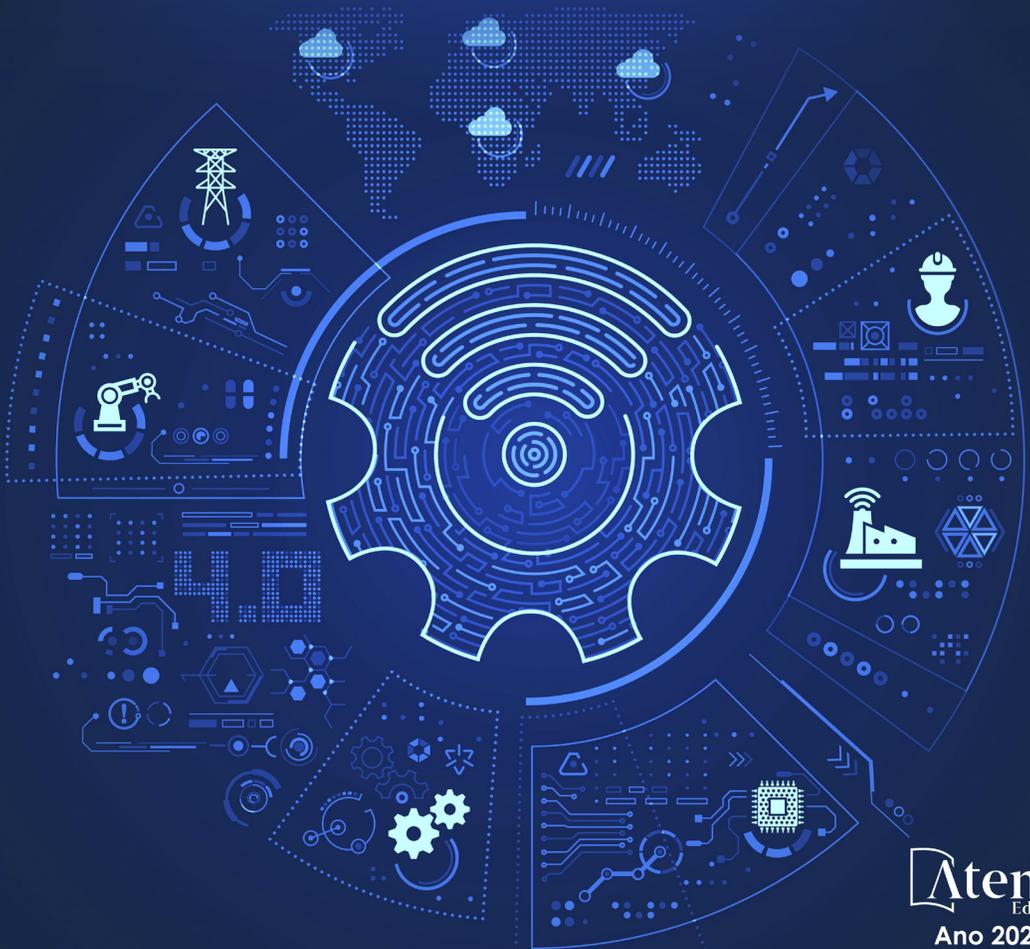


Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^o Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^o 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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^o Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^o Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^o Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^o Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0935-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.359231801 1. Engenharia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título. CDD 620
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Sabendo que a Atena Editora faz parte do grupo de instituições que incentivam a difusão de inovação científica, a mais nova coleção “Engenharias: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3” engloba pesquisa científica, aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica. Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas.

Atualmente, é necessário que os profissionais saibam discernir e transitar conceitos e práticas levando em consideração o viés humano e técnico. Diante desse contexto, este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Os mais diversos temas estão relacionados às áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Esta obra se mostra como fundamental, de abordagem objetiva, para todos os âmbitos acadêmicos e pesquisadores que busquem alavancar em conhecimento. Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

CAPÍTULO 1 1**A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS**

Milena dos Santos Silva

Luis Jorge Souza dos Anjos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318011>**CAPÍTULO 2 5****ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421**

Rodrigo José Costa Nóbrega

Emmanoel Guasti Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318012>**CAPÍTULO 330****ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR EDO E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO**

Cristian Comin

Adabiel Oleone da Silva

Jocelaine Cargnelutti

Vanderlei Galina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318013>**CAPÍTULO 439****APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Wanderbeg Correia de Araujo

Haron Calegari Fanticelli

Jose Oduque Nascimento de Jesus

Artur Saturnino Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318014>**CAPÍTULO 557****ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

João P. S. Bertocini

Ivan R. Chrun

Wagner Fontes Godoy

José Augusto Fabri

Francisco de Assis Scannavino Junior

Lucas Botoni de Souza

Emanuel Ignacio Garcia

Marta Rúbia Pereira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318015>

CAPÍTULO 677

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA

Danilo Luiz Santana Mapa
 Marcilio Sousa da Rocha Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318016>

CAPÍTULO 786

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE

Emanoel Silva de Amorim
 Kássia Benevides Martins Gomes
 Girlândia de Moraes Sampaio
 Paula dos Santos Cunha Boumann
 Diogo Cavalcanti Oliveira
 José Allef Ferreira Dantas
 Ana Maria Batista Farias
 Hugo Leonardo França Silva
 Thiago Araújo de Menezes
 Arthur Henrique Neves Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318017>

CAPÍTULO 897

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Eduardo Montoya Botero
 George Fernandes Azevedo
 Hernán Eduardo Martinez Carvajal
 Edwin Fabian Garcia Aristizabal
 Newton Moreira de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318018>

CAPÍTULO 9 107

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima
 Deborah Grasielly Cipriano da Silva
 Ana Luíza Xavier Cunha
 Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
 Felipe Bezerra de Lima
 Jackson José dos Santos
 Eyshila Paloma Costa de Brito
 Lucas Ítalo Santos Gomes
 Francisco das Chagas da Costa Filho

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
 José Dantas Neto
 Romildo Morant de Holanda
 Yêda Vieira Póvoas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318019>

CAPÍTULO 10.....121

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Carlos Triveño Rios
 Giselle Primo Samogin
 Debora Christina Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180110>

CAPÍTULO 11 132

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO

Camila Araújo Costa Lira
 Kamila de Lima Barbosa
 Tereza Raquel Pereira Tavares
 Anayza Teles Ferreira
 Antonia Ingrid da Silva Monteiro
 Maria Rayane Matos de Sousa Procópio
 Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes
 Amanda Caúla Fontenele
 Izabel Cristina de Almeida Silva
 Francisca Andressa Rabelo da Silva França
 Andreson Charles de Freitas Silva
 José Diogo da Rocha Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180111>

CAPÍTULO 12.....141

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Alessandro Dias
 Maykon Aurélio Alves
 Natanael Oliveira
 Mayara dos Santos Amarante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180112>

CAPÍTULO 13.....161

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

Marcela Trojahn Nunes
 Fabiele Schaefer Rodrigues
 Jocenir Boita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180113>

CAPÍTULO 14..... 169

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030

Guilherme Pedroso
João Marcos Pavanelli
Raiana Schimer Soares
Célio Bermann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180114>

CAPÍTULO 15.....203

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Elias Enes de Oliveira
Melissa Alves Fernandes
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180115>

CAPÍTULO 16..... 215

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Diego Silva Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180116>

SOBRE A ORGANIZADORA225**ÍNDICE REMISSIVO.....226**

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Data de submissão: 19/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Carlos Triveño Rios

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

Giselle Primo Samogin

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

Debora Christina Ramos

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

RESUMO: O presente trabalho tem por finalidade analisar a influência do tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço TENAX 300IM. Esse aço no estado recozido foi submetido a tratamentos térmicos de austenitização entre 990 e 1020 °C, tempera em óleo, duplo revenido em 545, 605, 610, 615 e 625 °C, por um tempo de 2+2 horas. A caracterização estrutural foi realizada por difração de raios-X, e, as propriedades mecânicas foram realizadas por medidas de dureza Rockwell-C, medidas de energia de impacto em amostras com e sem entalhe e por medidas de limite de escoamento compressivo. Os resultados mostram que

a estrutura das amostras temperadas é constituída por fases metaestáveis e após duplo revenido houve precipitação de carbonetos do tipo MC, M₂C e M₆C. Com diminuição da temperatura de revenido houve aumento de dureza e uma queda no limite de escoamento e com aumento da temperatura de revenido houve tendência de aumento da energia de impacto.

PALAVRAS-CHAVE: Aço ferramenta, TENAX 300IM, Tenacidade.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND STEEL STRUCTURE 300 IM TENAX

ABSTRACT: The present work has by objective to analyze the influence of the heat treatment on the mechanical properties of 300IM TENAX steel. This steel in the annealed state was subjected to heat treatments of austenitizing between 990 and 1020 °C, quench in oil, double tempered at 545, 605, 610, 615, and 625 °C, for a time of 2+2 hours. The structural characterization was performed by X-ray diffraction, and the mechanical properties were performed by Rockwell-C hardness measurements, impact energy measurements in samples with and without notch, and compressive

yield limit measurements. The results show that the structure of the temperate samples consists of a metastable phase and after double tempering there was precipitation of MC, M_2C and M_6C carbides. With decrease of tempering temperature there was increase of hardness and a decrease in the compressive yield limit and with increase of the temperature of tempering there was tendency of increase of the impact energy.

KEYWORDS: Tool steel, 300IM TENAX, Toughness.

1 | INTRODUÇÃO

Aços de alta qualidade são utilizados para a fabricação de ferramentas aplicada para operações de conformação e corte de metais. São geralmente aços complexos de alta liga, contendo quantidades relativamente grandes de tungstênio, molibdênio, vanádio ou cromo. Os conteúdos desses elementos de liga tornam esses aços desejáveis para aplicações que requerem alta resistência, alta tenacidade e alta dureza [1]. Segundo a “American Iron and Steel Institute – AISI”, os aços ferramenta, do grupo H, para trabalho a quente, são divididos em três subgrupos; aços ferramenta; ao cromo, ao tungstênio, e ao molibdênio [2]. Estes aços são utilizados para forjamento a quente, extrusão, e em matrizes de fundição [3].

Aços ferramenta ao cromo possuem excelente resistência ao impacto e amolecimento em altas temperaturas e à fadiga térmica. Este tipo de aço é utilizado em processos de forjamento e de fundição sob pressão. Para tal, deve possuir uma concentração média de carbono e cromo entre 3 a 5%. O teor médio de carbono e cromo promove bom compromisso entre tenacidade e dureza, assim como reduz a formação de camadas de óxidos durante tratamentos térmicos. A resistência sob elevadas temperaturas é obtida por têmpera onde dispersões finas e estáveis de ligas de cromo e vanádio precipitam e estes carbonetos engrossam lentamente [2]. Aços ferramenta de tungstênio para trabalho a quente têm maior dureza a quente em relação aos demais aços ferramenta de trabalho a quente, além de terem uma excelente resistência ao amolecimento em operações de trabalho a quente [2]. Aços ferramenta de molibdênio para trabalho a quente têm propriedades intermediárias comparadas aos ligados ao cromo e tungstênio e, portanto, oferece uma escolha alternativa, dependendo da disponibilidade e custo [2].

Um dos aços de ferramentas de alta qualidade que pode ser usado em vários processos de fabricação a quente e a frio é o aço TENAX 300IM, que é uma variação do aço AISI H11. Tem baixo teor de Si em torno de 0,3% menor que do aço H11 que tem 1,0% de Si. Além disso, tem baixo teor de carbono e alto teor de cromo em comparação com outros aços de ferramentas e, portanto, é considerado como um aço ao cromo a quente. Este aço possui uma tenacidade melhorada frente a aços H11, alta resistência e boa ductilidade. Por conseguinte, muito apropriado para a fabricação de algumas ferramentas especiais, incluindo trem de pouso de aeronave e pás de rotor de helicóptero e eixos [4,5].

O aço TENAX 300IM, pode ser usado em ambientes de alta tensão, tal como

forja a quente, extrusão a quente, fundição sob pressão, etc. Durante essas operações de fabricação, vários mecanismos de danos atuam simultaneamente para produzir danos cumulativos à ferramenta e causam desvios crescentes da geometria original da ferramenta devido ao desgaste, micro-lascamento, ou quebra parcial ou total da ferramenta [6].

Apesar de existir uma literatura extensa sobre as alterações nas propriedades mecânicas e estruturais de aços H11 ou H13 por modificação no teor de Si [7-11]. O presente trabalho tem por finalidade contribuir um pouco mais na avaliação das propriedades mecânicas e estruturais do aço TENAX 300IM resultante de tratamentos térmicos de austenitização, tempera e duplo revenido.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O aço TENAX 300IM, foi fornecido pela Empresa Villares Metals no estado recozido em 760 °C por uma hora. Esse material foi cortado em 36 corpos de prova de 60x12x12 mm das quais foram obtidas amostras para as diferentes caracterizações.

Os corpos de prova foram austenetizados em 990, 995, 1010 e 1020 °C por um tempo 30 minutos, seguido de tempera em óleo sob agitação na temperatura de 70 °C, e posterior duplo revenido em 545, 605, 610, 615, e 625 °C, por um tempo de 2+2 horas. Todos os tratamentos térmicos foram realizados num forno tipo Mufla elétrico à vácuo (marca Linn Elektro Therm, modelo LM 312 SO 1729). O resumo das amostras tratadas termicamente é apresentado na tabela 1.

Amostra	Operação			
	Austenitização (30 min)	Tempera	Duplo Revenido (2 + 2 horas)	Resfriamento
T990-2R605	990 °C	Óleo	605 °C	Ar
T995-2R610	995 °C	Óleo	610 °C	Ar
T995-2R625	995 °C	Óleo	625 °C	Ar
T995-2R545	995 °C	Óleo	545 °C	Ar
T1010-2R610	1010 °C	Óleo	610 °C	Ar
T1020-2R615	1020 °C	Óleo	615 °C	Ar

Tabela 1: Tratamentos térmicos do aço TENAX 300IM: austenitização, tempera e duplo revenido.

As amostras tratadas termicamente foram preparadas nas dimensões de 10x10x55 mm e 10x7x55 mm para ensaios de impacto em corpos de prova com entalhe de 2 mm e corpos de prova sem entalhe, respectivamente. O ensaio de Impacto de Charpy foi realizado segundo as especificações da North American Die Casting Association (NADCA), utilizando uma máquina de 800 Joules de capacidade (*JB-W800*). Os ensaios de compressão foram realizados a temperatura ambiente em corpos de prova de 6,0x5,0x9,8 mm, utilizando

um equipamento da Instron com capacidade de 100 kN (MTS - 810 – Flex Test 40). A velocidade de compressão da travessa foi 0,5 mm/min. As medidas de dureza Rockwell C foram realizadas utilizando o durômetro Digimes, modelo OSM B – com cone de diamante de 60°, utilizando uma pré carga de 10kgf e uma carga de impressão de 150kgf e o tempo de impressão foi de 15 segundos. Cada valor médio corresponde a seis medidas de dureza Rockwell C. A caracterização estrutural foi realizada em um difratômetro X'Pert Powder (PAN analytical) utilizando uma radiação Cu-K α (1,54056 Å), tensão de 40 kV e corrente de 40 mA. As varreduras foram realizadas na faixa angular de 35 a 85° (2 θ).

3 | RESULTADOS

Os resultados de difração de raios-X, apresentados na figura 1, mostram que a amostra recozida é constituída apenas pela fase ferrita-a, não se observando os picos da fase cementita (Fe₃C) de estrutura ortorrômbica, o que pode estar associado ao fenômeno de fluorescência no equipamento de DRX por utilizar tubos de ânodo de cobre que produz comprimentos de onda muito próximos ao do ferro [12]. Nas amostras temperadas em óleo, previamente tratadas por austenitização em 990 e 1020 °C se observa apenas presença da fase metaestável martensita-a' que estão em sobreposição com a fase ferrita-a. Essa sobreposição é associada ao fato de que a fase metaestável martensita-a, é, formada por ferrita-a saturada de carbono [13]. Outro fato que reforça a presença da martensita-a é de que os picos são menos intensos e de maior largura que da amostra recozida, que apresenta uma estrutura mais estável. Segundo o diagrama de transformação por resfriamento contínuo (TRC) para o aço ferramenta TENAX 300IM, o início de transformação de austenita-g em martensita-a' ocorre em 329 °C, finalizando a transformação em torno de 120 °C. Sugerindo que a transformação de austenita em martensita é total.

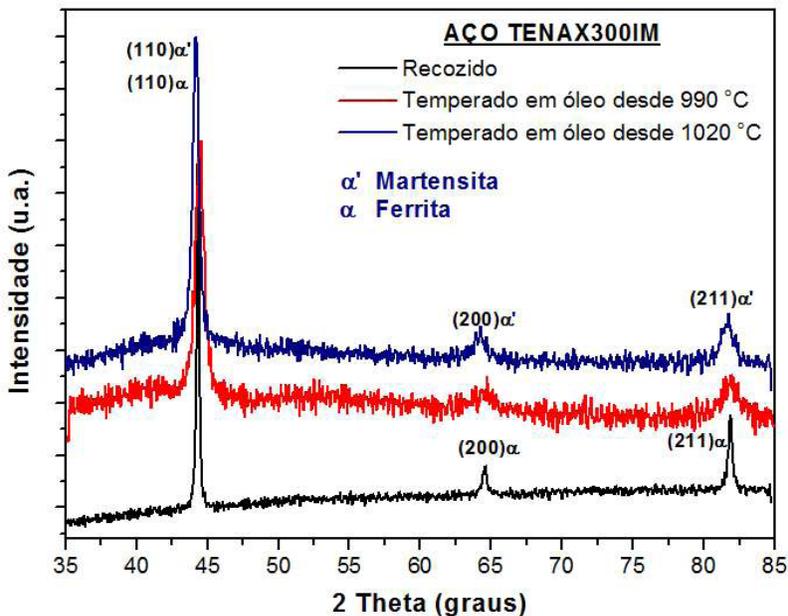


Figura 1: Padrões de DRX de amostras do aço TENAX 300IM na condição recozida e temperada em óleo de amostras austenitizadas em 990°C e 1020°C.

Nos padrões de DRX das amostras das figuras 2 e 3 se observa presença de carbonetos do tipo MC, M3C e M6C além da fase ferrita- α , diferente das amostras recozidas e temperadas em óleo, sugerindo que durante o tratamento de duplo revenido houve precipitação de carbonetos e perda do reticulado tetragonal da fase martensita metaestável. Nas amostras com variação da temperatura de austenitização e variação da temperatura de revenido (Figura 2), observa-se uma tendência de redução da fração de volume dos carbonetos com aumento da temperatura de austenitização e da temperatura de revenido, indicando que em temperaturas mais altas de austenitização há maior dissolução de carbonetos. Estes resultados também são observados para o grupo de amostras com temperatura de austenitização constante e variação da temperatura revenido (Figura 3), ou seja, com aumento da temperatura de revenido de 545 °C para 610 °C, há aumento da fração de volume de precipitação de carbonetos. Porém, um aumento na temperatura de revenido para 625 °C mostra picos menos intensos dos carbonetos, sugerindo que essa temperatura pode ocorrer mecanismos de recristalização e esferoidização dos carbonetos. Já na temperatura de revenido de 545 °C se observa presença da fase martensita α' junto a precipitados de carbonetos. Isso sugere que na temperatura de 545 °C a martensita não perde a totalidade do seu reticulado tetragonal, porém, já existe a precipitação de carbonetos.

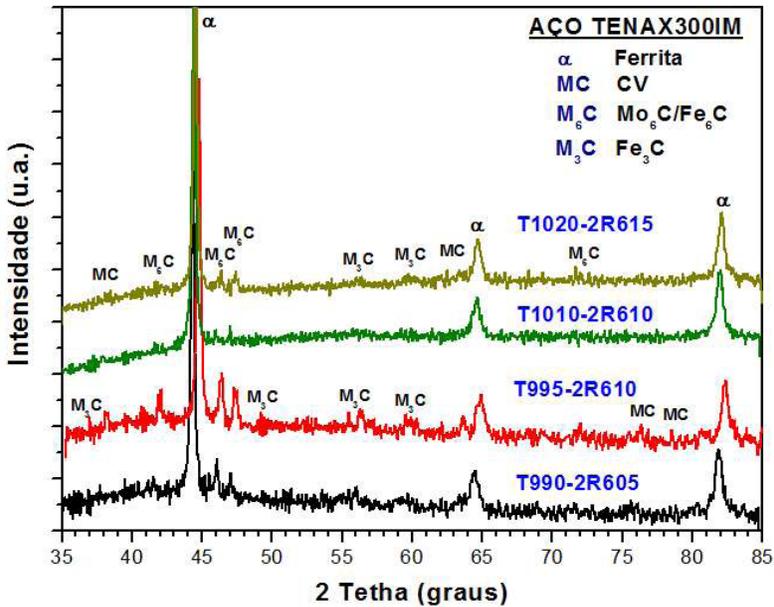


Figura 2. Padrões de DRX do aço TENAX 300IM em amostras com variação da temperatura de austenetização (990, 995, 1010 e 1020 °C) e variação da temperatura de revenido (605, 610, 615 e 620°C).

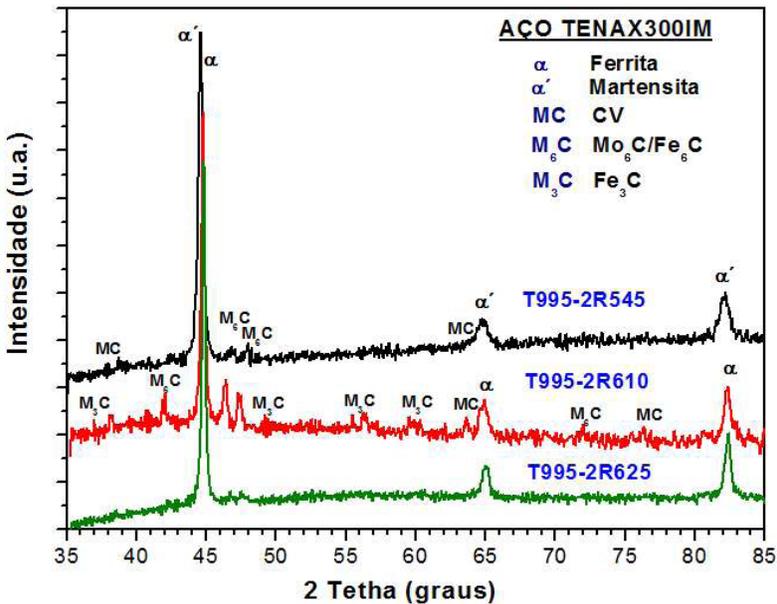


Figura 3. Padrões de DRX do aço TENAX 300IM em amostras austenetizadas em 995 °C com variação da temperatura de revenido (545, 610 e 625 °C).

Após os tratamentos térmicos de duplo revenido se realizou as medidas de dureza Rockwell C que são apresentados na figura 4. Observa-se que as amostras T990-2R605, T1010-2R610, T1020-2R615 e T995-2R610 apresentam um valor em torno de 43 HRC. Considerando os desvios padrão, esses valores de dureza sugerem, que os ciclos de tratamento térmico de austenitização em 990, 995, 1010, 1020 °C e revenido em 605, 610 e 615 °C, são adequados para operações de trabalho a quente de aços ferramenta, que requerem durezas em torno de 44 a 46 HRC. Já as amostras com ciclos térmicos de austenitização em 995 °C, revenida em baixa temperatura de 545 °C, e revenida em alta temperatura de 625 °C, exibem durezas em torno de 50 HRC e 39 HRC, respectivamente. A maior dureza pode estar associada à presença da fase martensita não transformada totalmente em carbonetos nem em ferrita. E a menor dureza pode estar associada a mecanismos de amaciamento como a recristalização. Indicando, que a temperatura de revenido de 545 e 625 °C não são adequados para obter uma dureza adequada para trabalho a quente.

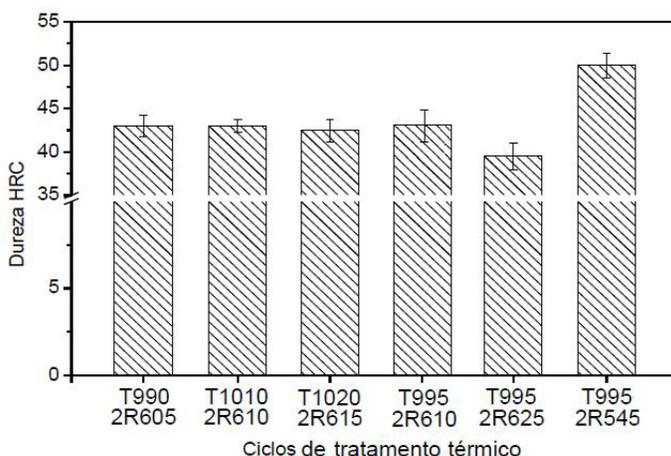


Figura 3. Dureza Rockwell-C em amostras austenitizadas em 990, 995, 1010 e 1020 °C e duplo-revenidas em 545, 605, 610, 615, e 625 °C.

Na figura 4 observa-se que existe uma diferença significativa de energia absorvida para um corpo de prova com e sem entalhe. Todos os corpos de prova sem entalhe não sofreram ruptura, justificando os valores acima de 300,0 J. Além disso, a energia absorvida durante o impacto das amostras sem entalhe é em média 14 vezes superior que das amostras com entalhe, isso devido a que as amostras com entalhe em V possuem um concentrador de tensões.

Na figura 4.a observa-se o grupo de amostras revenidas e austenitizadas com diferentes temperaturas, porém, que apresentaram dureza quase similar (T990-2R605, T995-2R610, T1010-2R610, T1020-2R615) foi observado que a amostra austenitizada

e revenida em menor temperatura (T990-2R605) apresentou a menor energia absorvida durante impacto na condição sem entalhe e com entalhe que é de $372,9 \pm 12,6$ J e $19,4 \pm 3,1$ J, respectivamente. Com aumento da temperatura de austenitização e de revenido se observa uma tendência de aumento na energia absorvida, sendo o máximo de $392,0 \pm 1,9$ J, e $30,6 \pm 1,1$ J, para as amostras sem e com entalhe respectivamente. Para esse grupo de amostras, os valores obtidos estão dentro do esperado, quando comparados com outros trabalhos [14]. Segundo Okuno T. [15] há um limite de temperatura de austenitização para obtenção de alta tenacidade. Passando esse limite os grãos austeníticos tornam-se grosseiros devido à dissolução dos carbonetos secundários por completo, o que resulta em baixa tenacidade e fragilização do material.

Na Figura 4.b observa-se o grupo de amostras austenitizadas na mesma temperatura com diferentes temperaturas de revenido, porém, que apresentam diferentes durezas (T995-2R610; T995-2R625; T995-2R545). Observou-se que a amostra de maior dureza, de menor temperatura de revenido (T995-2R545) exibe a menor energia absorvida durante o impacto na amostra com entalhe e sem entalhe. Como visto nos padrões de DRX (Figura 3), este comportamento deve-se à presença de martensita não revenida que exibe um comportamento frágil. Com aumento da temperatura de revenido (T995-2R610) há precipitação de carbonetos do tipo MC e M₂C e maior presença de martensita revenida, tornando o material de maior tenacidade. Um maior aumento da temperatura de revenido (T995-2R625) conduz a uma redução na tenacidade, o que pode estar associado a mecanismos de amaciamento como de recristalização, esferoidização de carbonetos de liga. Segundo R. A. Mesquita et al. [16], a redução do teor de silício em aço ferramenta do grupo H, acelera a formação da cementita e facilita a formação dos carbonetos de liga em menores temperaturas, dificultando o surgimento dos carbonetos finos e agulhados tipo M₂C, que precipitam apenas em alta temperatura. Os resultados mostrados indicam que tratamentos térmicos adequados de austenitização para o aço TENAX 300IM estão na faixa de 990 a 1020 °C, e duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C, que é diferente do aço ferramenta H11, onde é sugerido um duplo revenido em 550 °C [17].

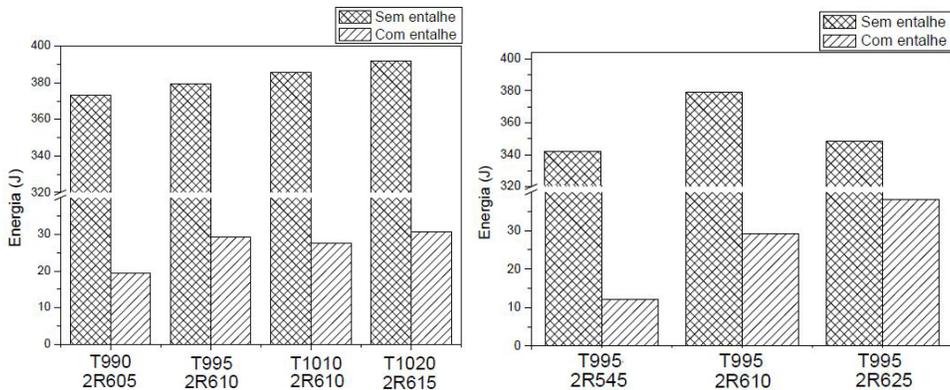


Figura 4. Variação da energia absorvida obtida por ensaios de Impacto em função da temperatura de tratamento de duplo revenido do aço TENAX 300IM

Os valores de limite de escoamento para 0,2% de deformação compressiva, obtidas de curvas de tensão-deformação são apresentadas na tabela 2. Observa-se que com aumento da temperatura de austenetização de 990 para 1010 °C e de revenido de 605 para 615 °C, o limite de escoamento se mantém em torno de 1380 MPa, comportamento que é concordante com os valores de dureza e a energia absorvida durante impacto. As amostras revenidas em menor temperatura (545 °C) com maior limite de escoamento (1863 MPa) e revenida em maior temperatura (625 °C) com o menor limite de escoamento (1160 MPa), também se mostram concordantes com os resultados da dureza Rocwell C e os valores de energia absorvida. Sugerindo de novo que os ciclos de tratamento térmico adequados para aços ferramenta a quente, do aço TENAX 300IM, esta na faixa de austenetização de 990 para 1020 °C, e duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C.

Amostra	Limite de escoamento compressivo, $\sigma_{0,2\%}$ (MPa)
T990-2R605	1385
T995-2R610	1378
T1010-2R610	1365
T1020-2R615	1390
T995-2R625	1160
T995-2R545	1863

Tabela 2: Limites de escoamento compressivo do aço TENAX 300IM para diferentes ciclos de tratamento térmico.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentados sugerem que a seleção do tratamento térmico para o aço ferramenta TENAX300IM® é de extrema importância para o seu emprego em

processos de conformação a quente. Esse tratamento térmico pode ser alcançado na faixa de temperaturas de austenitização de 990 para 1020 °C combinado a um duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C. Temperaturas maiores conduzem a um amolecimento e redução nos valores da tenacidade e temperaturas menores produzem estruturas fragilizantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Central de Multiusuários (UFABC) pelo apoio experimental, e ao Laboratório da Engenharia de Materiais (UFABC).

REFERÊNCIAS

- [1] Kaszynski J., Breitler R., How the Steelmaking Process Influences the Properties of Hot Work Die Steels, Technical Paper - Society of Manufacturing Engineers CM02-216 (2002) 1-12.
- [2] Kennedy, R.; Krauss, G.; Roberts, G.; **Tool Steels**. 5 Ed. ASM International, 1998.
- [3] Krauss, G.; **Steels Heat Treatment and Processing Principles**. The Materials Information Society - ASM International, 1990.
- [4] Davis J. R., **ASM Specialty Handbook: Tool Materials**, ASM Internat., Materials Park, Ohio, 1995.
- [5] Roberts G. A., Krauss G., **Tool Steels**, 5th edition, ASM for Metals, Metals Park, Ohio, 1998.
- [6] Fnides B., Yalles M. A., Aouici H., Hard Turning of Hot Work Steel AISI H11: Evaluation of Cutting Pressures, Resulting Force and Temperature, *Mechanic 72/4* (2008) 59-63.
- [7] Garrison Jr, W. M., Influence of silicon on strength and toughness of 5wt-%Cr secondary hardening steel. *Materials Science and Technology*, v. 3, n. 4, p. 256-9, April 1987.
- [8] Delagnes, D.; Lamesle, P.; Mathon, M.H.; Mebarki, N.; Levaillant, C. Influence of silicon content on the precipitation of secondary carbides and fatigue properties of a 5% Cr tempered martensitic steel. *Materials Science & Engineering A*, v. 394, n.1-2, p. 435-44, 2005.
- [9] Umino, M.; Sera, T.; Kondo, K.; Okada, Y.; Tubakino, H. Effect of silicon content on tempered hardness, high temperature strength and toughness of hot working tool steels. *Tetsu-to-Hagane*, v. 89, n. 6, p. 673-9, June 2003.
- [10] Ule, B.; Vodopivec, F.; Pristavec, M.; Gresovnik, F., Temper embrittlement of hot work die steel. *Materials Science and Technology*, v. 6, n. 12, p. 1181-5, Dec. 1990.
- [11] Mesquita, R.A.; Barbosa, C.A., Efeito do Si e P na tenacidade do aço H11, utilizado em ferramentas de trabalho a quente. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 61., 2006, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006. 1 CD ROM.
- [12] Pellizzari M., Rajendran I., Senthilkumar D.; Effect of treatment on the hardness and tensile behavior of AISI 4140 steel, 2011.

[13] Costa e Silva, A. L., Mei, P. R.; **Aços e ligas especiais**. Sumaré, SP. Editora Blucher, Villares Metals, 2010.

[14] Mesquita, R. A., *et. al.*; Aços ferramenta para trabalho a quente com baixo teor de Silício: caracterização e aplicações. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.4, n.4, p. 7-15. 2008.

[15] Okuno, T. Effect of microstructure on the toughness of hot work tool steels, AISI H13, H10 and H19. *Journal of the Iron and Steel Institute*, v. 27, n.1, p.51-59. Jan. 1987

[16] Mesquita R. A., Barbosa C. A., Gonçalves C. S., Kestenbach H. J., Aços ferramenta para trabalho a quente com baixo teor de silício: Caracterização e Aplicações, *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.4, n.4, 2008, p.7-15.

[17] Qamar S. Z., 5Heat Treatment and Mechanical Testing of AISI H11 Steel, *Key Engineering Materials Vols 656-657 (2015) pp 434-439*.

A

Acessibilidade arquitetônica 87

Aço ferramenta 121, 124, 128, 129

Análise avançada 77, 84, 85

Artificial intelligence 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 73, 74, 76

Autonomous vehicle 58, 59

Avaliação pós ocupação 87

B

Borra oleosa 39, 40, 41, 42, 46, 47, 53

C

Chuvas 98

Cinza de casca de arroz 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168

CO₂ emissions 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197

Competitividade 2, 141, 142, 150, 198

Cristobalita 161, 165, 167

D

Desafios 38, 141, 142, 143, 146, 147, 148, 151, 156, 158, 159, 204, 205

Desenvolvimento 2, 6, 7, 20, 30, 31, 37, 39, 43, 54, 87, 88, 95, 105, 120, 141, 142, 145, 147, 148, 159, 167, 198, 205, 206, 213

E

Eixo de menor inércia 77, 79, 81, 83, 84, 85

Electric vehicle 169, 171, 179, 200, 201

Empresa 1, 2, 39, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 109, 123, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 201

Energy consumption 169, 170, 174, 181, 182, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 195

Engenharia 6, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 29, 30, 31, 38, 54, 57, 85, 86, 87, 96, 106, 118, 119, 120, 121, 130, 132, 141, 142, 143, 144, 146, 157, 164, 168, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 219, 224, 225

Engenharia de Petróleo 203, 204, 205, 209, 210, 212, 213, 214

Ensino em engenharia 30

Envoltória curva 97, 98, 104

Equações diferenciais ordinárias 30

Ergonomia 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96

Escorregamentos 97, 98, 99, 100

Extração de fitoquímicos 133

F

Fator de segurança 12, 97, 98, 99, 102, 105

Fibra natural 108, 110

Fissuras 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

G

Geomecânica 101, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Gesso de fundição 107, 108, 110, 113, 115, 117

Gestão 1, 2, 3, 4, 38, 86, 119, 120, 141, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159

I

Impacto 14, 15, 17, 49, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 141, 142, 150

Índice de confiabilidade 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 79, 80, 84

Interdisciplinaridade 30, 37, 38

M

Macrometrópole Paulista 169, 172, 176, 197, 199

Matriz curricular 203, 209, 210

Mecânica das rochas 203, 204, 206, 208, 209, 210, 211

Método AHP 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 54

Método Monte Carlo 5, 10

Modos de falha 5, 8, 18

P

Patologias 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224

Polifenóis 133, 134, 136, 138, 139

Pórtico de aço 77

Precision agriculture 58, 65

Probabilidade de falha 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 77, 79, 80, 83, 84

Processos empresariais 1

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 122, 133, 134, 139, 144, 146, 148, 152, 154, 161, 162, 167, 218

R

Resíduos sólidos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 120

Resistência dos materiais 8, 9, 30, 31, 38

Resistência mecânica 108, 116, 117

S

SiO₂ 161, 165, 166, 167

Superfície de estado limite 5, 7

T

Tecnologias para o tratamento de borra oleosa 39

Tenacidade 121, 122, 128, 130

TENAX 300IM 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129

U

Unmanned aerial vehicle 58

Urban transport 169, 170, 198

ENGENHARIAS:

Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br