

# 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**

## PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS

**Jonath Oliveira do Nascimento**

Universidade Potiguar

Mossoró – Rio Grande do Norte

**Bruno Diego de Moraes**

Universidade Potiguar

Mossoró – Rio Grande do Norte

**Marcos Mattheus Lopes da Silva**

Universidade Potiguar

Mossoró – Rio Grande do Norte

**Felipe Lira Formiga Andrade**

Universidade Potiguar

Mossoró – Rio Grande do Norte

**RESUMO:** O elevado volume de resíduos de construção e demolição (RCD) tem contribuído para a geração de impactos ambientais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo, aplicar o Resíduo Cimentício (parte específica do RCD) como agregado no concreto destinado para produção de blocos de alvenaria estrutural, e em seguida apresentar um modelo estatístico, para a previsibilidade da resistência à compressão. Após os testes, verificou-se que o uso combinado de agregado graúdo reciclado com agregado miúdo natural é viável na aplicação em estruturas, podendo resultar em desempenho 25,51% superior ao concreto padrão. Para não prejudicar a textura deve-se evitar a utilização de agregado graúdo acima de 50% da massa para agregados e

umidade acima de 10,5%.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos de construção e demolição, planejamento fatorial, blocos de concreto.

**ABSTRACT:** The large volume of waste generated from construction and demolition (CDW) has greatly contributed to the development of environmental impacts. In this context, this work aims to apply the cement residue (specific part of the CDW) as an aggregate in the concrete destined to the production of masonry blocks, and then present a statistical model to predict the compressive strength. Concurrently, reference concrete was produced with natural aggregates. After tests, it became apparent that the combined use of recycled coarse aggregate with natural fine aggregate may be viable in structures appliances, resulting in some cases, in a 25.51% greater performance compared to standard concrete, although there are restrictions about using this replacement when the texture is taken into account, not being recommended the usage of recycled coarse aggregate over 50% of the aggregate weight and humidity above 10.5%.

**KEYWORDS:** Construction and demolition waste, factorial design, concrete blocks.

## 1 | INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e a busca pela redução dos impactos ambientais tem provocado intensas discussões sobre indústrias sustentáveis, principalmente a da construção civil, que possui uma significativa representação mundial no dispêndio dos recursos naturais em todo o mundo.

Com base nessa problemática, essa pesquisa tem como objetivo substituir o agregado natural por agregado reciclado na produção de concreto destinado a produção de blocos de alvenaria estrutural. Sendo esse material reciclado obtido de resíduos de classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados: tijolos, concreto, etc. - provenientes de construção, demolições e/ou reformas (Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA 307/2002), especificadamente, o resíduo cimentício (resto de concreto e argamassa, parte específica do RCD), como forma de restringir a grande variabilidade de materiais que compõem o rejeito.

Após a substituição do agregado no concreto, propor um modelo estatístico fundamentado no planejamento fatorial, intencionando determinar a interferência das variáveis (consumo de cimento, umidade e consumo de agregado graúdo reciclado) sobre a resistência à compressão (resposta), estudando a viabilidade desse concreto, analisando previamente seu desempenho e até que ponto, o mesmo pode substituir com qualidade e segurança o concreto padrão empregado na produção de blocos de alvenaria estrutural.

## 2 | METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa foi dividida em três eixos centrais: Classificação dos Resíduos; Produção do Concreto e Corpos-de-Prova e Planejamento Fatorial.

### 2.1 Classificação dos Resíduos

Os ensaios realizados na caracterização dos materiais e suas respectivas normas estão descritos na Tabela 1:

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	
ENSAIO	NORMA
Determinação da composição granulométrica dos Agregados	NBR NM 248 (2003)
Determinação de massa específica e absorção de água dos agregados graúdos	NM 53 (2009)
Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem dos agregados	NBR NM 46 (2003)
Determinação de massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo	NM 52 (2002)

Tabela 1 – Caracterização dos Materiais.

Fonte: Autores

## 2.2 Produção do Concreto e Corpos-de-Prova

A dosagem dos concretos empregada no experimento, obedeceu ao método desenvolvido por Frasson Junior (2000)<sup>1</sup>, baseado na utilização do concreto seco com abatimento zero para a produção de blocos de alvenaria estrutural e/ou de vedação. Abaixo estão descritos os materiais e equipamentos utilizados no experimento:

### *Materiais utilizados:*

- Agregado graúdo natural (brita granítica com diâmetro máximo 9.5 mm, conhecida como pedrisco). Utilizado somente no concreto de referência;
- Agregado graúdo reciclado graúdo no intervalo de  $4,75 \text{ mm} \leq d < 9,5 \text{ mm}$ ;
- Agregado miúdo natural (areia de rio);
- Agregado miúdo utilizada no intervalo  $0,6 \text{ mm} \leq d \leq 1,18 \text{ mm}$  (classificada como: areia grossa);
- Cimento Portland (CPV ARI-RS) de alto desempenho inicial.

### *Equipamentos utilizados:*

- Corpos-de-prova de 5 cm x 10 cm (diâmetro x altura), bipartidos, confeccionados com material PVC;
- Um Martelo de borracha;
- Um soquete de compactação de argamassa;
- Um tarugo de náilon.

### *Execução do concreto:*

Primeiramente, foram pesados todos os materiais através da balança (Mark semi-analítica com capacidade de 4200g e resolução 0.01g, modelo L4202), de acordo

com a dosagem dos traços adotados. Em seguida, os materiais foram inseridos, parte à parte, na argamassadeira eletromecânica (Pavitest, com capacidade para 5 litros, modelo I-3010), por um tempo de três minutos após a colocação de todos os materiais, até que a consistência desejada fosse obtida. Devido à alta absorção dos agregados reciclados, eles foram pré-moldados (com 10% do valor total de água do traço), antes do início da mistura, para não prejudicar a resistência do compósito final.

*Produção dos corpos-de-prova:*

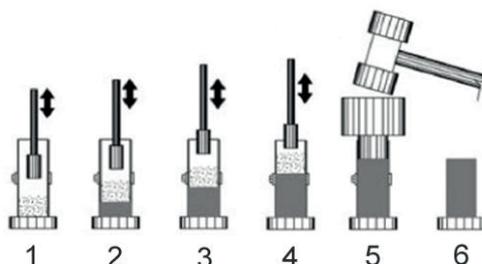


Figura 1 – Sequência esquemática de moldagem dos corpos-de-prova de 5 cm x 10 cm.

Fonte: Frasson Junior, 2000<sup>1</sup>.

Após o preparo, o concreto foi inserido no molde e dividido em 4 porções iguais (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> camada), aplicando 20 golpes em cada camada com a utilização do soquete para compactação da argamassa. A compactação da última camada, foi realizada com um martelo de borracha para obtenção da altura almejada (cerca de 10 cm) no final do processo (Figura 1).

Após a realização de tal procedimento, os corpos-de-prova foram desmoldados logo após a moldagem, devidamente identificados e inseridos cuidadosamente no isopor para realização da cura.

Durante a cura, os corpos-de-prova foram borrifados com água. Após os 14 dias, os corpos-de-prova que durante a moldagem permaneceram com altura superior a 10 cm, foram regularizados na retífica. Logo após, foi realizado o rompimento dos corpos-de-prova para análise da resistência à compressão (Figura 2), seguindo as determinações e procedimentos da ABNT NBR 5739 (2007)<sup>2</sup>.

Paralelamente aos ensaios, foram produzidos 6 corpos-de-prova de referência com agregados graúdos e miúdos natural, para que fosse possível realizar as comparações entre os resultados obtidos com o agregado reciclado.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados após 14 dias de cura, através da Prensa Hidráulica (EMIC, modelo PC200C, com capacidade para 200 KN). Adotou-se os 14 dias de cura, em decorrência do tempo para comercialização dos blocos produzidos em fábricas de pré-moldados, geralmente após um tempo mínimo de cura de 7 a 14 dias, devido a questão de estoque e produção, sendo necessário que com poucos dias de cura, os blocos já atendam a resistência para a qual foram desenvolvidos.



Figura 2 – Moldagem, regularização e rompimento dos corpos-de-prova.

Fonte: Autores

## 2.3 Planejamento Fatorial

Para o estudo do efeito das 3 variáveis independentes, foi aplicado um planejamento fatorial completo  $2^3$  que exige 2 níveis para cada fator e no mínimo 8 ensaios, porém para cada condição foi gerado uma réplica e também foram adicionadas 4 repetições no ponto central totalizando 20 ensaios.

*Seleção das variáveis independentes:*

### I. Consumo de cimento

O consumo de cimento foi determinado com base nos seguintes traços de referência: 1:6 e 1:8 (cimento:agregado), almejando alcançar ao final do processo, resistência à compressão entre 10-18 MPa (FRASSON JUNIOR<sup>1</sup>, 2000, p. 115). Esses traços foram selecionados com intuito de se obter resistências dentro da faixa de função estrutural recomendada pela ABNT NBR 6136 (2014)<sup>3</sup>.

### II. Umidade

De acordo com Frasson Junior (2000)<sup>1</sup>, os concretos secos utilizados na fabricação de blocos de concreto possuem umidades em suas misturas em torno de 5,5% a 8% com relação a massa total, incluindo o cimento. Entretanto, os ensaios realizados no laboratório só foram possíveis com umidade em torno de 10%, resultando no mesmo valor previsto pela pesquisa de Araújo, Carasek e Cascudo (2010)<sup>4</sup>.

### III. Consumo de Agregado Graúdo

O agregado graúdo natural foi substituído totalmente pelo agregado graúdo reciclado. Tenório (2007)<sup>5</sup> verificou que a tendência da resistência à compressão foi de crescer com o aumento da massa específica do agregado graúdo reciclado. Optou-se por manter o nível de agregado graúdo variando entre 40% a 60% do valor da massa total destinada aos agregados no traço. Quanto aos agregados miúdos, Araújo, Carasek e Cascudo (2010)<sup>4</sup>, observaram que o nível ótimo de substituição do agregado miúdo reciclado fica em torno de 25%, pois esse valor resultou em um acréscimo de resistência de aproximadamente 16% em relação ao traço de referência. Decidiu-se

então, manter o nível de agregado miúdo reciclado constante (correspondendo a 25% da massa destinada ao agregado miúdo), para assim proporcionar a maior substituição de agregado reciclado possível e para os 75% restantes, foi utilizada areia natural. Os níveis de consumo de agregado podem ser verificados na Tabela 2:

Variáveis	Código	-1	0	+1
<i>Consumo de cimento (%)</i>	$X_1$	11,11%	12,70%	14,29%
<i>Umidade (%)</i>	$X_2$	10%	10,5%	11%
<i>Consumo de agregado graúdo (%)</i>	$X_3$	40%	50%	60%

Tabela 2 – Valores utilizados em cada nível do planejamento fatorial.

Fonte: Autores

#### *Seleção da variável dependente:*

A resposta do planejamento fatorial aplicado na respectiva pesquisa foi a resistência à compressão, sendo essa o principal parâmetro segundo a ABNT NBR 6136 (2014)<sup>3</sup>, para se determinar a função do bloco como sendo de vedação ou estrutural. Ressaltando ainda que os blocos se subdivide nas classes A (resistência acima de 8 MPa), B (resistência entre 4 e 8 MPa) e C (resistência maior que 3 MPa).

## 3 | RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em duas etapas: Classificação dos Resíduos e a Análise do Planejamento Fatorial.

### 3.1 Classificação dos Resíduos

#### *Absorção de Água:*

A absorção de água é uma propriedade estreitamente ligada à porosidade do agregado. Isto é, a absorção de água apresenta variabilidade conforme a variação da porosidade do agregado.

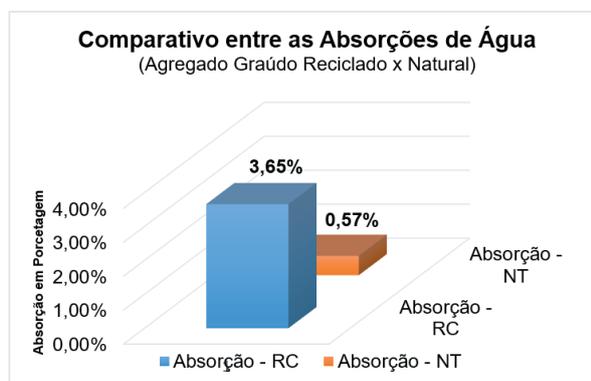


Figura 3 – Absorção de água do agregado graúdo reciclado e natural.

Fonte: Autores

O agregado de concreto reciclado apresentou um índice maior de absorção de água, haja vista a presença de argamassa aderida na superfície do agregado (Figura 3).

#### *Massa Específica:*

A massa específica é outra propriedade correlacionada à porosidade, mantendo entre elas uma relação inversamente proporcional. Angulo (2000)<sup>6</sup> em seu estudo, verificou uma tendência dos agregados com maior massa específica apresentarem menor absorção.

Enquanto o agregado graúdo de RC apresentou uma massa específica consideravelmente menor que do agregado natural, os agregados miúdos permaneceram numa mesma faixa (Figura 4).

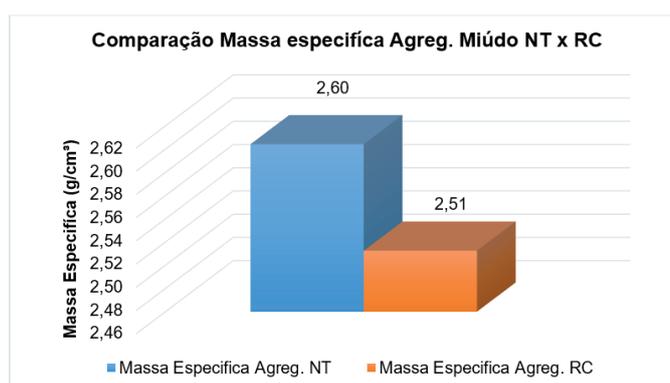


Figura 4 – Massa específica dos agregados miúdos naturais e reciclados.

Fonte: Autores

#### *Granulometria e Teor de Finos:*

O agregado de resíduos cimentícios no experimento realizado apresentou um teor de finos maior que no agregado natural (Figura 5 a), considerando a quantidade de materiais pulverulentos presentes em seu exterior. Apesar da variabilidade, os agregados atenderam os limites determinados pela ABNT NBR 15116 (2004)<sup>7</sup>.

Quanto a granulometria, os agregados de concreto reciclado não apresentam variações expressivas e sua curva granulométrica (Figura 5 b) pode ser semelhante à dos agregados naturais, quando isentos de partículas finas.

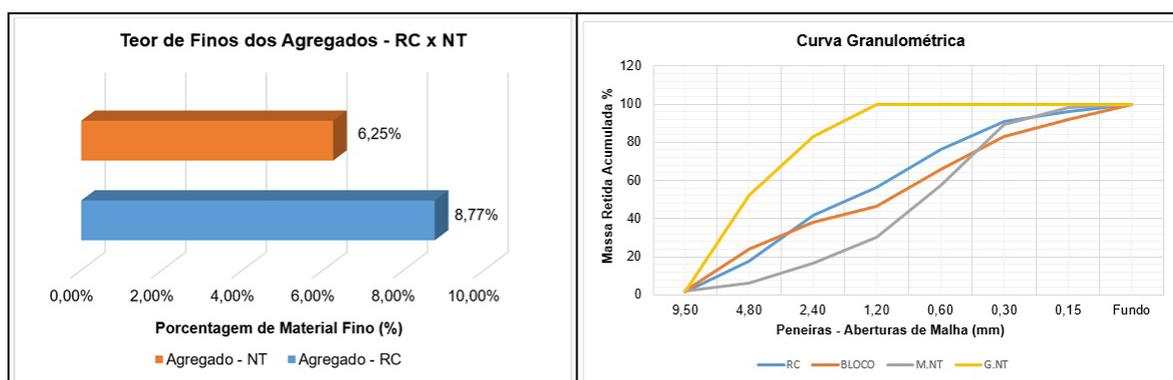


Figura 5 (a)

Figura 5 (b)

Figura 5 (a) – Teor de finos dos agregados naturais e reciclados.

Figura 5 (b) – Curva granulométrica dos agregados graúdos e miúdos reciclados e naturais.

Fonte: Autores

Os agregados miúdos mostraram uma predisposição a se encaixar na zona utilizável da ABNT NBR 7211 (2005)<sup>8</sup>.

### 3.2 Análise do Planejamento Fatorial

A Tabela 3 discrimina a combinação entre as variáveis em cada uma das corridas, além da resistência média obtida em cada uma delas.

Corridas	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais			Resultado Y (MPa)
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Cons. de Cimento (%) – X <sub>1</sub>	Umidade (%) – X <sub>2</sub>	Cons. Agr. Graúdo (%) – X <sub>3</sub>	
1	-1	-1	-1	11,11%	10%	40%	4,00
2	+1	-1	-1	14,29%	10%	40%	10,60
3	-1	+1	-1	11,11%	11%	40%	7,00
4	+1	+1	-1	14,29%	11%	40%	9,50
5	-1	-1	+1	11,11%	10%	60%	10,30
6	+1	-1	+1	14,29%	10%	60%	16,15
7	-1	+1	+1	11,11%	11%	60%	8,75
8	+1	+1	+1	14,29%	11%	60%	16,85
9	0	0	0	12,70%	10,5%	50%	11,9
10	0	0	0	12,70%	10,5%	50%	13,2
11	0	0	0	12,70%	10,5%	50%	9,8
12	0	0	0	12,70%	10,5%	50%	9,7

Tabela 3 – Delineamento experimental.

Fonte: Autores

Durante o ensaio foram produzidos 6 corpos-de-prova de referência feitos com agregados graúdos e miúdos natural, nas condições inferior, central e superior (Tabela 4).

Corridas	Variáveis Codificadas			Resultado (MPa)		
	Cons. de Cimento (%)	Umidade (%)	Cons. Agr. Graúdo (%)	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
1	11,11%	10%	40%	8,9	7,6	8,25
2	12,70%	10,5%	50%	12,5	12,6	12,55
3	14,29%	11%	60%	10,3	13,2	11,75

Tabela 4 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência.

Fonte: Autores

Os corpos-de-prova de referência foram moldados com o objetivo de comparar a influência dos agregados sobre a resistência final do concreto e por isso, não foram adicionados ao planejamento. Em alguns casos, a resistência entre os concretos produzidos com agregado reciclado e agregado natural foram bem próximas, sendo que em algumas condições a resistência do concreto produzido com agregado reciclado foi superior ao concreto padrão de referência.

*Ajuste do modelo:*

Através dos resultados obtidos foram calculados os coeficientes de regressão (Tabela 5). Observa-se que apenas o consumo de cimento (X1), e o consumo de agregado (X3), foram estatisticamente significativos ao nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t (5)	p-valor	Estimativas por Intervalo (95%)	
					Limite Inferior	Limite Superior
Média	10,65	0,50	21,11	0,000004	9,35	11,94
X1	<b>2,88</b>	<b>0,62</b>	<b>4,67</b>	<b>0,005505</b>	<b>1,29</b>	<b>4,47</b>
X2	0,13	0,62	0,21	0,840087	-1,46	1,72
X3	<b>2,62</b>	<b>0,62</b>	<b>4,24</b>	<b>0,008166</b>	<b>1,03</b>	<b>4,21</b>
X1.X2	-0,23	0,62	-0,37	0,723422	-1,82	1,36
X1.X3	0,61	0,62	0,98	0,371341	-0,98	2,19
X2.X3	-0,34	0,62	-0,56	0,601778	-1,93	1,24

Tabela 5 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova de referência.

Fonte: Autores

Nota: Os dados foram obtidos no software Estatística por meio do experimento fatorial.

O modelo ajustado codificado fica caracterizado pela Equação (A):

$$Y(14) = 10,65 + 2,88.X1 + 0,13.X2 + 2,62.X3 - 0,23.X1.X2 + 0,61.X1.X3 - 0,34.X2.X3 \quad (A)$$

Análise de variância:

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	F <sub>calc</sub>	p-valor
Regressão	125,72	6	20,95	6,87	0,0258
Resíduo	15,26	5	3,05	-	-
Total	140,98	11	-	-	-

Tabela 6 – ANOVA para a resposta Y.

% variação explicada ( $R^2$ ) = 90%  $F_{tab}_{6;5;0,05} = 4,95$

Fonte: Autores

Nota: Os dados foram obtidos no software Estatística por meio do experimento fatorial.

O  $F_{calc}$  (Tabela 6) para a regressão (6,87) apesar de não muito alto, ainda é maior que o valor tabelado, ou seja, ele é significativo ( $p: 0,0258 < 0,05$ ) e a porcentagem de variação explicada pelo modelo foi expressiva, conseguindo justificar 90% das respostas obtidas, desta forma, podemos concluir que o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

Comprovada a existência de efeitos significativos estatisticamente, construiu-se então, as superfícies de resposta e a curva de contorno para a resposta Y (14) (MPa) (Figura 6), resistência à compressão após 14 dias de cura.

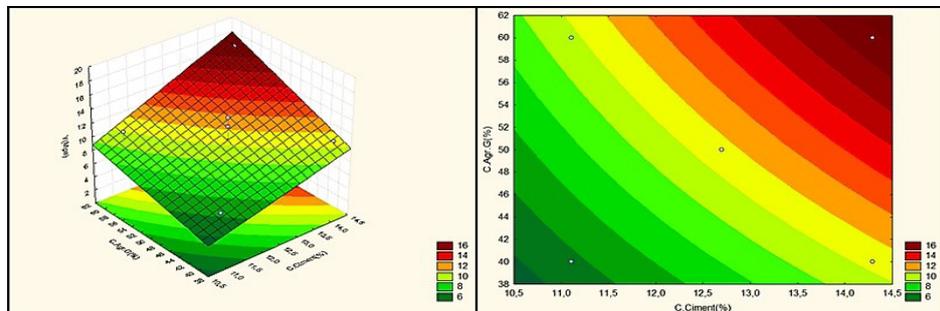


Figura 6 – Superfície de resposta.

Fonte: Autores (obtida no software Estatística)

As curvaturas das linhas do gráfico de curvas de contorno, demonstram que existe uma interação diretamente proporcional entre o consumo de agregado graúdo e o consumo de cimento, onde já é possível obter ótimos valores de resistência (cerca de 8 MPa), que é um desempenho comercialmente bem aceito, a partir de um consumo de cimento em torno de 11,5% e um consumo de agregado graúdo em torno de 45%.

Segundo Frasson Junior (2000)<sup>1</sup>, no ensaio de um corpo-de-prova cilíndrico 5 cm x 10 cm, é possível obter por volta de 80% da resistência que o mesmo traço poderia atingir na área líquida de um bloco. Vale destacar que esse resultado se mostrou praticamente constante para todas as séries e para blocos de diferentes geometrias.

## 4 | CONCLUSÃO

O agregado artificial se encaixou dentro do que estava previsto na literatura, ou seja, eles apresentam maiores níveis de absorção de água, maior teor de finos e menor massa específica, sendo necessário então a pré-molhagem. Como consequência, na utilização de agregado reciclado foi possível verificar resistência próximas aos corpos-de-prova produzidos com agregado natural e em outros casos especiais, foi possível obter resistência até maiores.

Entretanto, algumas restrições devem ser esclarecidas, pois, através da análise visual dos corpos-de-prova, foi constatado que os níveis de umidade acima de 10,5% causam problema de desforma, tornando os concretos bastante frágeis.

Da mesma forma, o consumo de agregado graúdo acima de 50%, por mais que resultem em resistências maiores, também causa texturas a baixo da exigência do mercado, com o aspecto bastante “rugoso”, com agregado graúdo aparente, mesmo com a compactação adequada, favorecendo assim a absorção de água, por isso, valores acima de 50% na substituição do agregado, devem ser evitados.

## REFERÊNCIAS

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) □ Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, A. M.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Dosagem de concreto para blocos contendo resíduo da indústria de artefatos de cimento**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Canela, RS, 2010. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/712.pdf>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concretos sem função estrutural - Requisitos**. NBR 15116, 2004. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação**. NBR 7211, 2005. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos**. NBR 6136, 2014. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. NBR 5739, 2007. Rio de Janeiro.

FRASSON JUNIOR, A. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2000, 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TENÓRIO, J.J.L. **Avaliação de Propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007, 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

## **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

