

# 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 Internazionale delle Figlie di 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**

## ANÁLISE DAS JUNTAS SOLDADAS NA UNIÃO DA ESTRUTURA DO VEÍCULO BAJA SAE

*Data de aceite: 05/06/2020*

*Data de submissão: 02/06/2020*

### **Henrique Ajuz Holzmann**

Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

### **Victor Henrique Javara**

Aluno da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava

**RESUMO:** O campeonato Baja SAE está em crescente visibilidade mundial, com isso a importância das modificações e aprimoramentos torna-se crucial para diferenciar-se. Diversos estudos são realizados em torno do veículo Baja SAE, desses destacam-se estudos de melhorias de projeto, estudos de projeto em si e estudos que comprovam a segurança e qualidade do projeto. A gaiola do veículo Baja é de estrita importância para a segurança do piloto em casos de choques mecânicos do veículo durante as competições. Para a sua fabricação é utilizado o processo de soldagem na união dos tubos, este ocasiona a perda local das propriedades mecânicas do material, fenômeno denominado de Zona Termicamente Afetada (ZTA), tornando de grande importância as análises mecânicas exercidas sobre esta.

Visando comprovar a qualidade da fabricação da gaiola, este trabalho tem como objeto de estudo corpos de prova simulando pontos de união da gaiola a serem verificados através de ensaios mecânicos destrutivos e não destrutivos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Baja. SAE. Soldagem. Ensaio Mecânicos. Gaiola. ZTA.

### WELDED JOIN UNION ANALYSIS OF BAJA SAE VEHICLE STRUCTURE

**ABSTRACT:** The Baja SAE championship is growing day by day all over the world, thus, studies are necessary for modification and upgrading as a differential at engineering. Several improvement studies about Baja SAE vehicle are performed for example studies about design, design improvements and studies that prove safety and quality of the project. The roll cage is extremely important for the safety of the pilot in case of mechanical shocks during competitions. It is used a welding process at the tube joints for the cage manufacturing. This process causes damage of mechanical properties of the material, this phenomenon is called Heat Affected Zone (HAZ). Trying to prove the roll cage manufacturing quality, this term paper has as study object proof bodies for simulation of roll cage joints to be checked

through destructive and nondestructive mechanical testing.

**KEYWORDS:** Baja. SAE. Welding. Mechanical Testing. Roll Cage. HAZ.

## 1 | INTRODUÇÃO

A competição Baja SAE teve início em 1976 na Universidade da Carolina do Sul, Estados Unidos, sob a direção do Dr. J.F Stevens. No Brasil as atividades deram início em 1991, sendo que em 1994 o Projeto Baja SAE Brasil foi lançado. No ano seguinte se realizou a primeira competição nacional, em São Paulo. Atualmente a competição é realizada em Piracicaba, interior de São Paulo, no ECPA - Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (BAJA SAE BRASIL, 2020).

O projeto dos Bajas vêm sendo aprimorado não somente para as competições, mas também na área de inovações tecnológicas, trazendo um impacto a sociedade. Exemplos disto são as estratégias desenvolvidas por algumas equipes que ao estudar, identificaram a possibilidade de substituição de materiais buscando uma diminuição de peso, e com isso ganhando aceleração, velocidade e dirigibilidade (PORTAL FATOR BRASIL, 2016).

A estrutura do veículo Baja, Figura 1, é constituída basicamente por tubulação de aço SAE 1018, dobrados e ligados por meio de juntas soldadas (conforme regulamentação da competição Baja SAE Brasil). O chassi do veículo Baja tem o intuito de proporcionar segurança ao piloto, sendo restrita a presença de cantos vivos ou falhas nítidas, os quais serão avaliados pelos juízes da competição. O veículo deverá ser capaz de receber todos seus subsistemas, como pedais, volante, suspensão e eixos. Antes da fabricação, realiza-se um projeto da estrutura, obedecendo as normas vigentes na competição.

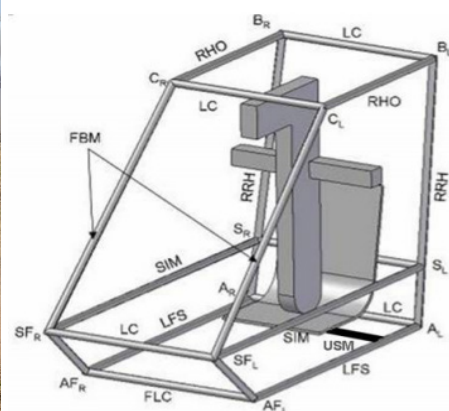


Figura 3 – Baja SAE e gaiola do regulamento.

Fonte: Regulamento Baja SAE Brasil (2020).

Como o método de soldagem da estrutura do veículo não é especificado na norma, abre-se espaço para que seja trabalhado com intuito de buscar uma otimização do mesmo, tanto na parte econômica, quanto na parte estrutural. O processo de soldagem comumente empregado na estrutura BAJA, gira em torno da solda através de eletrodo revestido, MIG/MAG (*Metal Inert Gas, Metal Active Gas*) ou TIG (*Tungsten Inert Gas*). Estudar a junta gerada se torna de grande importância, visto que nesta região ocorre um acúmulo de tensões e se torna pontos propícios ao início de falhas.

Esse estudo é essencial para que possa comprovar a eficiência das soluções empregadas no projeto, e através da realização de ensaios e caracterizações mecânicas obter os resultados e gerar laudos a fim de comprovação. Assim o trabalho apresentado visa analisar a junta soldada empregada na união de tubos de Aço SAE 1020 e verificar a viabilidade de uso na fabricação da estrutura do veículo Baja.

## 2 | METODOLOGIA

De acordo com o regulamento Baja SAE Brasil (2020), existe a necessidade de especificação dos materiais e processo utilizados na fabricação da estrutura “gaiola” do veículo Baja. Dentro deste contexto, o material a ser utilizado possui equivalência mecânica ao Aço SAE 1018. Para a fabricação deste veículo Baja, foram selecionadas barras de Aço SAE 1020 trefilado com diâmetros de uma polegada.

Os tubos de aço foram devidamente cortados angularmente em 60°, 90° e 180° de defasagem em relação ao eixo paralelo ao tubo, a fim de se produzir as situações reais utilizadas na fabricação da estrutura. Foram fabricados 3 corpos de prova em cada uma das angulações, a fim de verificar a repetitividade dos resultados.

A união dos materiais foi realizada através do processo de solda MAG, no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Guarapuava. Para o processo de soldagem foi utilizada a máquina de solda modelo Hank 335 da marca SUMIG. O gás de proteção utilizado foi a mistura 75% Argônio e 25% de Oxigênio e o arame foi AWS A5.18 ER70S-6, composto por C (0,07-0,15 %); Mn (1,40-1,80 %); Si (0,80-1,15 %); S ( $\leq 0,035$  %) e P ( $\leq 0,025$  %) segundo a literatura ESAB.

Os parâmetros de processo utilizado foram: corrente de soldagem 160 Ampere, tensão de soldagem 20 Volts, velocidade de soldagem 1,5 m/min, velocidade de alimentação do arame de solda 6,5 m/min e vazão do gás de proteção 20 L/min.

Após a realização do processo de soldagem as amostras foram limpas e

inspecionadas, inicialmente através de ensaios mecânicos não destrutivos (inspeção visual e líquidos penetrantes) seguidos pelo ensaio de dureza e metalografia.

A inspeção visual foi realizada para identificação de defeitos nítidos nos corpos de prova, sendo os mesmos imediatamente descartado caso positivo de descontinuidades. Já o ensaio por líquidos penetrantes foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 16450:2016.

Para realização do ensaio de dureza foram realizadas demarcações com intervalos de 2 milímetros, a partir da linha de união, essas demarcações percorreram de -6 à 6 (*range* da demarcação), varrendo em torno de 25 milímetros. Na realização do ensaio de dureza foi utilizado um durômetro de bancada Digimes Rockwell B Normal, utilizando o edentador esférico de 1/16" (polegadas) com carga inicial de 10 kgf e carga principal de 100 kgf.

Na sequência as amostras foram cortadas (cortadora metalográfica CM40/60) e embutidas (prensa embutidora metalográfica manual EM30D) a fim de realizar o ensaio metalografico, buscou-se evidenciar a região do cordão de solda (união), bem como da ZTA e metal base.

As amostras embutidas forma preparada conforme ABNT NBR 13284:1995, para o lixamento e polimento foi utilizada a politriz lixadeira metalográfica PL02, na sequência a superfície das amostras foi atacada com o reagente Nital a 3%, pelo período de 10 segundos.

Com o processo de preparação da amostra concluído, as amostras foram encaminhadas ao microscópio óptico da marca Olympus e modelo BX521 para a análise metalografica e em seguida realizado a análise dos resultados obtidos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validação do material, norma vigente da competição Baja SAE Brasil, é exigida a utilização de aços com teor de carbono de pelo menos 0,18%, com diâmetros externo de tubo de 25,4 milímetros com espessura de parede de 3,05 milímetros. Para fabricação utilizando materiais diferentes deste, a norma exige cálculos comprovando valores proporcionais de resistência e rigidez à flexão aos do aço 1018 ( $S_y = 370$  MPa e  $E = 205$  GPa).

De acordo com o fabricante o material selecionado para fabricação da estrutura, Aço SAE 1020 trefilado, possui as propriedades apresentadas na Tabela 1.

SAE	Limite de Escoamento (MPa)	E (Deformação) (2*)%	Dureza Brinell (HB)	Limite de Resistência à Tração	Carbono (%)	Manganês (%)
1018	370	15	126	435	0,15 – 0,20	0,60 – 0,90
1020	350	15	121	417,5	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas Estimadas de barras de Aço Trefiladas.

Fonte: <brasil.arcelormittal.com.br>, adaptado.

Para a validação dos tubos utilizados, partiu-se da equação de momento fletor que supostamente deve ser suportado de modo equivalente ou superior pelo aço utilizado em comparação ao exigido pela norma. O momento fletor ( $M_f$ ) é apresentado na Equação 1, onde  $S_y$  simboliza o limite de escoamento (MPa),  $I_x$  o momento de área em relação ao eixo x e  $c$  é a distância do eixo à parte mais externa do tubo, onde sofre maiores tensões (NORTON, 2013).

$$M_f = \frac{S_y I_x}{c} \quad (1)$$

O momento de área em relação ao eixo x é encontrado a partir da Equação 2, onde o diâmetro externo é representado por  $D$  e o diâmetro interno por  $d$  (NORTON, 2013).

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (2)$$

Partindo das equações e dos dados tabelados, encontra-se a espessura mínima para que o Aço SAE 1020 trefilado utilizado no projeto seja válido. Para encontrar a espessura mínima utiliza-se a Equação 3.

$$d_{m\acute{a}x} \leq \left( D^4 - \frac{64}{\pi} \times \frac{1}{(S_y)_{1020}} \times (S_y \times I_x)_{1018} \times \frac{c_{1020}}{c_{1018}} \right)^{1/4} \quad (3)$$

Os resultados de  $d_{m\acute{a}x}$  e espessura encontrados são para o aço SAE 1018 (diâmetro mínimo de 19,3 mm e espessura mínima de parede de 3,05 mm) já para o aço SAE 1020 (diâmetro mínimo de 18,74 mm e espessura mínima de parede de 3,33 mm).

A análise feita é fundamental para a validação do material utilizado na fabricação da estrutura, e possibilita a utilização do material da estrutura na competição Baja SAE conforme dita a norma de segurança exigida.

### 3.1 Análise geométrica do cordão de solda

Segundo Pessoa et. al. (2010), a geometria do cordão de solda visa analisar a qualidade da junta soldada, permitindo que a junta seja preenchida com o mínimo de defeitos, a Figura 2 apresenta as principais medidas necessárias à avaliação.

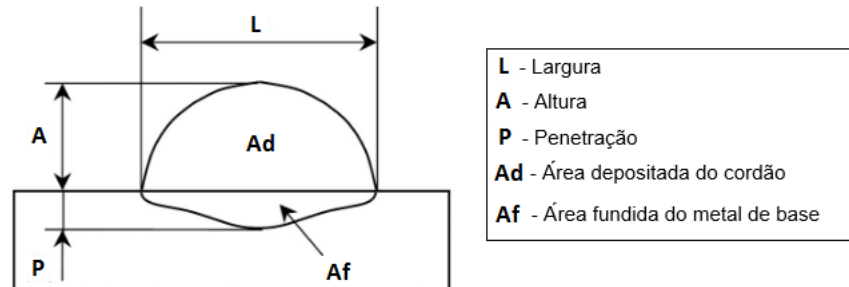


Figura 2 - Perfil geométrico de um cordão de solda

Fonte: Pessoa et al (2010), adaptado.

A partir da análise das amostras, pode-se obter os valores apresentados na Tabela 2, comprova o alto valor resultante da diluição encontrado por meio de cálculos, visto que a área de reforço é pequena e a penetração da solda atingiu toda a espessura comprovando uma qualidade na união soldada e atendendo aos requisitos exigidos na norma.

Amostra	L (mm)	A (mm)	P (mm)	Ad (mm <sup>2</sup> )	Af (mm <sup>2</sup> )	D (%)
60°	7,3	0,8	2,8	6,2	7,3	54,07
90°	6,9	1,1	3,1	6,8	7,5	52,04
180°	8,5	0,6	3,3	5,0	8,8	63,79

Tabela 2 - Morfologia dos cordões de solda

### 3.2 Ensaio por Líquidos Penetrantes

Com os ensaios por líquidos penetrantes foi possível verificar a presença de respingos, poros e mordeduras nos diferentes corpos de prova.

Enquanto na união linear dos tubos observou a presença de pouca porosidade e nenhuma mordedura evidenciada, os corpos unidos com angulações apresentaram mordeduras, respingos e porosidades, principalmente nos tubos unidos em 90°, ilustrados na Figura 3. Nesses ocorreram maiores imperfeições pela dificuldade da aplicação do processo de soldagem, por exigir maior área de preenchimentos e por eventuais tolerâncias mal dimensionadas no corte “boca de lobo”.

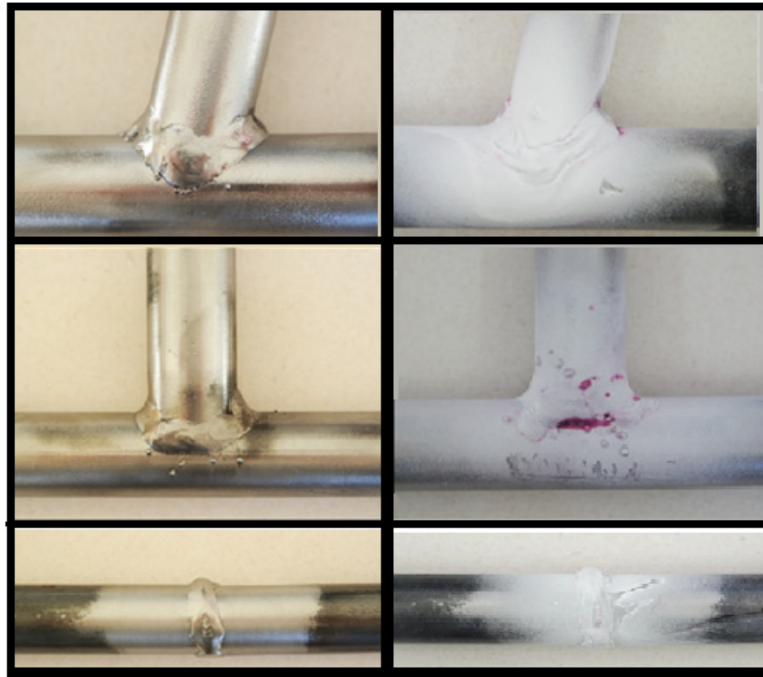


Figura 3 - Análise com líquidos penetrantes após aplicação do revelador.

### 3.2.1 Ensaio de Dureza

Os valores obtidos a partir do ensaio de dureza Rockwell foram inseridos no Gráfico 1 contrastando com a faixa de dureza comum do aço SAE 1020 encontrado nas literaturas da Arcelor Mittal. A faixa de dureza comum do aço SAE 1020 foi encontrada em forma de dureza Brinell (HB) e então convertida para os valores em dureza Rockwell B (HRB) a partir da tabela que pode ser encontrada no endereço virtual da Steel Express. Os valores encontrados com base nos ensaios práticos em contraste com a os valores de dureza padrão do aço SAE 1020 trefilado são ilustrados pela Gráfico 1.

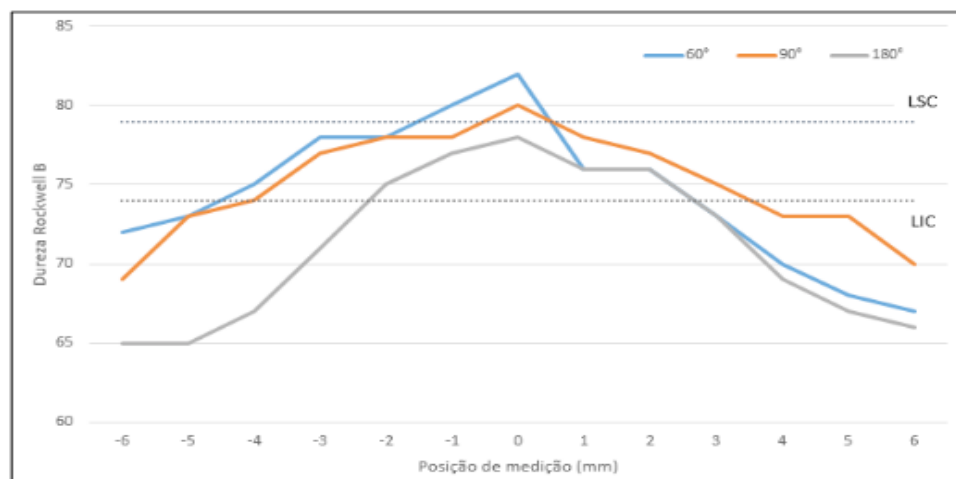


Gráfico 1 - Ensaio de dureza realizado no corpos de prova unidos em 60°, 90° e 180° em contraste à faixa dureza padrão do Aço SAE 1020 trefilado.



Nota-se que na posição zero é evidenciada uma dureza elevada em relação a outras posições. De acordo com Modenesi (2012), o processo de soldagem MAG apresenta temperatura de processo mais baixa em relação a outros processos, logo o metal de solda apresenta uma densidade de deslocação elevada, ocasionando um aumento no limite de escoamento, caracterizando a zona fundida como mais resistente que o metal base.

Em contrapartida a baixa dureza na zona termicamente afetada é notada, resultado do aumento dos grãos causados pelo recozimento. O recozimento resulta no alívio das tensões locais causando a perda de resistência mecânica.

### 3.2.2 Ensaio Metalográfico

Do ensaio metalográfico realizado na amostra retirada do metal base (MB) do corpo de prova de aço SAE 1020 foi obtido fotografias com a ampliação de 20 X. Através da análise microscópica da amostra, observou-se presente a fases ferrita e perlita, identificados na Figura 4.

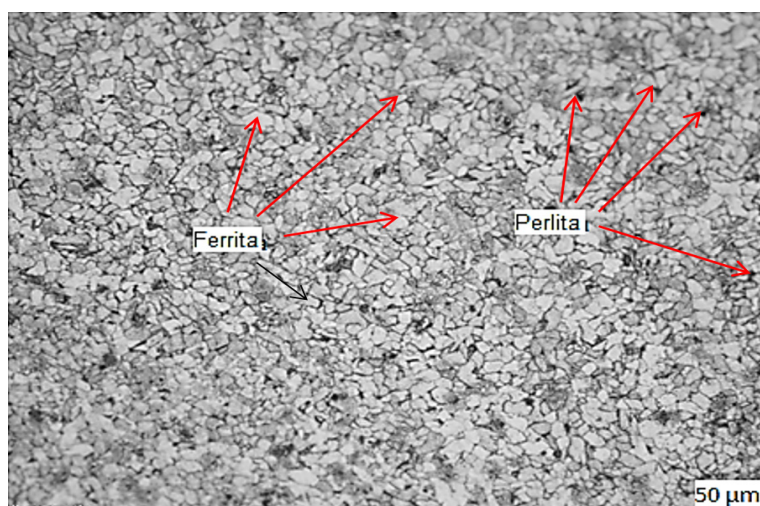


Figura 4 - Micrografia com ampliação de 20 X do Metal Base.

Segundo Callister (2007), Colpaert (2008), a ferrita é definida como a solução sólida do carbono em ferro alfa enquanto a perlita se caracteriza pela presença de grãos chamados de colônias, e com camadas internas orientadas, sendo as camadas claras e mais grossas representadas pela ferrita e as lamelas finas pela cementita.

Da Figura 5, pode-se observar a amostra retirada do cordão de solda com ampliação de 5 X, sendo essas fotografias concentradas inteiramente no cordão de solda não contemplando a ZTA.



Figura 5 - Micrografia com ampliação de 5 X do cordão de solda.

Para uma análise mais precisa temos a Figura 6 mostra o cordão de solda com ampliação de 20 X.

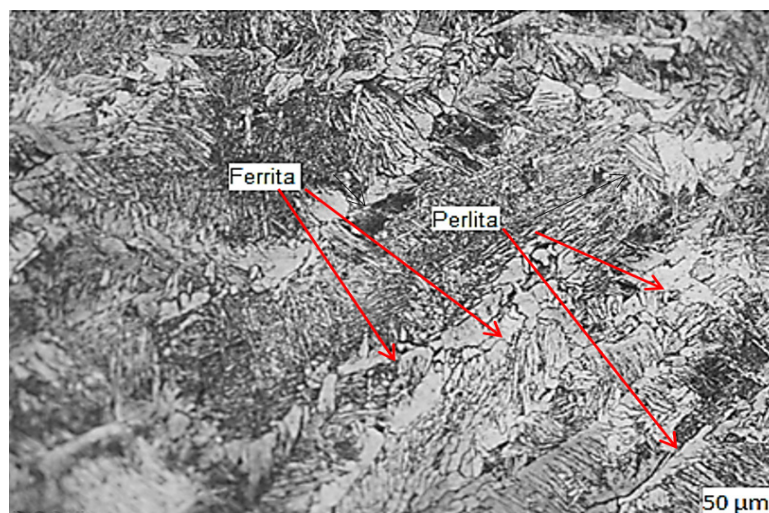


Figura 6 - Micrografia com ampliação de 20 X do cordão de solda.

Como cordão de solda de material AWS A5 18 ER70S-6 forma uma microestrutura basicamente de ferrita e perlita quando fundido, se equivale ao Aço SAE 1020, diferenciando-se apenas por apresentar uma granulometria grosseira resultante da elevada energia térmica aplicada durante o processo de soldagem.

A Figura 7 ilustra a micrografia da ZTA (zona termicamente afetada) com ampliação de 5 X.

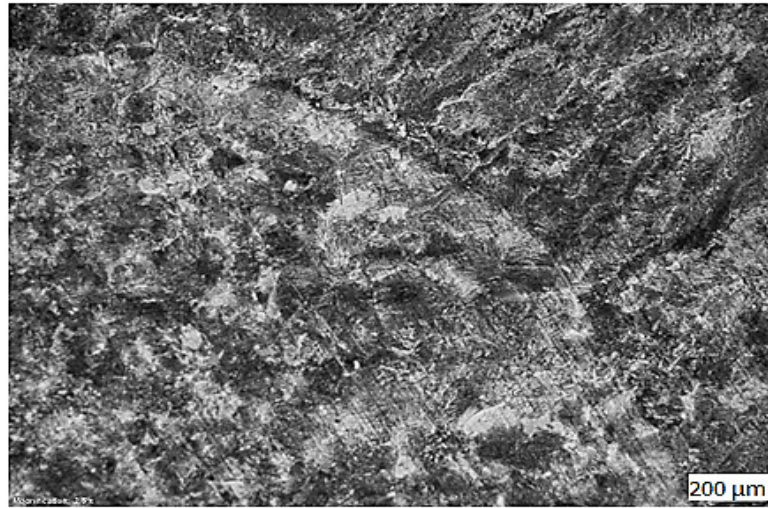


Figura 7 - Micrografia com ampliação de 5 X da Zona Termicamente Afetada.

Para obter uma análise mais precisa sobre o tamanho de grãos comparado com os grãos obtidos da amostra do metal base temos a análise metalográfica da ZTA (zona termicamente afetada) com aumento 20 X, ilustrado pela Figura 8.



Figura 8 - Micrografia com ampliação de 20 X da Zona Termicamente Afetada.

Em comparação da Figura 28 (ZTA 20 X) com a Figura 24 (MB 20 X), nota-se o crescimento dos grãos na ZTA (zona termicamente afetada), ocorrente devido ao fenômeno de recozimento dos grãos (ESAB, 2005).

#### 4 | CONCLUSÕES

A proposta em realizar a união entre tubos com diferentes angulações foi abrangente, visto que representa situações reais. Os corpos de prova devidamente trabalhados foram expostos a ensaios e análises mecânicas garantindo e quantificando suas propriedades mecânicas pós processos de soldagens,

comprovando a segurança da estrutura em esforços submetidos em competições.

Analisou-se a partir dos ensaios não destrutivos a qualidade da solda, por se ter utilizado a soldagem MAG obteve uma solda limpa possuindo em apenas alguns corpos de prova a presença de respingos que puderam ser observados no ensaio visual. O corpo de prova que obteve maior incidência de porosidade e mordeduras se deu pela dificuldade do processo de soldagem, por se tratar de uma angulação inclinada e podendo ser resultado de um corte “boca de lobo” dimensionado com tolerâncias flexíveis. Em contra partida na união dos tubos pela extremidade houve a presença quase insignificante de porosidade analisada somente a partir do ensaio com líquidos penetrantes, reiterando a qualidade do processo de soldagem.

O ensaio destrutivo de metalografia demonstrou o aumento dos grãos na zona termicamente afetada, o que já era esperado, causando a perda de propriedades mecânicas comprovadas pelo ensaio de dureza. Da metalografia observou que o arame de solda (AWS A5 18 ER70S-6) utilizado favoreceu a formação de ferrita e perlita, semelhante ao encontrado no metal base (Aço SAE 1020).

A geometria do cordão de solda auxiliou a obtenção de valores de diluição, esses os quais foram notavelmente positivos comparados aos valores médios aproximados desse processo de soldagem, reintegrando a boa qualidade e boa aceitação ao processo de soldagem MAG com arame AWS A5 18 ER70S-6.

Do ensaio destrutivo de dureza obteve os valores quantitativos de elevado grau de importância do trabalho, este teve por função encontrar a alteração das propriedades mecânicas resultantes do processo de soldagem.

O estudo realizado sobre as propriedades mecânicas do Aço SAE 1020 antes do processo de soldagem obteve resultados com divergências de aproximadamente 4% em relação ao Aço SAE 1018, e pós processo de soldagem de aproximadamente 9,6% em relação ao Aço SAE 1018 isento de cordões de solda. Os valores obtidos foram relativamente pequenos, o que torna viável a utilização do Aço SAE 1020 para a fabricação da estrutura do veículo Baja, além disso, deve ser levado em conta o preço mais razoável e a acessibilidade em cidades interioranas quando comparado ao Aço SAE 1018.

## REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Guia do aço**. Disponível em: <[brasil.arcelormittal.com.br](http://brasil.arcelormittal.com.br)> Acesso em: 23 de abril 2020.

BAJA SAE BRASIL. **Histórico do Projeto Baja SAE**. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil>> Acesso em: 03 de maio de 2020.  
CALLISTER, Jr., W.D. **Materials Science and Engineering**. 7 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

COLPAERT, HUBERTUS. **Metalografia dos produtos comuns**. 4. ed. revista e atualizada. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

ESAB. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. Disponível em: <<http://www.esab.com.br/>>. Acesso em: 25 de abril 2020.

ESAB. **Apostila Metalurgia da Soldagem**. Disponível em: <<http://www.esab.com.br/>>. Acesso em: 20 de abril 2020.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. Bookman Editora, 2013

PESSOA, A. R. P. et al. Seleção de parâmetros através do método Taguchi para soldagem de revestimento com ligas de níquel pelo processo MIG/MAG. **Soldag. insp.** (Impr.) 2010, vol.15, n.4, pp. 317-324. ISSN 0104-9224.

PORTAL FATOR BRASIL. **Estudantes cariocas e capixabas constroem nove carros para a Competição Baja SAE BRASIL- Petrobras**. Disponível em: <<http://www.revistafator.com.br/>>. Acesso em: 21 de abril 2020.

## 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 Mecânico 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  
Fratura 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**