

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

**Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)**



# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>Engenharia de materiais e metalúrgica [recurso eletrônico] : tudo à sua volta / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.            Modo de acesso: World Wide Web.            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-108-4            DOI 10.22533/at.ed.084201506</p> <p>1. Engenharia – Tecnologia. 2. Metalurgia. I. Holzmann, Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. III. Dallamuta, João.            CDD 620.002854</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Nos dias atuais, com uma escassez cada vez maior de matéria prima e energia, buscar novas formas de produção ecologicamente corretas é um diferencial ao setor industrial. Neste contexto as pesquisas nesta área veem crescendo e se tornando uma das grandes vertentes da engenharia de materiais, buscando-se a melhoria de materiais, aliando-se novos componentes e reutilizando materiais de descarte.

Neste e-book são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados ao desenvolvimento de materiais, bem como a reutilização de subprodutos da construção civil, vislumbrando a uma melhoria tanto de novos materiais, como a um descarte inteligente e eficiente de resíduos. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
UM ESTUDO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DAS TURBINAS GERADORAS DE ENERGIA EÓLICA, NOS PARQUES EM PERNAMBUCO	
Kaio Moab de Oliveira Silva Joaci Galindo Veronica Alves Teixeira Vitor Bismark Ferreira de Macedo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE LAMINAÇÃO TESTADA ATRAVÉS DE ENSAIO DE DUREZA E ENSAIO METALOGRÁFICO	
Gabrielle Schultz Braz Gabriel Inácio Pontin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
ANÁLISE DAS JUNTAS SOLDADAS NA UNIÃO DA ESTRUTURA DO VEÍCULO BAJA SAE	
Henrique Ajuz Holzmann Victor Henrique Javara	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL E ANALÍTICA DA INFLUÊNCIA DA RAZÃO W/D EM COMPÓSITO POLIMÉRICO DE POLIÉSTER REFORÇADO POR FIBRAS DE VIDRO/JUTA	
Raphael Siqueira Fontes Sérgio Renan Lopes Tinô Ana Cláudia de Melo Caldas Batista Eve Maria Freire de Aquino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
EFEITOS DE PÓS CERÂMICOS ATIVOS NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS À BASE DE PVDF	
Eriton Rodrigo Botero Jaldair de Araújo e Nóbrega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>62</b>
SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA OBTIDAS VIA ROTAS QUÍMICA E ELETROQUÍMICA E SUA OTIMIZAÇÃO	
Arthur da Rocha Albertini Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva Rodrigo Labat Marcos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0842015066</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
TRANSFORMAÇÃO DE REJEITOS DE LAVAGEM DE BAUXITA DA AMAZÔNIA EM MATERIAL TIPO HIDROGROSSULAR (KATOITA) DE $\text{Ca}_3\text{Fe/Al}_2(\text{OH}_4)_3$	
Renata de Sousa Nascimento Bruno Apolo Miranda Figueira	

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE FIBRAS DO COCO BABAÇU**

Márcio do Nascimento Silva

Deuzuíta dos Santos Freitas Viana

Lívia Racquel de Macêdo Reis

Wendel Melo Prudêncio de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.0842015068

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) COM INSERÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO (NTC) E CINZAS DE CASCA DE ARROZ (CCA)**

Christa Korzenowski

Rosangel Rojas Agüero

Ronaldo Beraldin da Silva

Priscila Marques Correa

Luiz Carlos Pinto Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.0842015069

**SOBRE OS ORGANIZADORES..... 113**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 114**

## COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DE CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR) COM INSERÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO (NTC) E CINZAS DE CASCA DE ARROZ (CCA)

Data de aceite: 05/06/2020

**Christa Korzenowski**

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul-  
UERGS  
ckorzenowski@gmail.com

**Rosangel Rojas Agüero**

rosangelrojasa@hotmail.com

**Ronaldo Beraldin da Silva**

[ronaldoberaldin@hotmail.com](mailto:ronaldoberaldin@hotmail.com);

**Priscila Marques Correa**

priengenheira@gmail.com

**Luiz Carlos Pinto Silva Filho**

lcarlos66@gmail.com

**RESUMO:** O uso de adições minerais no concreto vem se difundindo cada vez mais por meio de estudos que visam diversas características, como: aumento da durabilidade, aumento da resistência mecânica e reaproveitamento de resíduos. Esta pesquisa comparou a resistência à compressão axial obtida de concretos contendo adições minerais (escória de alto forno e sílica fume) e cinza de casca de arroz com concretos contendo adições minerais e nanotubos de carbono. Além disso as misturas eram compostas cimento Portland CPV ARI, areia fina (areia de sílica), aditivo

superplastificante e água. Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais utilizados e as comparações entre os traços foram feitas a partir do ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Através dos resultados encontrados constatou-se que aos 28 dias todas as misturas com CCA apresentam valores de resistência à compressão de 2,5 a 68,5% maiores que com NTC. Mesmo aos 90 dias, três das misturas apresentaram melhores resultados com CCA; em termos econômicos, a mistura contendo cinza de casca de arroz é mais viável. Pelos resultados de compressão obtidos observou-se que a melhor mistura foi a que continha 55% de cimento e 20% de CCA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanotubos de carbono, Cinzas de casca de arroz, Cimento Portland, Resistência à compressão axial.

COMPARISON OF AXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETE (HSC) WITH INSERTION OF CARBON NANOTUBES (NTC) AND RICE HUSK ASH (CCA).

**ABSTRACT:** The use of mineral additions in concrete has become increasingly widespread by means of studies that aim the most diverse

characteristics, such as: increasing the durability, increasing the mechanical resistance and utilization of industrial waste. This research aims to compare axial resistance strength of concretes containing minerals additions (ground granulated blast-furnace slag) and rice husk ash with those containing minerals additions and carbon nanotubes. Mixtures were composed of Portland cement CPV ARI, fine sand, ground granulated blast-furnace slag, silica fume, superplasticizer, water and rice husk ash or carbon nanotubes. Assays were performed to characterize the materials used and comparisons were made between the traces from the axial compression test of cylindrical specimens. Results show that at 28 days all the mixtures with CCA have values of compressive strength of 2.5 to 68.5% higher than with NTC. Even at 90 days, three of the mixtures presented better results with CCA; in economic terms, the mixture containing rice husk ash is more feasible. From the obtained compression results it was observed that the best blend was that containing 55% cement and 20% CCA.

**KEYWORDS:** Carbon Nanotubes, Portland cement, axial compressive strenght.

## 1 | INTRODUÇÃO

O concreto é um material utilizado em larga escala no mundo inteiro. Em sua fase final de aplicação, após algumas horas, apresenta-se de forma sólida, passando a ideia de ser um produto altamente resistente, denso, indestrutível, durável, fácil de ser produzido. Possui muitas de possibilidades de utilização, visando a melhoria e o bem estar da sociedade, facilitando os deslocamentos, melhoria do habitat, aplicações na indústria e várias outras. Em sua forma final apresenta-se em estruturas, revestido ou aparente. Dependendo das condições climáticas e ambientais, o concreto estará sujeito aos efeitos de um conjunto de agentes agressivos e diferentes fatores destrutivos que podem ocorrer de forma isolada, tais como: mecânicos (impactos), físicos (lixiviação), químicos e biológicos. Devido às ações ambientais atuantes no concreto, que vai interagir com a microestrutura e as propriedades do concreto, podem ocasionar mudanças com o tempo. [1].

Cada vez mais há a necessidade de se ter concretos mais duráveis e resistentes, pois os custos de manutenção e reparação são extremamente altos. Nesse sentido, o uso de adições minerais como sílica fume, pó de quartzo, escória de alto forno e cinza de casca de arroz no concreto vem se difundindo cada vez mais por meio de estudos que visam as mais diversas características, como: aumento da durabilidade, aumento da resistência mecânica e aproveitamento de resíduos industriais. Assim, estudos sobre concreto com adições minerais também, estão ganhando espaço principalmente pelo aumento de resistência que proporcionam [2,3,4,5,6]. Em 1993, o American Concrete Institute – ACI [7] definiu o concreto de alta resistência como sendo aquele que atinge resistência à compressão maior ou

igual a 41 MPa. Porém, essa definição pode variar em cada região, visto que em alguns locais já se comercializa concretos com resistência em torno de 60 MPa. Assim, para se chamar um concreto de concreto de alta resistência (CAR), sua resistência à compressão deve ficar entre 83 e 103 MPa [8]. Sua composição inclui cimento, aditivos minerais (por exemplo: cinza volante, sílica fume, escória de alto forno, pó de quartzo), areia de sílica, superplastificante e água, para formar uma densa matriz sem agregado gráudo com baixa porosidade e alta resistência. Esta resistência é alcançada principalmente pela alta quantidade de cimento na mistura, tornando-o um material de alto custo e impactante ao meio ambiente. O CAR tem um custo por m<sup>3</sup> de quatro a cinco vezes maior que o concreto tradicional, usando como aglomerante apenas o cimento [9], mas esse custo pode ser reduzido se forem utilizados resíduos como a cinza de casca de arroz (CCA), sílica fume e escória de alto forno (GGBS). A obtenção de produtos cimentícios contendo cinza da casca de arroz também é uma alternativa para solucionar o problema da disposição das cinzas no meio ambiente, além de gerar um material de maior valor agregado. O emprego da cinza da casca de arroz tende a promover melhorias nas propriedades mecânicas e na durabilidade de concretos, além de reduzir a temperatura de hidratação [3].

Estudos têm mostrado seu potencial para a utilização na construção civil, principalmente como material pozolânico. A eficácia da CCA como material pozolânico está ligada ao processo pelo qual passa a casca de arroz para a obtenção da cinza. O material oriundo da combustão não controlada geralmente não atinge grande valor pozolânico, pois sua composição apresenta minerais de sílica não reativos (cristalinos), que só passam a ter maior atividade pozolânica quando micronizados. Com o processo controlado de queima, entre 500 a 700°C, o produto gerado é uma cinza amorfa de alta pozolanicidade. O teor de carbono afeta a coloração da CCA e, esta podendo variar entre as tonalidades mais escuras até as mais claras, que vão de preto/cinza a branco-roseado. Quanto mais escura, maior o teor de carbono, ou seja, maior a quantidade de matéria orgânica não queimada [10,11]

Da mesma forma que a CCA, os nanotubos de carbono (NTC) apresentam extraordinárias propriedades físicas e mecânicas e têm sido alvo de estudos em concretos. Mais especificamente, no que diz respeito aos materiais para a construção civil, os NTC têm sido recentemente estudados como reforço em materiais à base de cimento para melhorar condições mecânicas, aumentar a durabilidade e contribuir para desenvolver estruturas multifuncionais [12,13,14,15,16]. Como o LEME (Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais) da UFRGS detêm uma patente de fabricação de NTC a partir de resíduos (Patente sob o número BR 10 2012 022053-9 A2), resolveu-se utilizá-los em misturas de concreto e comparar seu desempenho com misturas de concreto nos quais se utilizou cinzas de casca de arroz.

Neste sentido, esta pesquisa desenvolveu concretos de alta resistência com adição de 1% de NTC e 10% de CCA.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Variáveis

Para obtenção de HSC sabe-se pela literatura que deve-se diminuir a relação água cimento ( $a/c$ ) e a relação água agregado ( $a/b$ ) deve estar entre 0,15 e 0,20 por isso manteve-se esses cuidados na obtenção das proporções das misturas. Do ponto de vista sustentável observou-se como as proporções dos resíduos industriais utilizados na mistura afetaram a evolução da resistência à compressão dos corpos de prova com o tempo, cuja cura foi a temperatura ambiente.

### 2.2 Materiais

Os materiais aglomerantes utilizados para a realização desta pesquisa foram constituídos por:

- Cimento Nacional tipo Portland CPV ARI com alta resistência inicial;
- Escória de alto forno (GGBS), da qual se obteve o lote de material para os ensaios segundo a norma NBR NM 26;
- Sílica Fume ND SILMIX ;
- Nanotubos de Carbono (LEME-UFRGS);
- Cinza de casca de arroz SILCCA NOBRE SCI ;

A cinza de casca de arroz empregada é proveniente da região oeste do Estado do Rio Grande do Sul e processada no Município de Alegrete.

O material agregado utilizado foi areia de sílica com tamanho máximo de grão de  $0,30 \mu\text{m}$ . Como aditivo superplastificante foi utilizado o CQ FLOW 3780, a base de policarboxulato.

### 2.3 Proporção de Materiais

Os experimentos foram realizados com 12 diferentes traços, 6 traços com NTC e 6 traços com CCA, para uma comparação do efeito da adição de NTC e da CCA. Em 6 traços foi fixado a adição de NTC em 1% em peso em relação a massa de cimento e em outros 6 traços foi fixado a adição entre 10 e 20% de CCA. As dosagens estabelecidas podem ser observadas na Tabela 1 e Tabela 2.

MATERIAIS	CAR 1		CAR 2		CAR 3		CAR 4		CAR 5		CAR 6	
	Kg/m <sup>3</sup>	%										
Cimento	597	50	657	55	776,1	65	597	50	657	55	776,1	65
GGBS 600 $\mu$	537,3	45	418	35	179,1	15	----	---	----	---	----	---
GGBS 1180 $\mu$	----	---	----	---	----	---	537,3	45	418	35	179,1	15
NTC	5,97	1	6,57	1	7,76	1	5,97	1	6,57	1	5,97	1
Sílica Fume (SF)	59,7	05	119	10	238,8	20	59,7	05	119	10	238,8	20
Areia	1051	--	1051	--	1051	--	1051	--	1051	--	1051	--
SP	40	--	40	--	40	--	40	--	40	--	40	--
Água	185	--	185	--	185	--	185	--	185	--	185	--

Tabela 1: Misturas para produção de HSC com Nanotubos de Carbono

MATERIAIS	CAR 7		CAR 8		CAR 9		CAR 10		CAR 11		CAR 12	
	Kg/m <sup>3</sup>	%										
Cimento	597	50	657	55	776	65	597	50	597	50	896	75
GGBS 600 $\mu$	299	25	179	15	60	5	----	---	----	---	----	---
GGBS 1180 $\mu$	-----	---	-----	---	-----	---	299	25	299	25	-----	---
CCA	239	20	239	20	119	10	179	15	119	10	119	10
Sílica Fume (SF)	60	5	119	10	239	20	119	10	179	15	179	15
Areia	1051	---	1051	---	1051	---	1051	---	1051	---	1051	---
SP	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---	40	---
Água	185	---	185	---	185	---	185	---	185	---	185	---

Tabela 2: Misturas para produção de HSC com Cinza de casca de arroz

## 2.4 Moldagem dos Corpos de Prova

As misturas foram moldadas em corpos de prova (cps) de 5x10 cm, de acordo com a NBR 5739 [13]; adotou-se a cura dos corpos de prova apenas em câmara úmida.

## 2.5 Ensaios

Foram realizados os seguintes ensaios para caracterizar os materiais utilizados:

- Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) ( NTC)
- Espectroscopia Raman (NTC)
- Difração de Raios-X (NTC e CCA)
- Granulometria Laser (CCA, GGBS, Cimento)

Para os corpos de prova com NTC, os testes de resistência à compressão

axial foram realizados aos 14, 28,56 e 90 dias.

Para os corpos de prova com CCA os testes de resistência à compressão axial foram realizados aos 7, 14 e 28 dias.

## 2.6 Dados técnicos

Os dados técnicos do cimento e do superplastificante foram fornecidos pelos seus respectivos fabricantes e encontram-se detalhados abaixo. A Figura 1 mostra as propriedades do cimento Portlandb CPV-ARI utilizado nos ensaios.

Químicos										
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P. Fogo	CaO L.	R. Ins.	Eq. Alc.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Média	4,13	18,30	2,51	59,69	5,36	2,85	3,17	1,04	0,72	0,62
Sd	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07	0,05	0,16	0,26	0,09	0,02
Min	4,09	18,25	2,46	59,64	5,24	2,77	2,93	0,81	0,58	0,60
Max	4,15	18,38	2,54	59,73	5,46	2,94	3,46	1,65	0,86	0,68
Físicos										
Exp. Quente	Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão (MPa)					
Mm	%	cm <sup>2</sup> /g	%	%	1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias		
0,45	27,6	4.337	0,27	2,58	22,1	34,5	42,0	48,9		
0,50	0,2	100,78	0,05	0,61	0,8	1,2	0,6	1,0		
0,00	27,4	4.17	0,20	1,30	20,4	32,9	41,2	47,3		
1,00	27,8	4.48	0,30	3,70	23,0	36,2	43,2	50,2		

Figura 1: Propriedades do cimento Portland CPV – ARI [16].

Fonte: Itambé ([www.cimentoitambe.com.br](http://www.cimentoitambe.com.br))

Sabe-se que o CPV-ARI é um cimento de alta resistência inicial, possui alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido, proporcionando maior rendimento ao concreto.

A Tabela 3 mostra as propriedades do superplastificante CQ Flow 3780

DADOS TÉCNICOS	
Base Química	Éter carboxilato
Aspecto	Líquido
Cor	Castanho
pH	5,0 a 7,0
Densidade	1,08-1,12 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 3: Dados técnicos do superplastificante CQ FLOW 3780

Segundo o fabricante, o CQ Flow 3780 é um aditivo superplastificante de terceira geração a base de policarboxilato, pronto para consumo, totalmente isento

de cloretos e compatível com diversos tipos de cimento. Foi desenvolvido para reduzir grande quantidade de água de amassamento, dependendo da aplicação e redução desejada, conferindo excelente trabalhabilidade sem alterar o tempo de pega.

### 3 | CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1 Caracterização do Nanotubos de Carbono

Para os Nanotubos de Carbono, verificou-se a obtenção destes através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia Raman e sua composição através de difração de raios-x.

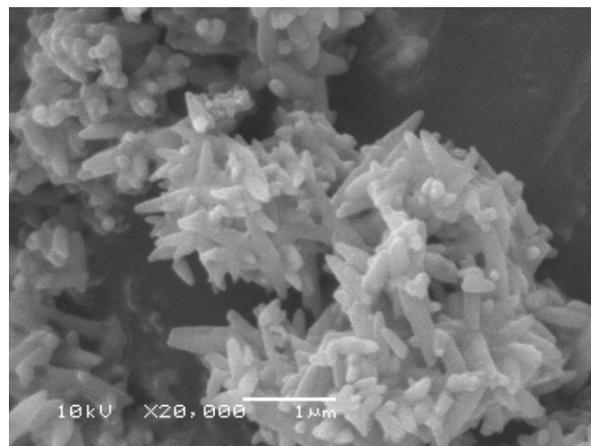


Figura 2: MEV dos Nanotubos de Carbono fabricados no LEME-UFRGS.

Pela análise da imagem de microscopia eletrônica de varredura é possível observar emaranhados de estruturas de tamanho nanométrico, que correspondem a nanotubos de carbono. Os NTC produzidos por esse método apresentam pouco comprimento como pode ser observado também na imagem. Para fins de comprovação de que o material produzido seria NTC, fez-se uma análise deste por Espectroscopia Raman, cujo espectro está mostrado na Figura 3.

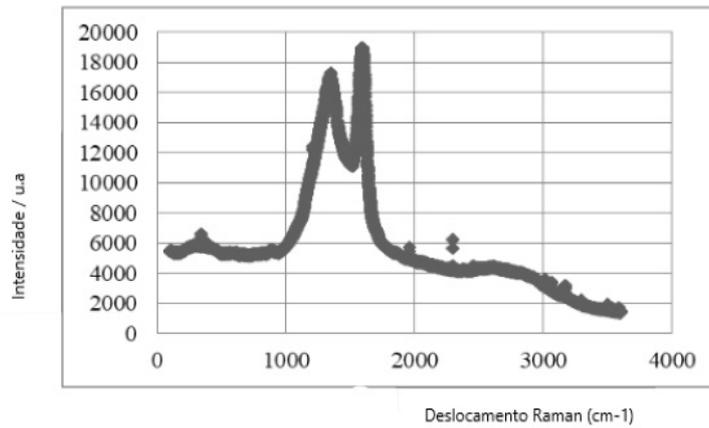


Figura 3 – Espectroscopia Raman dos NTC.

No espectrograma observa-se uma banda em torno de  $1350\text{cm}^{-1}$  e outra em torno de  $1575\text{cm}^{-1}$  que são características de NTC. A primeira banda, em torno de  $1350\text{cm}^{-1}$  está associada à presença de estruturas desordenadas, como NTC defeituosos ou impurezas, e a segunda banda está associada a NTC perfeitos por isso quanto maior em relação a primeira banda, melhor. Como os NTC utilizados são fabricados a partir de resíduos, a banda em torno de  $1350\text{cm}^{-1}$  é elevada pelas impurezas do material. A Figura 4 mostra a composição da mistura (NTC) produzida através da Difração de Raios-X.

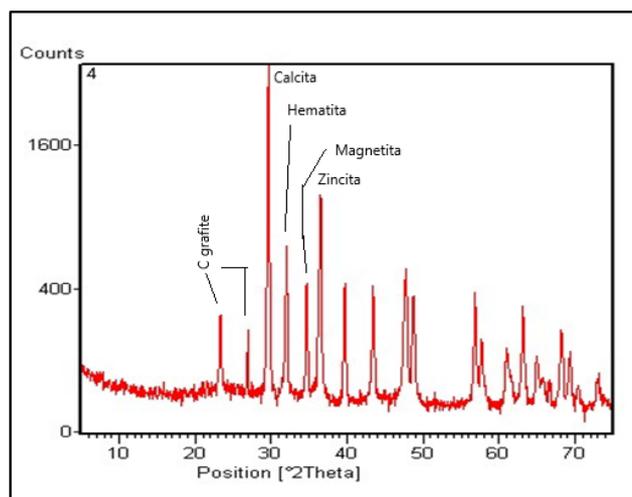


Figura 4: Difratoograma dos NTC.

Pode-se notar dois picos nas posições 23 e 26,4 que são característicos do grafite, cujo NTC são uma forma alotrópica. Outros picos podem ser observados no espectro devido aos outros compostos químicos utilizados no preparo, como zinco e cálcio.

A Figura 4 mostra uma imagem dos nanotubos de carbono fabricados no LEME.



Figura 5: Imagem dos Nanotubos de Carbono fabricados no LEME.

### 3.2 Caracterização da cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz utilizada nos ensaios não passou pelo processo de moagem, sendo utilizada como o fabricante fornece. Para caracterizar-se a cinza de casca de arroz foram determinadas as propriedades físico-químicas, a composição através de difração de raios-x, bem como a granulometria do material através do ensaio de granulometria a laser. As propriedades físico-químicas estão demonstradas na Tabela 3.

Estado Físico	Sólido
Diâmetro Médio	<8,0 $\mu\text{m}$
Resíduo na peneira de 45 $\mu\text{m}$	$\leq 10,0\%$
Aparência	Pó de dimensões micrométricas
Cor	Cinza claro
Odor	Sem odor
pH	$\leq 10,0\%$
Ponto de fusão	1550-170°C
Ponto de fulgor	Não aplicável
Perda ao Fogo	$\leq 3,5\%$
Densidade aparente	550-560 kg/m <sup>3</sup>
Solubilidade	Insolúvel em água; solúvel em HF ou NaOH
Área específica B.E.T	20000 m <sup>2</sup> /Kg
Limite de explosividade	Não aplicável

Tabela 4: Propriedades físico-químicas da cinza de casca de arroz.

A Tabela 5 mostra a composição da cinza de casca de arroz através da difração de raios-x.

ANALYTO	RESULTADO %
SiO <sub>2</sub>	95,3805
K <sub>2</sub> O	1,8756
CaO	1,0365
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5549
MnO	0,3897
SO <sub>3</sub>	0,2540
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2442
Cl	0,1229
MgO	0,1070
NiO	0,0345

Tabela 5: Composição química da cinza de casca de arroz

Pode-se observar que a maior parte do material (>90%) é composto de óxido de silício (SiO<sub>2</sub>), o que comprova os dados fornecidos pelo fabricante (Tabela 3) de que a obtenção da cinza é por queima controlada. A Figura 6 mostra uma imagem da CCA utilizada.



Figura 6: Imagem da cinza de casca de arroz.

A distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz realizada através de granulometria a laser está mostrada na Figura 7.

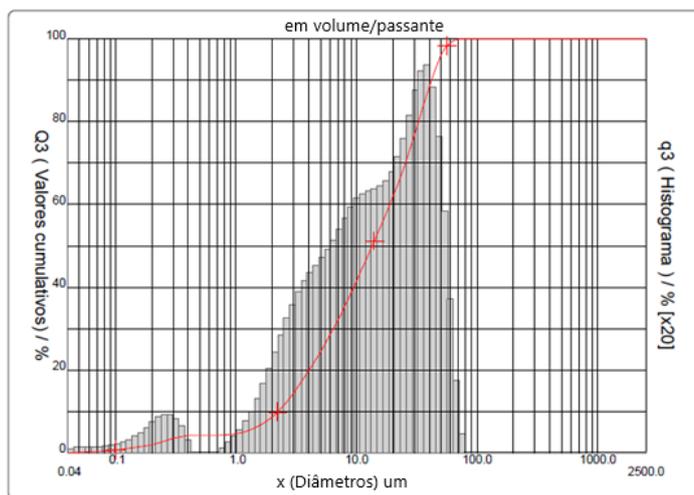


Figura 7: Distribuição granulométrica da cinza de casca de arroz e curva cumulativa.

Observa-se pela curva de distribuição granulométrica que a matéria-prima da cinza de casca de arroz apresenta uma faixa de distribuição granulométrica variando de 0,04 a 90 $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 2,22  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 13,43  $\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de 41,72  $\mu\text{m}$  e um diâmetro médio de 18,25 $\mu\text{m}$ .

### 3.3 Caracterização da Escória de alto forno (GGBS)

A escória de alto forno foi caracterizada através de ensaios de granulometria a laser e difração de raios-x.

ANALYTO	RESULTADO %
Cao	44,4959
SiO <sub>2</sub>	30,2153
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,9173
Fe2O3	7,4460
Cr2O3	3,7739
SO <sub>3</sub>	2,7058
MnO	1,1034
MgO	1,0802
SrO	0,3687
K2O	0,3589
NiO	0,2759
Cl	0,2193
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0395

Tabela 6: Composição química da escória de alto forno obtida por Difração de raios-x.

Observa-se que a escória de alto forno é composta principalmente de Cao (Óxido de cálcio) e SiO<sub>2</sub> (Dióxido de silício).

A figura 8 mostra a distribuição granulométrica da escória de alto forno.

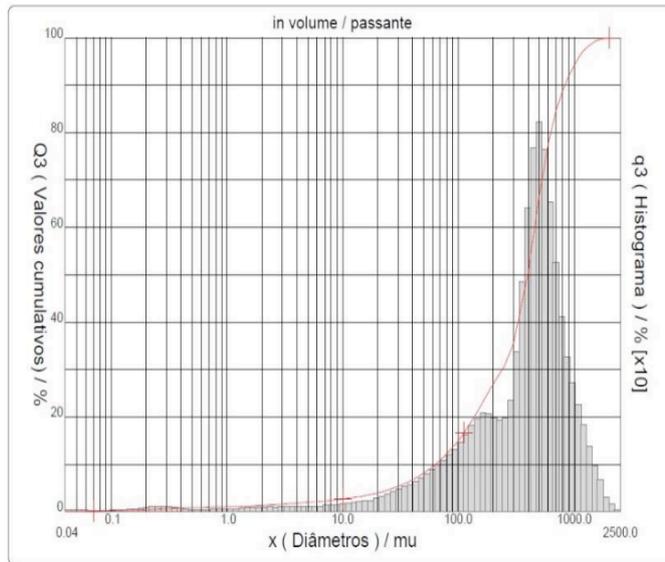


Figura 8: Distribuição granulométrica da escória de alto forno e curva cumulativa.

Observa-se pela curva de distribuição granulométrica que a matéria-prima da escória de alto forno apresenta uma faixa de distribuição granulométrica variando de 0,1 a 2500 $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 63,74  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 397,78  $\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de 834,30  $\mu\text{m}$  e um diâmetro médio de 429,51 $\mu\text{m}$ .

### 3.4 Caracterização da Sílica Fume (SF)

A sílica fume foi caracterizada através de distribuição granulométrica a laser, a qual está demonstrada na figura 9.

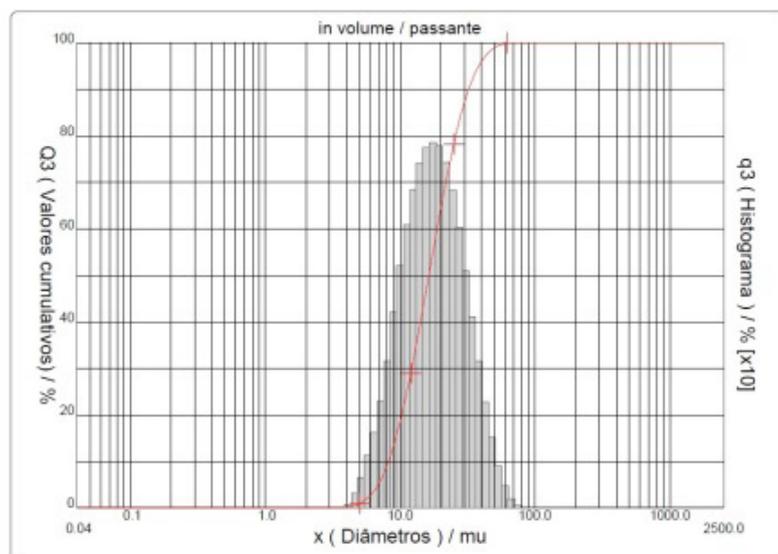


Figura 9: Distribuição granulométrica da sílica fume e curva cumulativa.

Observa-se pela curva de distribuição granulométrica que a matéria-prima da sílica fume apresenta uma faixa de distribuição granulométrica variando de 4 a 90 $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 8,22  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 16,33  $\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de 32,33  $\mu\text{m}$  e um diâmetro médio

de  $18,62\mu\text{m}$ .

### 3.5 Caracterização da areia de sílica

A areia de sílica foi caracterizada por granulometria a laser, a qual está mostrada na Figura 12.

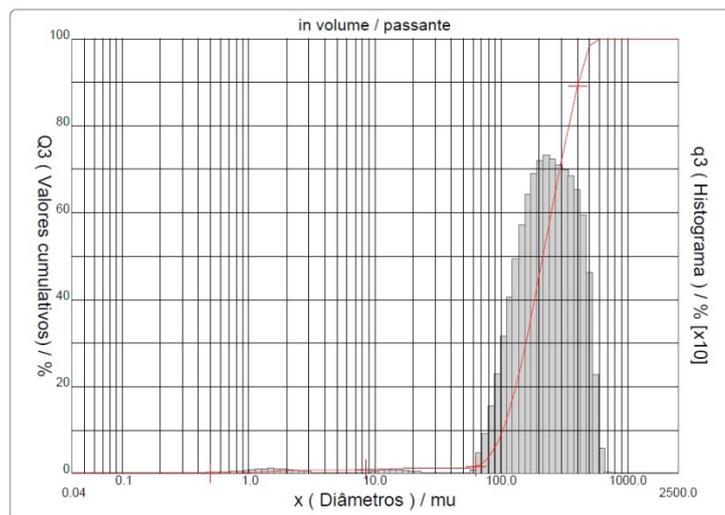


Figura 10: Distribuição granulométrica da areia de sílica e curva cumulativa.

Observa-se pela curva de distribuição granulométrica que a matéria-prima da areia apresenta uma faixa de distribuição granulométrica variando de  $0,5$  a  $1000\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de  $102,79\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de  $213,59\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de  $408,40\mu\text{m}$  e um diâmetro médio de  $236,93\mu\text{m}$ .

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Testes de resistência à compressão de CAR com Nanotubos de carbono.

Ao se romper os primeiros corpos de prova aos 14 dias, observou-se que estes apresentavam consistência de um concreto com poucos dias de cura, mostrando assim um baixo resultado na compressão. Na Tabela 7 estão demonstrados esses resultados. Em função disso, optou-se por rompê-los diretamente aos 28, 56 e 90 dias de cura. Os testes foram feitos de acordo com a NBR 5739 [17]

MISTURA	fcm (MPa)	DESVIO PADRÃO MÉDIO ( $\sigma$ )
CAR-1	19,93	0,02
CAR-2	4,81	4,81
CAR-3	14,43	2,93

Tabela 7: Resultados de resistência à compressão axial (fcm) das três primeiras misturas aos 14 dias de idade.

Os resultados obtidos de resistência à compressão para as misturas nas idades de 28, 56 e 90 dias estão na Tabela 8.

MISTURA	% CIMEN-TO	GRANULOMETRIA GGBS ( $\mu\text{m}$ )	fcm (MPa)					
			28 Dias		56 DIAS		90 DIAS	
			MÉDIA	$\sigma$	MÉDIA	$\sigma$	MÉDIA	$\sigma$
CAR-1	50	600	63,25	2,16	73,23	4,51	56,93	3,06
CAR-2	55	600	77,70	3,56	78,50	2,13	76,81	1,08
CAR-3	65	600	91,51	2,89	88,91	4,89	78,84	4,11
CAR-4	50	1180	59,97	4,51	61,01	4,32	84,44	3,85
CAR-5	55	1180	54,98	2,20	76,94	4,69	107,85	4,51
CAR-6	65	1180	88	2,61	98,77	4,96	126,44	4,17

Tabela 8: Resistência à compressão axial (fcm) do concreto com adição de nanotubos de carbono.

Pode-se observar pelos resultados grandes diferenças de comportamento entre as misturas. A mistura 1 (CAR-1) mostrou um leve aumento na resistência aos 56 dias, reduzindo o valor novamente aos 90 dias. Acredita-se que houve pouca vibração dos corpos de prova e com isso aumento de poros internos que resultaram na diminuição da resistência à compressão. Como as misturas 1, 2 e 3 foram feitas com o mesmo tempo de vibração (30 segundos), acredita-se que o mesmo problema ocorreu. Após aumentou-se o tempo de vibração (de 30 segundos para 1 minuto) observou-se uma diminuição na quantidade de poros internos. Na mistura 4 (CAR-4), que contém as mesmas quantidades de materiais, apenas a granulometria da escória de alto forno era menor, mostrou um resultado crescente de resistência ao longo dos 90 dias, comprovando que uma maior granulometria do GGBS é melhor para esse tipo de mistura, visto a quantidade de finos ser muito alta. Na mistura 2 (CAR-2), os resultados da compressão mostraram-se praticamente constantes, acredita-se que aos 28 dias todas as reações já estavam completas. Esses resultados estariam de acordo com Pelisser [20], em que cita que a hidratação do cimento se dá em três etapas e na terceira etapa é onde ocorre o aumento acentuado da resistência mecânica da mistura. Nesta etapa, ocorre a formação de silicato de cálcio hidratado a partir da reação entre a alita e belita presentes no clínquer com os produtos das etapas anteriores. Durante este processo, os grãos dos agregados ficam presos em meio à mistura, o que confere força e resistência ao concreto. Esta etapa da hidratação pode demorar meses para terminar, porém o maior ganho de resistência é atingido geralmente após um mês da aplicação do material. Na mistura 5 (CAR-5) que contém as mesmas quantidades de materiais, mudando apenas a granulometria da escória de alto forno (GGBS) mostrou um resultado de resistência mais baixo aos 28 dias, praticamente se igualando aos valores de

resistência da mistura 2 aos 56 dias quando comparado à mistura 2, e alcançando resultados expressivamente melhores aos 90 dias. Novamente uma granulometria maior de GGBS influencia positivamente a resistência à compressão. Esperava-se que a escória de alto forno (GGBS) com granulometria menor desse melhores resultados, uma vez que menor granulometria diminui a quantidade e o volume dos vazios presentes. A mistura 3 (CAR-3) apresentou melhores resultados aos 28 dias, mantendo praticamente constante aos 56 dias, com diminuição da resistência aos 90 dias. Essa diminuição da resistência pode ter sido por problemas de retração. De acordo com Aïtcin [21], nos concretos de alto desempenho uma relação água/aglomerante bem pequena, em torno de 0,30 e uma pequena quantidade de cimento e água são utilizadas na mistura, de modo que a rede de poros é essencialmente composta de capilares finos. Quando a auto-dessecação começa a acontecer, com o início da hidratação, os meniscos rapidamente se desenvolvem em pequenos capilares se não for acrescentada água externa. Como muitos grãos de cimento começam a hidratar-se simultaneamente no concreto de alto desempenho, a secagem de capilares muito finos pode gerar tensões muito altas que encolhem a pasta de cimento hidratada.

A mistura 6 (CAR-6) que contém as mesmas quantidades de materiais, mudando apenas a granulometria da escória de alto forno (GGBS) mostrou um resultado completamente diferente, apresentando aumento da resistência em todas as idades, alcançando valores da ordem de 120MPa. Em função disso, o concreto com essa mistura pode ser considerado de ultra alta resistência. Novamente, uma granulometria maior de GGBS influencia positivamente na resistência à compressão.

Observando-se os resultados de resistência à compressão das misturas CAR-4 e CAR-6 com a quantidade de cimento utilizada, nota-se que um incremento de 30% na quantidade de cimento fez com tivesse um ganho de quase 50% na resistência. As misturas CAR-3 e CAR-6 apresentam a mesma quantidade de cimento e demais materiais, diferenciando-se apenas a granulometria do GGBS, que na CAR-3 era de  $850\mu$  e na CAR-6 era  $1180\mu$ . A grande diferença nos resultados se deve a quantidade de finos na CAR-6 que é menor, fazendo com que os vazios sejam mais bem preenchidos.

Segundo Melo [23] o aumento obtido na resistência à compressão também está relacionado à dispersão dos nanotubos na matriz. Quando a dispersão é bem realizada, o nanotubo mistura-se à pasta de forma homogênea, fazendo interligações com o silicato de cálcio hidratado e com o próprio grão da mistura, sem ocorrer aglomerações pontuais. Isso leva a uma matriz mais densa, que contribui para a obtenção de um novo material mais resistente. Também os estudos de Musso et al [14] indicaram que as propriedades químicas e físicas dos NTC podem afetar o comportamento dos compósitos e que um teor de 0,5% em massa de NTC aumentou

a resistência à compressão de compósitos cimentícios em 20%. Xu et al [22] em seus estudos verificaram que um teor de 0,2% em massa de NTC aumentou a resistência à compressão em 14,5%.

#### 4.2 Testes de compressão das misturas com cinza de casca de arroz

A Tabela 9 apresenta os resultados dos testes de resistência à compressão de UHC com cinza de casca de arroz para cada traço moldado.. O valor demonstrado é a média aritmética obtida de três resultados.

MISTURA	% CIMENTO	% CCA	GRANULOMETRIA GGBS ( $\mu\text{m}$ )	fcm (MPa)					
				7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS	
				MÉDIA	$\sigma$	MÉDIA	$\sigma$	MÉDIA	$\sigma$
CAR-7	50	20	600	77,1	4,91	77,1	1,89	78,50	2,22
CAR-8	55	20	600	81,6	5,49	84,1	4,00	113,8	7,20
CAR-9	65	10	600	88,9	6,61	90,2	4,44	93,55	1,15
CAR-10	50	15	1180	64,4	1,56	77,5	4,27	82,61	3,73
CAR-11	55	10	1180	54,7	1,81	85	2,87	92,68	2,48
CAR-12	75	10	1180	72,4	4,82	102,3	4,03	104,3	6,42

Tabela 9: Resistência à compressão axial (fcm) das misturas contendo cinza de casca de arroz.

Observa-se que os melhores resultado aos 28 dias foram para as misturas 2 (113,83 MPa) e 6 (104,32 MPa). As misturas 3 e 5 mostraram resultados semelhantes, em torno de 93 MPa. A mistura 1 foi a que apresentou resultado mais baixo, com 78,5MPa aos 28 dias.

A partir dessa tabela observa-se que os resultados obtidos que a melhor mistura foi a que continha 55% de cimento e 20% de CCA. Aumentando-se o teor de cimento e diminuindo o teor de CCA os resultados foram um pouco mais baixos.

Estes resultados estão de acordo com Kuntz [24] e Saraswathy [25] que afirmam que a adição de CCA aumenta a resistência à compressão, devido a densificação da matriz da pasta e da interface matriz-agregado, e, também, diminui a permeabilidade, devido ao fechamento de vazios do concreto e a um refinamento da estrutura dos poros. Também afirmam que teores muito elevados de CCA podem prejudicar o desempenho das misturas. Recomendam um teor de substituição abaixo de 30% em massa de cimento. Também para Biz [8], que realizou ensaios com teores de substituição entre 10% e 30% de CCA em massa de cimento, 20% de CCA foi o teor que apresentou melhores resultados de resistência à compressão.

## 5 | CONCLUSÕES

No presente trabalho foi avaliado o desempenho de dois aglomerantes (NTC

e CCA) inseridos em concretos de alta resistência. Foi avaliada a resistência à compressão axial com adição de 1% de NTC e de 10 a 20% de CCA, assim como a influência da granulometria da escória de alto forno (GGBS).

Os resultados mostraram que ambos aglomerantes podem ser utilizados para obtenção de concretos de alta resistência com obtenção de valores de resistência à compressão de mais de 110MPa. Nos concretos com adição de NTC, tem de se ter um cuidado maior na primeira semana de cura, não se podendo fazer grandes esforços no concreto por apresentar baixa resistência inicial, mesmo se utilizando cimento Portland tipo CP-V de alta resistência inicial. Das misturas com NTC, a mistura contendo 10% de NTC, 55% de cimento, 35% GGBS (1180 $\mu$ m) e 10% SF foi a que apresentou melhores resultados devido às propriedades físicas dos materiais constituintes. Por tratar-se de pozolana altamente reativa, com alto teor de sílica amorfa e elevada finura, a sílica fume apresenta altíssima reatividade com os produtos decorrentes da hidratação do cimento, melhorando visivelmente seu desempenho. Também os NTC produzem na mistura uma pasta mais densa que leva a valores superiores de resistência. Para as misturas com CCA, a que continha 55% cimento, 15% GGBS (600 $\mu$ m), 10% SF e 20% CCA foi a que apresentou melhores resultados. Da mesma forma que a sílica fume, a CCA é uma pozolana altamente reativa, que apresenta reatividade com os produtos decorrentes da hidratação do cimento, melhorando seu desempenho. Assim, o uso de sílica fume e CCA melhoram o desempenho de concretos em determinadas faixas de uso. Observa-se que tanto para a mistura com NTC quanto para a mistura contendo CCA os resultados foram melhores quando se utilizou as proporções de 55% cimento e 10% SF. Para a mistura com NTC foi necessário uma quantidade maior de GGBS e com maior granulometria. Dentre as proporções de CCA utilizadas, os melhores resultados foram obtidos com a utilização de 20%.

Pelo lado econômico, mesmo os NTC sendo fabricando no LEME, os custos com esse concreto são muito maiores que com a utilização de CCA.

Portanto, cabe salientar que a adição de CCA é benéfica para a produção de concreto, aumentando sua resistência. Com a redução da quantidade de cimento, o qual é produzido através da extração de recursos minerais, e aplicação de CCA e GGBS em concretos, introduz-se no processo materiais sustentáveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por possibilitar o empenho de seus professores/pesquisadores e colocar sua infraestrutura à disposição deste trabalho de pesquisa, à empresa CAMARGO QUÍMICA LTDA pela doação do superplastificante, e à empresa SVA SILICA VERDE DO ARROZ LTDA pela doação da cinza de casca de arroz. Além disso, deve-se

registrar o agradecimento pela concessão de bolsas de estudo promovidas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## REFERÊNCIAS

- [1 ] AMORIM, A.A., Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes. Monografia. UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- [2] KUMAR, S., GUPTA, R.C., SHRIVASTAVA, S., CSETENYI, L., THOMAS, B.S., “ Preliminary study on the use of quartz sandstone as a partial replacement of coarse aggregate in concrete based on clay content, morphology and compressive strength of combined gradation”. *Construction and Building Materials*, v. 107, pp.103-108, 2016.
- [3] SIEG, A.P.A, *Concretos de Pós Reativos- Estudo das adições minerais: cinza de casca de arroz, metacailim e sílica ativa*. Dissertação M.SC. UNIPAMPA, Alegrete, Brasil, 2012.
- [4] THOMAS, B.S, “Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – A comprehensive review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.82, pp. 3913-3923, 2018
- [5] NETTO, R.M., *Materiais pozolânicos*. Monografia. UFMG. Belo Horizonte, Brasil, 2006.
- [6] RODRIGUES, M.S., *Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa*. Dissertação M.SC. UNICAMP, Campinas, 2008.
- [7] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 363R-92 (Reapproved 1997). *State of the art reporte on high strength concrete*. ACI Manual of Concrete Practice, part 1. Farmington Hills: ACI, 1998.
- [8] BIZ, C.E., *Concreto de Pós Reativos*. Dissertação M.Sc. Unicamp. São Paulo, Brasil, 2001.
- [9] FEHLING, E., SCHMIDT, M., WALRAVEN, T., LEUTBECHER, T., FROHLICH, S, “Ultra High Performance Concrete UHPC Fundamentals, Design, Examples”. First Edition, 2014, 188p.
- [10] ISAIA, G.C., *Concreto: Ciência e Tecnologia*, v.1 e 2. Ibracon, 2010.
- [11] REGÔ, J.H.S., *As cinzas de casca de arroz (CCAS) amorfa e cristalina como adição mineral ao concreto – Aspectos da microestrutura das pastas*. Tese de D.Sc, UNB, Brasília, Brasil, 2004.
- [12] LI, G.Y., WANG, P.M., ZHAO, X. “Mechanical behavior and microestruure of cement composites incorporating surfasse-treated multi-walled carbono nanotubes” *Carbon*, v. 43, pp. 1239-1245, 2005.
- [13] SOBOLKINA, A., MECHTCHERINE, V., KHAVRUS, V., LEONHARD, A., “Dispersion of carbon nanotubes and its influence on the mechanical properties of cement matrix”, *Cement & Concrete Composites*, v. 34, pp.1104-1113, 2012.
- [14] MUSSO, S., TULLIANI, J.M., FERRO, G., TAGLIAFERRO, A., “Influence of carbon nanotubes structure on the mechanical behavior of cement composites”, *Composites Science and Technology*, v. 69, pp.1985-1990, 2009.
- [15] PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S., “Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials”, *Construction and Building Materials*, v.25, pp.582-590, 2011.
- [16] SIDDIQUE, R., MEHTA, A., “Effect of carbon nanotubes on properties of cement mortars”, *Construction and Building Materials*, v. 50, pp. 116-129, 2014.

- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.
- [18] CIMENTOS ITAMBÉ. Referência obtida na Internet. < <http://www.cimentoitambe.com.br/cimentos/cp-v-ari-cimento-portland-alta-resistencia/>> Acesso em nov/2017.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.
- [20] PELISSER, P., STANER, L.R., BERNARDIN, A.M, “Recycling of porcelain tile polishing residue in Portland cemen: hydration efficiency”, *Environmental Science & Technology*, v. 46, pp. 2368-2374, 2012.
- [21] AİTCIN, P.C., A arte e a ciência do concreto de alto desempenho. Roma, 1997.
- [22] XU, S., LIU, J., LI,Q., ”Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbon nanotube-reinforced cement paste”, *Construction and Building Materials*, v. 76, pp.14-23, 2015.
- [23] MELO, V.S., *Efeito da mistura física de nanotubos de carbon em matrizes de cimento Portland*. Dissertação M.SC., UFMG, Belo Horizonte, 2009.
- [24] KUNTZ, L.M., *The Greening of the Concrete Industry: Factors contributing to Sustainable Concrete*. Thesis M.Sc. Massachusetts Technology Institute. Cambridge, 2006.
- [25] SARASWATHY,V.& SONG, H-W., “Corrosion performance of rice husk ash blended concrete.” *Construction and Building Materials*”, v.21, p. 1779-1784, 2007

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**JOÃO DALLAMUTA** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

**RICARDO VINICIUS BUBNA BISCAIA** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço 3, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 37, 93

Aerogeradores 1, 3, 4, 6

Amazônia 8, 80

### B

Baja 8, 21, 22, 23, 24, 25, 31, 32

Bauxita 8, 80, 81, 82, 83, 85

### C

Chapas 8, 9, 10, 15, 17, 18, 19

Coco babaçu 9, 87, 89, 92, 93

Compósitos 8, 33, 34, 35, 38, 40, 42, 45, 48, 49, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 71, 87, 88, 89, 92, 108, 109

Compósitos Poliméricos Híbridos 33

Concreto 9, 3, 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 99, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Critérios de falha 33, 35

### E

energia 7, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 29, 67, 69, 88, 91

Energia 6, 7, 20, 71

ENERGIA 8, 1

Ensaio 8, 9, 11, 15, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 30, 31, 33, 35, 37, 42, 45, 72, 73, 74, 75, 77, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 104, 109

Ensaio Mecânicos 19, 21, 24

Eólica 8, 1, 2, 3, 4, 5, 7

### F

Ferroelétricos 48, 49, 55, 59

Fibras 8, 9, 33, 34, 36, 37, 42, 43, 44, 45, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Fatura 33, 35, 38, 40, 41, 42, 43, 45

Furo Central 33, 36, 39, 40, 42, 45

### G

Gaiola 21, 22, 23

## K

katoita 8, 80, 81, 82, 83, 84, 85

## P

Parques 8, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Propriedades 8, 9, 8, 9, 15, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 46, 48, 49, 51, 54, 56, 59, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 95, 96, 99, 102, 108, 110

PVDF 8, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

## R

Rejeitos 8, 80, 81, 82

Resistência 9, 6, 19, 24, 28, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 48, 68, 72, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 106, 107, 108, 109, 110

Resistência Residual 33, 35, 38, 39, 44, 45

## S

SAE 8, 9, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 32

Soldagem 21, 23, 26, 28, 29, 31, 32, 113

## V

Ventos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

## Z

ZTA 21, 24, 28, 29, 30

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**