais utilizados na produção dos concretos citados acima, segundo faixas granulométricas para agregados graúdos (NBR NM 248, 2003), é ilustrada na Figura 3.

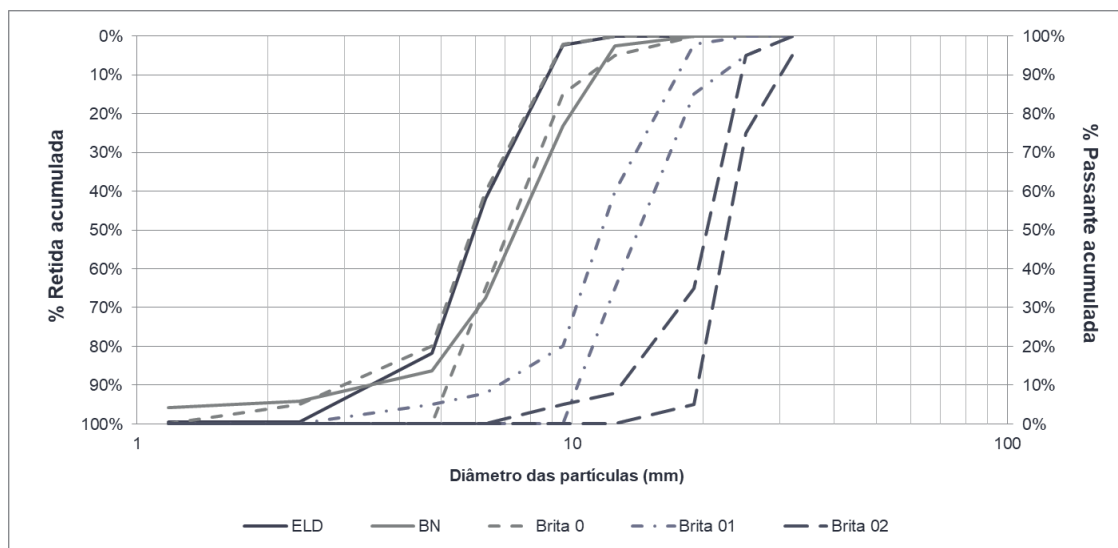


Figura 3: Distribuição granulométrica – Agregado graúdo

Ambos se encontram no limite descrito pela faixa da ABNT (NBR NM 248, 2003), apresentando-se a amostra ELD um pouco mais fina, podendo criar demandas relativas ao incremento do teor de água.

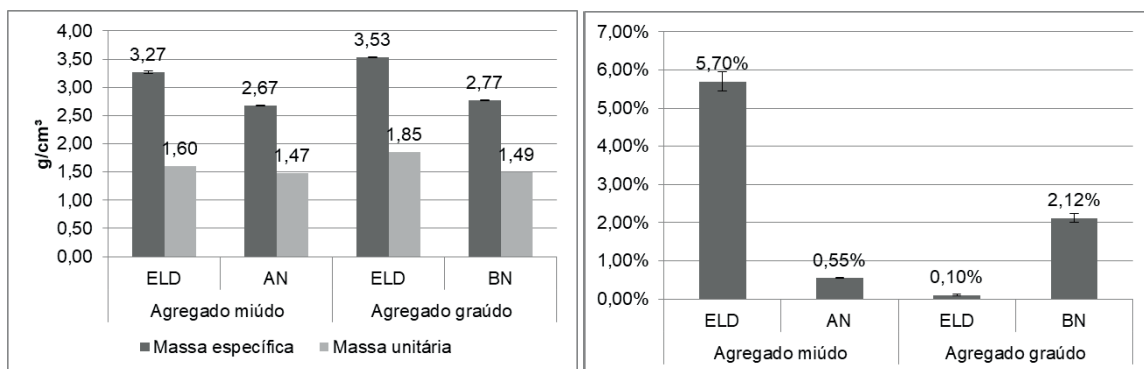
A Tabela 1, a seguir, mostra os resultados de módulo de finura e DMC dos agregados.

	Agregado miúdo			Agregado graúdo	
	ELD Processada	ELD Bruta	AN	ELD	BN
DMC	4,8	4,8	2,4	9,5	12,5
Módulo de Finura	2,36	3,37	2,60	5,82	5,87

Tabela 1: Dimensão máxima característica e módulo de finura

Verificam-se teores de materiais finos idênticos para todos os agregados, embora as areias obtidas do processamento da escória apresentem maior dimensão característica. Para os agregados graúdos, verifica-se maior DMC para os agregados naturais. Observa-se, ainda, que os grãos de escória apresentam maior higroscopicidade que os grãos naturais. Dessa forma, a presença discreta de grãos de menores dimensões favorece o desempenho das matrizes no estado fresco (PEIXOTO e PADULA, 2009).

Os resultados para massa específica e unitária dos agregados apresentam-se na Figura 4. Para todos os tratamentos, as escórias de aciaria apresentam maior densidade que os agregados naturais, em função da presença de óxidos metálicos (SOUZA et al., 2014).



(a) Massa específica e unitária

(b) Material Pulverulento

Figura 4: Massa específica, massa unitária e Material pulverulento

Os resultados, obtidos para presença de materiais pulverulentos dos agregados utilizados, apresentam-se na Figura 4, e indicam valores superiores aos limites admitidos, para a areia ELD e para a brita BN, o que pode influenciar nas propriedades dos concretos. Para adequação desses resultados seria necessária a lavagem desses agregados para retirada de fração pulverulenta.

A umidade superficial e absorção de água dos agregados miúdos, como os teores de umidade dos agregados miúdos e graúdos, encontram-se na Figura 5.

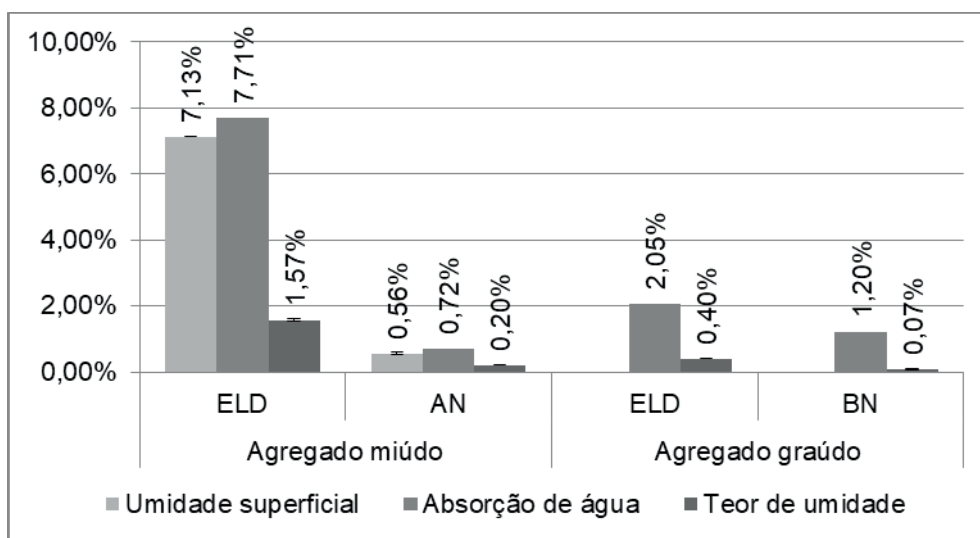


Figura 5: Umidade superficial, absorção de água e umidade

O agregado ELD apresenta maior umidade superficial e maior absorção de água que os agregados miúdos AN. A maior umidade superficial está relacionada a maior presença de finos e conseqüentemente maior área superficial da amostra. Adicionalmente, a maior absorção de água relaciona-se à higroscopicidade dos agregados ELD e, possivelmente, à morfologia dos grãos. O teor de umidade obtido ainda pode servir como parâmetro adicional a esta verificação.

A morfologia dos grãos dos agregados miúdos e graúdos ELD utilizados,

apresentam-se na Figura 6.



(a) Agregado miúdo ELD (45x)



(b) agregado graúdo ELD (15x)

Figura 6: Morfologia dos grãos

Os agregados miúdos e graúdos ELD possuem maior superfície específica e maior opacidade, o que sugere maior rugosidade, como também se apresentam menos angulosos e mais volumétricos se comparados aos naturais. Características como textura, rugosidade e formas arredondadas dos grãos podem contribuir de forma positiva para o desempenho das argamassas que compõem os concretos de cimento Portland.

Os resultados obtidos para análise química por fluorescência de raios X das amostras de escória bruta (ELDb) e da escória pós-processada (ELDp) são mostrados na Tabela 2.

	ELD <sub>b</sub>	ELD <sub>p</sub>
CaO	40,1%	37,5%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,6%	22,3%
SiO <sub>2</sub>	10,7%	26,1%
MnO	3,4%	2,4%
MgO	2,0%	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,9%	6,8%
SO <sub>3</sub>	1,5%	2,7%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2%	1,0%
TiO <sub>2</sub>	-	0,5%

Tabela 2: Composição química da escória

Observa-se que o pós-processamento é capaz de reduzir o teor de Fe<sup>T</sup>, de CaO, MnO e MgO presentes nas amostras, aumentando, por outro lado, a concentração de sílica nos agregados ELD.

### 3.3 Propriedades dos concretos

A composição obtida para dosagem considerou fator a/c como parâmetro de

referência, bem como as características físicas de cada um dos agregados (ELD e NAT). No entanto, para produção de traços idênticos no estado fresco, foram necessários ajustes nos fatores A/C, a fim de produzir concretos com mesmo SLUMP. Dessa forma, os fatores A/C reais foram ajustados, conforme a Tabela 3.

	Cimento	Agregado miúdo	Agregado Graúdo	A/C	A/C real	Slump
ELD 20	1	2,05	2,66	0,55	0,65	7,5*
NAT 20	1	1,87	2,54	0,55	0,59	7,8*
ELD 40	1	1,04	1,68	0,36	0,46	8,0*
NAT 40	1	0,92	1,54	0,36	0,41	7,9*

Tabela 3: Composição dos traços em massa

\*considera-se como intervalo de validade, valores para SLUMP (80±10) mm

Os concretos ELD produzidos, embora apresentassem teores de ar incorporado ligeiramente superiores, alcançaram maiores massas específicas em seu estado fresco. A incorporação de ar pode estar também relacionada à forma dos grãos, assim como a maior massa específica diretamente relacionada à composição química e às características físicas dos agregados ELD.

Os resultados para absorção de água e índice de vazios mostram que, como função direta do aumento do fator A/C para obtenção das mesmas propriedades no estado fresco, os concretos ELD apresentaram maior absorção de água que os concretos AN, para 20MPa e 40MPa. A mesma relação verifica-se para o índice de vazios. Esses dois parâmetros associados, podem indicar uma possível redução das propriedades mecânicas das dosagens em função do incremento do fator A/C (NEVILLE, 2014).

Os resultados para massa específica do concreto no estado endurecido indicam ser o concreto ELD mais denso que o concreto NAT e, embora a massa específica decresça com o aumento do teor de cimento, reduzem também a absorção de água e o índice de vazios. Essa observação está relacionada apenas com a redução da massa de agregados na dosagem.

Todos os concretos, ELD e NAT podem ser classificados como normais em relação à massa específica. Os resultados da caracterização no estado fresco são apresentados na Tabela 4.

	Propriedade	ELD 20	NAT 20	ELD 40	NAT 40
Estado fresco	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	2,8	2,4	2,7	2,2
	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2653	2348	2598	2355
Estado endurecido	<b>Absorção de água (%)</b>	7,53	6,17	5,50	3,74
	<b>Índice de vazios (%)</b>	18,55	13,81	13,75	8,62
	<b>Massa específica seca (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,46	2,24	2,47	2,29
	<b>Massa específica saturada (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,65	2,38	2,62	2,39
	<b>Massa específica real (g/cm<sup>3</sup>)</b>	3,02	2,60	2,91	2,53

Tabela 4: Caracterização física do concreto

Quanto às propriedades mecânicas, visto que os concretos foram produzidos com cimento CPV-ARI, observa-se aos 3 dias que as dosagens ELD 20 e ELD 40 apresentaram melhor desempenho mecânico na resistência à compressão, em torno de 20% superior ao concreto NAT 20. Para idades de 28 dias, não se verificaram diferenças. Embora dosagens ELD 20 e ELD 40 apresentassem maior fator A/C, maior absorção de água, maior índice de vazios, e maiores teores de ar incorporado, registra-se melhor desempenho para essas matrizes. Isso, devido aos grãos dos agregados ELD apresentam-se mais volumétricos que os agregados AN, que por sua vez apresentam grãos predominantemente planos (METHA e MONTEIRO, 2014).

As observações conduzidas para a resistência à compressão dos tratamentos ELD e NAT, apresentam-se para resistência à tração, de forma idêntica, proporcionalmente, e podem ser observadas na Tabela 5.

Propriedade	Idade	ELD 20	NAT 20	ELD 40	NAT 40
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	31,10	25,68	41,55	40,88
	7 dias	34,04	30,38	45,39	44,27
	28 dias	35,43	34,67	49,12	47,45
Tração diametral (MPa)	3 dias	3,20	2,74	3,54	3,44
	7 dias	3,53	3,05	3,92	3,80
	28 dias	3,69	3,26	3,95	3,86

Tabela 5: Propriedades mecânicas do concreto

Os resultados para os módulos de elasticidade estático e dinâmico para os concretos ELD e NAT apresentam-se na Tabela 6. Nota-se proporcionalidade entre as propriedades mecânicas e os valores obtidos para os módulos, e ainda uma boa proporcionalidade entre os valores obtidos para os módulos estático e dinâmico. Os valores obtidos para os módulos de elasticidade refletem os achados registrados para características mecânicas e propriedades no estado endurecido, para os traços propostos, de forma coerente.



	ELD 20	NAT 20	ELD 40	NAT 40
Módulo de elasticidade estático (GPa)	27,87	26,70	31,03	31,06
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	40,45	35,63	42,34	36,84

Tabela 6: Módulos de elasticidade

## 4 | CONCLUSÕES

O processamento da escória de aciaria através da retirada da fração metálica no imã de rolo se mostrou eficiente, como observado nos resultados de teor metálico e da fluorescência de raios X. Através do peneiramento, foi possível produzir agregados de escória granulometricamente parecidos aos agregados naturais, atendendo aos limites normativos.

O agregado de escória é mais denso que os agregados naturais e apresenta maior porosidade que o agregado natural, como indicam os resultados de umidade superficial, absorção de água, teor de umidade e as imagens estereoscópicas. O maior teor de material pulverulento presente na areia de escória, associado à sua maior porosidade contribuiu para o aumento da relação água/cimento necessária para alcançar a trabalhabilidade desejada.

O dimensionamento das dosagens realizadas, com a utilização do software desenvolvido pelo grupo de pesquisa RECICLOS e adotando-se o método do ABCP, atingiu as resistências à compressão mínimas previstas aos 28 dias.

As análises físicas do concreto, mostraram que os concretos de escória apresentam maiores índices de vazios e absorção de água que os convencionais, em função da maior quantidade de água de amassamento necessária para atingir a trabalhabilidade. Assim com os agregados, os concretos de escória são mais densos que os naturais.

Os ensaios mecânicos dos concretos, mostraram que para a classe C20, o concreto de escória alcançou melhores resultados nas primeiras idades que o concreto convencional, porém, aos 28 dias essa diferença se tornou não significativa. Para a classe C40, ambos tipos de concreto (ELD e NAT) apresentaram resultados próximos para todas as idades. Os resultados de resistência à tração por compressão diametral mostraram que, para a classe C20, o concreto de escória possui melhor desempenho que o concreto convencional para todas as idades estudadas, já para a classe C40, os concretos apresentaram resultados próximos em todas as idades. Assim como os resultados de resistência à compressão, não houve diferença significativa para o módulo de elasticidade estático entre os concretos ELD e NAT. Os concretos ELD apresentaram maiores valores para o módulo de elasticidade dinâmico devido à maior densidade deste tipo de concreto.

## 5 | AGRADECIMENTO

Agradecemos o apoio financeiro concedido pela ARCELOMITTAL, agências brasileiras de pesquisa CAPES, CNPq e FAPEMIG, assim como a Fundação Gorceix e ao PROPEC - UFOP. Também agradecemos a infraestrutura e a colaboração do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos - RECICLOS – CNPq e ao NanoLAB/ RedeMat – UFOP

## REFERÊNCIAS

LAURIANO, L. A. **Como anda a gestão da sustentabilidade no setor da construção**. Disponível em <http://acervo.ci.fdc.org.br>, acessado 10/09/2016.

IABr (Instituto Aço Brasil). **Estatísticas**. Disponível em [www.acobrasil.org.br/estatisticas.asp](http://www.acobrasil.org.br/estatisticas.asp), acessado 10/09/2016.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR NM 46: **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 9939: **Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR 9775: **Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

PEIXOTO, R. A. F.; PADULA, F. R. G. **Uso de escória de aciaria em ciclovias de pavimento rígido**. *Téchne*, v. 142, p. 58/1-62, 2009.

SOUZA, B. P.; TOFFOLO, R. M.; CHIBLI, P. A.; CURY, A. A.; PEIXOTO, R. F. **Aplicação de escória de aciaria como agregado em concreto para pavimentação**. In: 56º Congresso Brasileiro de Concreto, 2014, Natal.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Bookman. 2013.472p.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON. 2014. 782p.

## **SOBRE A ORGANIZADORA:**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-65-9

