



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos

Elói Martins Senhoras
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos

Elói Martins Senhoras
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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 Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
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^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
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
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
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 Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia de produção: além dos produtos e sistemas produtivos

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Kimberlly Elisandra Gonçalves Carneiro
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Elói Martins Senhoras

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia de produção: além dos produtos e sistemas produtivos / Organizador Elói Martins Senhoras. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-890-8

DOI 10.22533/at.ed.908211503

1. Engenharia de Produção. I. Senhoras, Elói Martins (Organizador). II. Título.

CDD 670

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.

APRESENTAÇÃO

A evolução do campo técnico-científico da Engenharia de Produção está diretamente relacionada com a construção histórica das 4 Revoluções Industriais materializadas desde o século XVIII, o que influenciou de modo recíproco, tanto, na consolidação de novas ideias, técnicas e métodos, quanto, na emergência de novos desenvolvimentos das estruturas organizacionais e dos sistemas produtivos.

Contextualizado pela difusão de uma história de 4 séculos dos contemporâneos conhecimentos científicos do campo da Engenharia de Produção, o presente livro traz uma abordagem empírica nacional por meio de um conjunto de estudos que valorizam a produção científica brasileira em uma área de estudos que somente se desenvolveu com robustez a partir da segunda metade do século XX.

Partindo da centralidade que a Engenharia de Produção possui no desenvolvimento organizacional e produtivo, esta obra intitulada “Engenharia de Produção: Além dos Produtos e Sistemas Produtivos 1” combina uma série de conhecimentos, métodos e técnicas consolidadas internacionalmente por este campo científico ao longo do tempo com uma análise empírica fundamentada em estudos de caso da realidade brasileira.

O objetivo do presente livro é apresentar uma coletânea diversificada de estudos teóricos-empíricos sobre a realidade dos sistemas organizacionais e produtivos à luz de um olhar multidisciplinar próprio do campo de Engenharia de Produção que se manifesta pelas influências de diferentes conhecimentos de *soft e hard science*.

Os 20 capítulos apresentados neste livro foram construídos por um conjunto diversificado de profissionais, oriundos de diferentes estados das macrorregiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte do Brasil, os quais colaboram direta e indiretamente para a construção multidisciplinar do campo científico da Engenharia de Produção no país por meio de uma série de estudos sobre a realidade empírica da área.

A proposta implícita nesta obra tem no paradigma eclético o fundamento para a valorização da pluralidade teórica e metodológica, sendo este livro construído por meio de um trabalho coletivo de pesquisadoras e pesquisadores de distintas formações acadêmicas e expertises, o que repercutiu em uma rica oportunidade para explorar as fronteiras das discussões no campo da Engenharia de Produção.

A indicação deste livro é recomendada para um extenso número de leitores, uma vez que foi escrito por meio de uma linguagem fluída e de uma abordagem didática que valoriza o poder de comunicação e da transmissão de informações e conhecimentos, tanto para um público leigo não afeito a tecnicismos, quanto para um público especializado de acadêmicos interessados pelos estudos de Engenharia de Produção.

Excelente leitura!

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

UTILIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE APRENDIZAGEM ATIVA NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA: ESTUDO DE CASO DOS MAPAS MENTAIS

Edson Pedro Ferlin

Marcos Augusto Hochuli Shmeil

DOI 10.22533/at.ed.9082115031

CAPÍTULO 2..... 12

FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS PARA A INDÚSTRIA 4.0

Aline Eurich da Silva

Elis Regina Duarte

Gabriela Guilow

DOI 10.22533/at.ed.9082115032

CAPÍTULO 3..... 23

FORMAÇÃO EM ENGENHARIA PARA A INDÚSTRIA 4.0: APRENDENDO A PROTEGER E PROSPECTAR INFORMAÇÕES DE REGISTROS DE PROGRAMAS DE COMPUTADOR

Vinícius de Castro Cruz Alarcão

Cristina Gomes de Souza

DOI 10.22533/at.ed.9082115033

CAPÍTULO 4..... 35

CONTRIBUIÇÃO DO ENSINO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO À ERRADICAÇÃO DA FOME

Carlos Roberto Franzini Filho

Adiloderne Nogueira Souza Filho

Alexandre Tavares Soares

Andreza Benatti B. Cassettari

DOI 10.22533/at.ed.9082115034

CAPÍTULO 5..... 47

PROCUREMENT 4.0: IMPACTOS, OPORTUNIDADES E TENDÊNCIAS

Robson Elias Bueno

Helton Almeida dos Santos

Rodrigo Carlo Tolo

Silvia Helena Bonilla Mosca

DOI 10.22533/at.ed.9082115035

CAPÍTULO 6..... 60

ANALISE DE SÉRIES TEMPORAIS: PREVISÃO ANUAL DA DEMANDA DE SOJA NO ESTADO DE GOIÁS

Alysson Lourenço Rodrigues Lima

Lidia Christine Silva Oliveira

Yasmin Teodoro Martins

Rodrigo Silva Oliveira

Frederico Celestino Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.9082115036

CAPÍTULO 7..... 63

THE EVOLUTION OF THE BRAZILIAN SUPPLYING ELECTRIC ENERGY MATRIX
CONSIDERING THE INCLUSION OF RENEWABLE SOURCES IN A HYDROTHERMAL
SYSTEM

Francisco Alexandre Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.9082115037

CAPÍTULO 8..... 82

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA TFM E CFD-DEM
APLICADOS EM LEITO FLUIDIZADO

Fernando Manente Perrella Balestieri

Carlos Manuel Romero Luna

Ivonete Ávila

DOI 10.22533/at.ed.9082115038

CAPÍTULO 9..... 88

PROCEDIMENTO DE REDUÇÃO DAS AVALIAÇÕES DO AHP POR TRANSITIVIDADE
DA ESCALA VERBAL DE SAATY

Luiz Octávio Gavião

Gilson Brito Alves Lima

Pauli Adriano de Almada Garcia

DOI 10.22533/at.ed.9082115039

CAPÍTULO 10..... 103

ANÁLISE CVL APLICADA A UMA ESCOLA PRESTADORA DE SERVIÇOS DE ENSINO
PROFISSIONALIZANTE NO MUNICÍPIO DE MARABÁ, ESTADO DO PARÁ

Eliani da Silva Gama

Luanna Gomes Jesus

Nayara Côrtes Filgueira Loureiro

Davi Arthur Seixas da Silva

Iariane Carneiro Xavier

DOI 10.22533/at.ed.90821150310

CAPÍTULO 11..... 115

ANÁLISE DO CUSTO RELACIONADO AO PROCESSO DE RESFRIAMENTO UTILIZADO
NA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL

Bruno Aldrighi Silveira

Régis da Silva Pereira

DOI 10.22533/at.ed.90821150311

CAPÍTULO 12..... 121

CONTRASTAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS MÉTODOS DE CUSTEIO ABC E UEP:
VANTAGENS E DESVANTAGENS EM SUA IMPLANTAÇÃO

Lidia Christine Silva Oliveira

Yasmin Teodoro Martins

Rodrigo Silva Oliveira

Márcio Alexandre Fischer
Lissandra Andréa Tomaszewski
DOI 10.22533/at.ed.90821150312

CAPÍTULO 13..... 126

A PÓS-VENDA ANALISADA SOB A LUZ DE FERRAMENTAS DE QUALIDADE EM UMA EMPRESA DE LEGALIZAÇÃO DE ESTRANGEIROS

Tayná de Oliveira Santos
Maria Inês Vasconcellos Furtado

DOI 10.22533/at.ed.90821150313

CAPÍTULO 14..... 143

ESTUDO SOBRE O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) EM UMA INDÚSTRIA DE SUCOS

Bruna Grassetti Fonseca
Ana Paula Silva Saldanha
Audrey Ranna Alves Martins
Letícia Caldeira de Paula

DOI 10.22533/at.ed.90821150314

CAPÍTULO 15..... 157

RETORNO ELÁSTICO DO AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA DP 600

Christyane Oliveira Leão Almeida
Luís Henrique Lopes Lima
Gilyane Oliveira Leão Almeida
Marcelo dos Santos Pereira

DOI 10.22533/at.ed.90821150315

CAPÍTULO 16..... 163

PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM EQUIPAMENTOS DO LABORATÓRIO DE FARMÁCIA – UFAM – ICET

Laira Melo da Cunha
Midiane Stéfane Maquiné Matos
Keyciane Rebouças Carneiro
Jefferson da Silva Coelho

DOI 10.22533/at.ed.90821150316

CAPÍTULO 17..... 177

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS PREVENCIÓNISTAS NA MELHORIA CONTINUA DO GERENCIAMENTO DE RISCOS

Túlio Henrique Silva Costa
Vinicius José Appolloni

DOI 10.22533/at.ed.90821150317

CAPÍTULO 18..... 189

ANÁLISE DOS RISCOS FÍSICOS: RUÍDO E VIBRAÇÃO EM MOTOCOVEADOR MANUAL

José Antonio Poletto Filho
Joao Eduardo Guarnetti dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.90821150318

CAPÍTULO 19.....203

TREINAMENTO PSICOFÍSICO LÚDICO COM ESTIMATIVA MANUAL DE PESO

Adakrishna Sampaio Saraiva Bitencourte

Renata Lopes Pacheco

DOI 10.22533/at.ed.90821150319

CAPÍTULO 20.....213

OTIMIZAÇÃO DA DOSE DE RUÍDO OCUPACIONAL UTILIZANDO O PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

Déborah Aparecida Souza dos Reis

Jorge von Atzingen dos Reis

Marcus Antonio Viana Duarte

DOI 10.22533/at.ed.90821150320

SOBRE O ORGANIZADOR.....225

ÍNDICE REMISSIVO.....226

PROCEDIMENTO DE REDUÇÃO DAS AVALIAÇÕES DO AHP POR TRANSITIVIDADE DA ESCALA VERBAL DE SAATY

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 08/01/2021

Luiz Octávio Gavião

Escola Superior de Guerra (ESG)

Rio de Janeiro - RJ

<http://lattes.cnpq.br/6602808435828190>

Gilson Brito Alves Lima

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Niterói - RJ

<http://lattes.cnpq.br/2248567464602970>

Pauli Adriano de Almada Garcia

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Volta Redonda - RJ

<http://lattes.cnpq.br/3866888351512590>

RESUMO: O AHP é um método de apoio à decisão que requer a coleta de avaliações paritárias entre as variáveis do problema. Dependendo da estrutura hierárquica e da quantidade de variáveis do problema, o esforço demandado para a coleta desses julgamentos torna-se excessivo, envolvendo tempo e trabalho quase impraticáveis ao uso do método em problemas complexos. Este artigo traz um procedimento prático e simples para a redução desse esforço, tornando o AHP atrativo a casos reais. O procedimento proposto se fundamenta no princípio lógico da transitividade, aplicado à escala verbal do AHP. Os resultados indicaram que a proposta trouxe consistência lógica para as avaliações incompletas e, mesmo nos casos em

que a razão de consistência ultrapassou o limite aceitável de 10%, não seriam necessárias novas rodadas de julgamentos do avaliador.

PALAVRAS-CHAVE: AHP, Transitividade, Escala Verbal, Redução de Avaliações.

PROCEDURE FOR REDUCING AHP EVALUATIONS BY TRANSITIVITY OF THE SAATY VERBAL SCALE

ABSTRACT: AHP is a decision support method that requires the collection of pairwise evaluations between the variables of the problem. Depending on the hierarchical structure and the number of variables, the effort required to collect these judgments becomes excessive, involving a workload almost impracticable for using the method in complex problems. This article provides a practical and simple procedure for reducing this effort, making AHP attractive to real cases. The method is based on the transitivity of the AHP verbal scale. The results indicated that the proposed procedure brings logical consistency to incomplete evaluations and, even in cases where this consistency exceeded the threshold of 10%, new rounds of evaluations would not be necessary.

KEYWORDS: AHP, Transitivity, Verbal Scale, Judgement Reduction.

1 | INTRODUÇÃO

O Processo de Análise Hierárquica (AHP) tem sido utilizado no apoio à tomada de decisão nas mais diversas áreas do conhecimento (KUBLER et al., 2016; SINGH, 2016; EMROUZNEJAD; MARRA, 2017; HO; MA, 2018; ASADABADI; CHANG; SABERI, 2019; DARKO et al., 2019). Entre as principais vantagens do método destacam-se a possibilidade de lidar com dados quantitativos e qualitativos, a organização dos aspectos críticos de um problema por estrutura hierárquica, os resultados em pesos aos critérios e alternativas do problema, a validação interna através de um índice de consistência e a versatilidade na combinação com outras técnicas de Pesquisa Operacional para a solução de problemas complexos (GOYAL; KAUSHAL, 2018; JURENKA; CAGÁŇOVÁ; ŠPIRKOVÁ, 2019; TAHER; GUERMAH; NASSAR, 2019).

O AHP, entretanto, apresenta uma desvantagem marcante, relacionada à dimensão do problema (ISHIZAKA, 2012; ABDEL-BASSET; MOHAMED; SANGAIAH, 2018). A quantidade de avaliações paritárias em uma matriz recíproca de “ n ” variáveis requer a quantidade equivalente a $(n^2-n)/2$ julgamentos, visto que, por lógica, os demais elementos dessa matriz podem ser determinados sem avaliações adicionais: a diagonal principal é unitária (cada variável equivale a ela mesma) e cada avaliação a_{ij} gera um elemento recíproco a_{ji} ($a_{ji} = 1/a_{ij}$). Por exemplo, nove variáveis exigem 36 avaliações paritárias.

Esse contexto das avaliações no AHP ganha complexidade, se considerada uma estrutura hierárquica de vários critérios, subcritérios ou alternativas. A existência de diferentes níveis e variáveis nessa estrutura provoca uma quantidade significativa de avaliações. Cada nível hierárquico gera uma matriz de avaliações que precisa ser julgada para cada critério do nível superior. Por exemplo, um problema do AHP delineado com um nível superior de três critérios, cada um com quatro subcritérios e cinco alternativas exigirá três avaliações paritárias aos critérios, mais 3 vezes 6 (18) aos subcritérios e 4 vezes 10 (40) às alternativas, totalizando 61 julgamentos por respondente.

Certamente, quanto maior o número de comparações paritárias independentes realizadas pelo avaliador, mais informação ele fornece. Entretanto, quantidades elevadas de avaliações paritárias podem ser mentalmente extenuantes ao respondente, prejudicando a qualidade dos seus julgamentos. Em problemas do mundo real, o agente responsável pela tomada de decisão pode não dispor de tempo para efetuar essa tarefa, exigindo a descentralização das avaliações para um grupo de subordinados que podem expressar resultados diferentes do seu (MUNIER; HONTORIA; JIMÉNEZ-SÁEZ, 2019). Podem existir ocasiões em que o apoio de analistas e especialistas se mostre indesejável sob o ponto de vista gerencial, por gerar soluções, consumo de tempo e de recursos que não reflitam as verdadeiras necessidades e desejos da instituição responsável pela tomada de decisão. Além disso, uma quantidade elevada de avaliações paritárias pode exigir nova rodada de avaliações, dada a dificuldade de manutenção da razão de consistência (CR) no

limite aceitável do AHP. Assim, é possível assumir que problemas complexos em grandes corporações ou órgãos da administração pública apresentariam considerável dificuldade de solução com o AHP.

Um caso recente sobre essa dificuldade pode ter sido vivenciado pela Marinha do Brasil, durante o processo de escolha do consórcio vencedor para o projeto de construção das novas Fragatas da classe “Tamandaré”. Recentemente, um *press release* da Marinha confirmou o uso de metodologia de apoio à decisão multicritério, para a análise das propostas em 215 critérios, dispostos em estrutura matricial, cujo primeiro nível era formado por quatro macro critérios: desempenho do navio, ciclo de vida, modelo de negócio e participação da indústria nacional (BRASIL, 2019). Considerando uma estrutura hierárquica ao problema e a hipótese de sua modelagem com o AHP, é possível inferir a dificuldade de coleta de dados e análise para os diversos *stakeholders* envolvidos.

O procedimento simplificado aqui apresentado propõe uma significativa redução da quantidade de avaliações. Ao invés das $(n^2-n)/2$ avaliações paritárias para cada matriz, apenas $(n-1)$ são suficientes. Por exemplo, no caso anterior que exigiria 61 julgamentos, seriam necessárias somente duas avaliações paritárias aos critérios, mais nove aos subcritérios e 16 às alternativas, totalizando 27 avaliações. Isto corresponde a menos da metade das avaliações. Em problemas complexos com o AHP, que exijam estruturas hierárquicas com múltiplos níveis e quantidades de critérios, subcritérios e alternativas, essa proposta se torna especialmente relevante, por garantir menos tempo e trabalho para a coleta de dados junto aos avaliadores. No citado processo da Marinha, que durou 15 meses, a etapa de apoio à decisão multicritério poderia ter contribuído de melhor forma, no sentido de reduzir o tempo de processamento e de eliminar eventual retrabalho com novas rodadas de avaliações paritárias (BRASIL, 2019).

Outro resultado interessante obtido nesta pesquisa foi verificar a redução da CR com o aumento de “ n ”. (SAATY, 1977) propôs a CR para validar a coleta dos dados em relação à lógica do julgamento das variáveis, estabelecendo um valor limite de aceitabilidade do processo em 10%. Segundo [Asadabadi et al 2019], quando o número de elementos a serem comparados aumenta, a CR frequentemente excede esse patamar. Em decorrência disto, alguns autores têm proposto limites mais relaxados (AGUARÓN; MORENO-JIMÉNEZ, 2003; RAHARJO; ENDAH, 2006; MARTIN; KOYLASS; WELCH, 2018), com a finalidade de evitar o retrabalho com novas rodadas de coleta de dados e cálculos. Neste artigo se verificou o contrário, pois os CR inferiores a 0,1 foram cada vez mais frequentes na medida em que os testes eram efetuados com matrizes de ordem superior.

O artigo, apresentado no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO 2020), foi dividido em cinco seções. Após a seção introdutória, a 2ª Seção traz os principais estudos relacionados. A 3ª Seção detalha o procedimento proposto. A 4ª Seção apresenta uma validação ao procedimento de cálculo. Por fim a 5ª Seção conclui o artigo.

2 | TRABALHOS RELACIONADOS

A “escola” multicritério americana, de onde deriva o método AHP, estabelece relações de preferências em obediência à transitividade, enquanto a “escola” francesa propõe relações de sobre classificação, conforme se verifica nos métodos da família ELECTRE (GOMES; COSTA, 2015; ARAUJO; AMARAL, 2016; CARMO, 2017). A proposta aqui apresentada se baseia nessa característica da “escola” americana.

A literatura revela alguns trabalhos que buscaram soluções ao problema da coleta incompleta de avaliações paritárias. Em Benítez et al. (2019), a teoria dos grafos foi explorada, com base nos estudos de Benítez et al. (2014, 2015). Kułakowski, Szybowski e Prusak (2019) também exploraram a teoria dos grafos, porém com poucos elementos incompletos na matriz a ser preenchida, o que ainda exige significativa quantidade de julgamentos. Em Srdjevic, Srdjevic e Blagojevic (2014), é proposto um método para preencher lacunas nas matrizes, também com base no princípio da transitividade, partindo do conhecimento de metodologias consolidadas (HARKER, 1987a, 1987b; VAN UDEN et al., 2002). Em Ergu et al. (2016), os autores propõem um modelo que estima as avaliações ausentes em uma matriz incompleta, estendendo o viés induzido pela média geométrica apresentada em Ergu et al. (2012). Em Bozóki, Csató e Temesi (2016), a abordagem buscou classificar tenistas profissionais nos últimos 40 anos, propondo resultados de partidas virtuais entre tenistas de gerações diferentes. Zhou et al. (2018) resolveram o problema de avaliações incompletas com auxílio do método DEMATEL.

A literatura também propõe estimar julgamentos incompletos a partir de algoritmos que lidam com problemas de incerteza. Com essa perspectiva, Certa et al. (2013) e Hua, Gong e Xu (2008) integraram o método AHP com a teoria das evidências Dempster-Shafer (SHAFER, 1976), usando uma abordagem mista Dempster-Shafer-AHP (BEYNON; CURRY; MORGAN, 2000). Esse método permite lidar com a incerteza dos especialistas e determinar as relações de preferência entre as alternativas de decisão. Dong, Li e Zhang (2015) propuseram o preenchimento de informações de preferência ausentes com base na lógica fuzzy, focando o estudo em problemas de apoio à decisão multicritério em grupos, em que alternativas de preferência são expressas por números fuzzy triangulares.

A transitividade aqui explorada se refere às variáveis da escala verbal de Saaty. Outros trabalhos também buscaram uma solução ao problema com base nesse princípio. Em Temesi (2019) são realizadas sessões de entrevistas com os avaliadores para identificar preferências que permitam identificar a transitividade. O autor propõe diferentes estratégias para a coleta de dados, que envolvem certa quantidade de interações junto aos avaliadores, gerando maior demanda que a proposta aqui apresentada.

3 | PROCEDIMENTO PROPOSTO

A proposta deste artigo é trazer um procedimento para completar as avaliações paritárias inexistentes com base em equivalências lógicas, em aderência à propriedade transitiva de um argumento lógico. Por exemplo, essa propriedade entre três variáveis “p”, “q” e “r” é verificada se $p = q \wedge q = r$ então $p = r$. Qualquer relação diferente da equivalência entre as variáveis “p” e “r” indica uma inconsistência lógica. As etapas do procedimento proposto são descritas na Fig. 1.

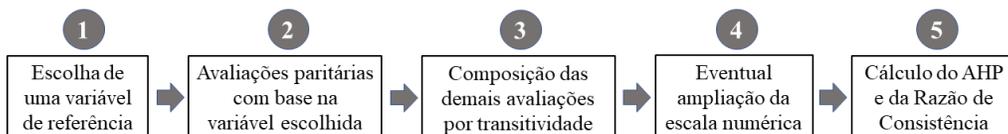


Fig. 1 Metodologia

As etapas preliminares do AHP não foram aqui consideradas, por serem comuns em qualquer problema que envolve aquele método. Isto inclui, principalmente, a determinação e descrição do objetivo e da estrutura hierárquica de critérios, subcritérios e alternativas capazes de solucionar o problema de pesquisa.

Definida a estrutura hierárquica, o passo seguinte do AHP envolve a coleta de dados. Para cada nível hierárquico é constituída uma matriz recíproca, que deve ser avaliada em relação a cada variável do nível imediatamente superior. A estrutura hierárquica genérica da Fig. 2 permite ilustrar esse procedimento. Para o nível das quatro alternativas A, B, C e D, são necessárias as avaliações paritárias de A em relação a B, a C e a D, da variável B em relação a C e D, e da variável C em relação a D, de forma a completar os valores da matriz recíproca. Essas avaliações precisam ser efetuadas em duas rodadas, uma para o Critério 1 e outra para o Critério 2.

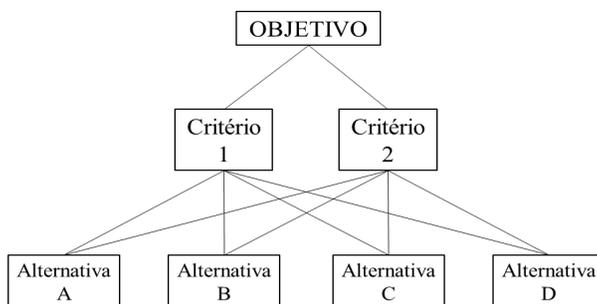


Fig. 2 Estrutura hierárquica genérica

Para a descrição das etapas indicadas na Fig. 1, será considerada a avaliação paritária das alternativas A, B, C e D sob o Critério 1. Na Etapa 1 do procedimento proposto, o avaliador seleciona uma dessas variáveis, com base em seu conhecimento e experiência do problema de pesquisa ou apenas por desejo de julgar determinada variável. Supomos aqui que o avaliador escolheu a Alternativa B.

Na Etapa 2, as avaliações paritárias são realizadas somente para a variável escolhida na etapa anterior. Na Fig. 3 é possível observar o procedimento gráfico de preenchimento das avaliações da Alternativa B. Considerando a escala verbal de Saaty, com os nove pontos originais, inicia-se com a inclusão da Alternativa B na célula central, que indica a sua equivalência com ela mesma. Em seguida são alocadas as Alternativas A, C e D nas células que correspondem às avaliações paritárias. As setas indicam o sentido da leitura de cada avaliação paritária: em relação ao Critério 1, a Alternativa B é pouco menos importante que a Alternativa A, pouco mais importante que a Alternativa C e extremamente mais importante que a Alternativa D. Os valores indicados na escala numérica são então transportados para a linha correspondente da matriz de avaliações paritárias, conforme indicado no canto inferior direito da Fig. 3.

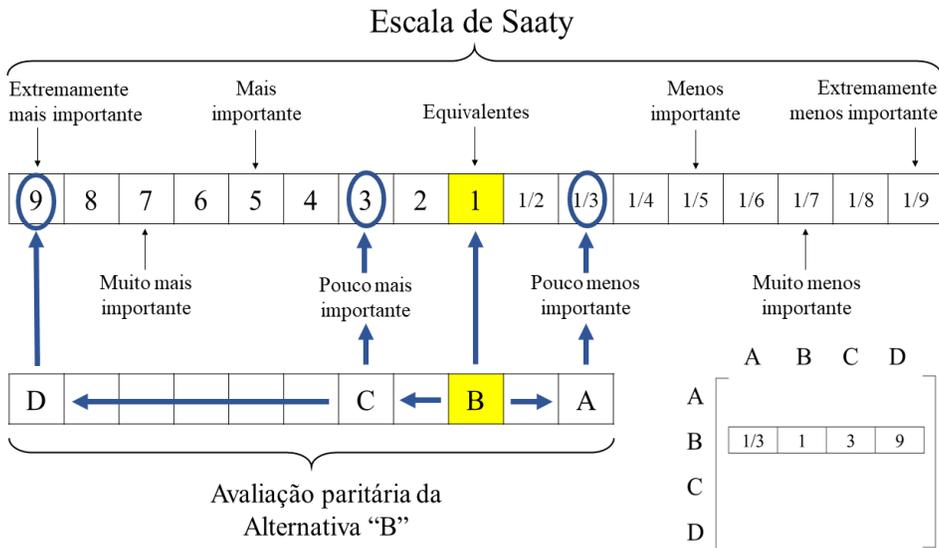


Fig. 3 Ilustração das avaliações da Alternativa B

Na Etapa 3, as demais avaliações paritárias são compostas com base no princípio de transitividade, aplicado com referência à escala verbal de Saaty. Na Fig. 4 é possível observar a aplicação desse princípio para o preenchimento das avaliações das Alternativas A, C e D. Com base na coluna de avaliações equivalentes, são mantidas as mesmas

distâncias “linguísticas” entre a variável considerada e as demais. Por exemplo, se o avaliador julgou que a Alternativa B era pouco menos importante que a Alternativa A, por lógica, a Alternativa A é pouco mais importante que a Alternativa B. Esse procedimento é simplificado graficamente se “copiamos” a linha de avaliações de B e “colamos” nas linhas subjacentes, considerando o posicionamento da alternativa considerada na coluna de avaliações equivalentes. Em síntese, o preenchimento das avaliações A, C e D é basicamente um procedimento gráfico, sem a necessidade de julgamentos do avaliador.

A Etapa 4 também está representada na Fig. 4. Em decorrência da “distância” a ser mantida entre as avaliações A e D, surge a necessidade de inclusão de novos valores na escala numérica, para manter a lógica do processo. Por não exigir julgamentos do avaliador, não é necessária a criação de novas variáveis linguísticas, correspondentes aos valores 11, 10, 1/10 e 1/11 adicionados na escala. A matriz recíproca no canto inferior direito da Fig. 4 consolida as avaliações paritárias. Vale aqui ressaltar que essa matriz foi elaborada com base em apenas três julgamentos do avaliador.



Fig. 4 Composição das demais avaliações por transitividade da escala verbal

A Etapa 5 conclui o processo, com os cálculos dos pesos e da razão de consistência da matriz de avaliações paritárias. Para esses cálculos, foram aplicadas as Equações (1) a (6), propostas por (LIU; LIN, 2016).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}} \quad (2)$$

$$A^s = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1' \\ w_2' \\ \vdots \\ w_n' \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = (1/n) \times (w_1' / w_1 + w_2' / w_2 + \dots + w_n' / w_n) \quad (4)$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

$$CR = \frac{IC}{IR} \quad (6)$$

Razão da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Índice Aleatório (IR)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Tabela 1 – Índices Aleatórios

Fonte: adaptado de (BHASKAR; KUMAR; PATNAIK, 2019)

Em que:

A: matriz recíproca de avaliações paritárias;

a_{ij} : valor da avaliação paritária correspondente à escala de Saaty;

w_i : autovetor das alternativas (pesos dos critérios ou projetos);

λ_{\max} : autovalor máximo da matriz recíproca;

IC: Índice de Consistência;

CR: Razão de Consistência (*Consistency Ratio*);

IR: Índice Aleatório, calculado com base na tabela de referência com a razão da matriz (quantidade de linhas/colunas da matriz recíproca), conforme a Tabela 1.

4 | VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO

O procedimento proposto foi testado com matrizes de razão 3 a 6. O teste não prosseguiu para $n \geq 7$ por limitação computacional do software R. As possíveis avaliações paritárias para valor de “n” foram geradas por permutação com repetição. Por exemplo, para $n = 3$, um avaliador poderia efetuar o seu julgamento de $1 \times 17 \times 17$ maneiras diferentes, considerando as 17 pontuações entre 9 e $1/9$ da escala de Saaty. Assim, foram geradas as 289 avaliações possíveis para a matriz de razão 3, as 4.913 para a de razão 4, as 83.521 para a de razão 5 e as 1.419.857 para a de razão 6. Para cada possibilidade de avaliação gerada foi aplicado o procedimento proposto, sendo então preenchida a matriz recíproca correspondente. Finalmente, aplicaram-se as equações do AHP sobre todas as matrizes recíprocas.

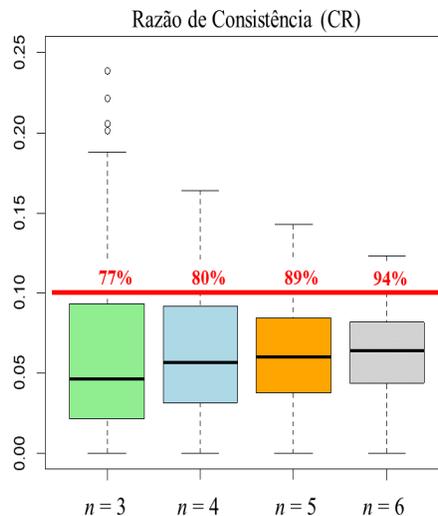


Fig. 5 Validação do procedimento

A validação do procedimento foi efetuada através dos CR das matrizes recíprocas, sendo elaborados gráficos de caixa para essa análise. Na Fig. 5 é possível observar que os CR dos quatro casos simulados foram concentrados nos três primeiros quartis, abaixo do limite de consistência lógica do AHP ($CR < 0,1$). A linha horizontal acima das caixas indica o $CR = 0,1$, com a designação dos quantis equivalentes em cada simulação: para $n = 3$, 77% das matrizes recíprocas geraram $CR < 0,1$, para $n = 4$ foram 80%, para $n = 5$ foram 89% e para $n = 6$ foram 94%.

Outro aspecto evidente no gráfico é a correlação positiva entre a quantidade de variáveis e a consistência lógica das matrizes recíprocas correspondentes. Embora não tenha sido possível gerar as 17^6 permutações para $n = 7$ (24.137.569 matrizes), é lícito

escolheu a Alternativa C como a de maior incerteza em seu julgamento. Os pontos vizinhos da escala de Saaty foram selecionados como os parâmetros extremos da Distribuição Triangular que tem o próprio valor da Alternativa C como moda. Dessa forma, mantém-se a ordem de preferência entre as alternativas, conforme estabelecida pelo avaliador. Em seguida foram simulados mil valores aleatórios para a Alternativa C, com base na distribuição triangular indicada, através do aplicativo “mc2d” do software R. Após os cálculos do AHP para as simulações, foi extraído o menor CR, que coincidiu com o valor de 0,1.

Os resultados se encontram na Tabela 2. Inicialmente as avaliações foram efetuadas com base na Alternativa A, à escolha do avaliador, indicando os valores 1, 0,1111, 0,25 e 9, respectivamente às Alternativas A, B, C e D, correspondentes à escala verbal de Saaty. O procedimento proposto neste artigo foi aplicado a esses valores, gerando o CR de 0,16, com os pesos respectivos para as alternativas. A linha final traz os resultados da simulação, com o CR igual a 0,1 e os pesos finais das alternativas. Verificou-se que a ordem de preferência das alternativas não foi alterada, embora se observe alguma variação em relação aos valores iniciais dos pesos. O mais importante nessa simulação, entretanto, foi obter um resultado logicamente consistente com apenas três avaliações paritárias e dois questionamentos, um inicial em relação à alternativa-base para as avaliações e, ao final, à que o avaliador considerara como a de maior incerteza durante o seu julgamento.

Alternativas/Pesos	CR	A	B	C	D
Avaliações iniciais (Alternativa A)	xxx	1	0,1111	0,25	9
Pesos obtidos inicialmente	0,16	0,0878	0,6841	0,2090	0,0189
Pesos finais após a simulação	0,10	0,1165	0,6993	0,1647	0,0194

Tabela 2 – Resultados da simulação

5 | CONCLUSÃO

O artigo buscou apresentar um procedimento capaz de lidar com a complexidade de avaliações do AHP, principalmente em problemas que envolvem estruturas hierárquicas com diversos níveis e quantidades significativas de variáveis. Problemas complexos do mundo real podem envolver estruturas dessa natureza, tornando quase impraticável a coleta completa de dados para uso do AHP. Nesse sentido, o procedimento mostrou-se prático e simples, com uma redução considerável do esforço demandado aos avaliadores, pois são necessários somente $n-1$ julgamentos para uma matriz recíproca de ordem n .

A proposta representa uma oportunidade e incentivo de uso do AHP em problemas complexos, pois proporciona melhores condições para que os agentes responsáveis pela decisão final possam efetivamente realizar os julgamentos do processo. Na prática, problemas de tal complexidade requerem diversos subordinados para apoiar a coleta de

dados, em decorrência da elevada demanda de tempo e trabalho sobre os avaliadores. Em grandes organizações públicas ou privadas não parece coerente alocar meses de trabalho exclusivo com Presidentes, Diretores ou Chefes Executivos para realizarem as avaliações paritárias do AHP.

O processo de validação do procedimento proposto também permitiu verificar a probabilidade de obter avaliações consistentes para matrizes de ordem 3 a 6. Os CR calculados para todas as permutações possíveis de valores da escala de Saaty indicaram que a consistência lógica é crescente com a ordem da matriz recíproca, o que contraria a dificuldade que julgadores encontram para avaliar quantidades superiores de variáveis. Para os eventuais casos em que ainda haja um $CR > 0,1$, foram ainda indicados procedimentos adicionais capazes de simular valores próximos aos avaliados, para reduzir o CR ao patamar de 10%. Uma simulação final permitiu mostrar a simplicidade para o reajuste das avaliações em busca da consistência lógica. Novos cálculos com matrizes de maior ordem (i.e. superiores a 6), em softwares que permitam a realização de mais de 20E06 operações e novas simulações para os resultados indesejáveis ao CR são os principais casos visualizados para o prosseguimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABDEL-BASSET, M.; MOHAMED, M.; SANGAIAH, A. K. Neutrosophic AHP-Delphi Group decision making model based on trapezoidal neutrosophic numbers. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 9, n. 5, p. 1427–1443, 2018.

AGUARÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M. The geometric consistency index: Approximated thresholds. **European journal of operational research**, v. 147, n. 1, p. 137–145, 2003.

ARAUJO, J. J. de; AMARAL, T. M. Aplicação do método ELECTRE I para problemas de seleção envolvendo projetos de desenvolvimento de software livre. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 11, n. 2, p. 121–137, 2016.

ASADABADI, M. R.; CHANG, E.; SABERI, M. Are MCDM methods useful? A critical review of Analytic Hierarchy Process (AHP) and Analytic Network Process (ANP). **Cogent Engineering**, v. 6, n. 1, p. 1623153, 2019.

BENÍTEZ, J. et al. Characterization of consistent completion of reciprocal comparison matrices. In: Abstract and Applied Analysis, **Anais...Hindawi**, 2014.

BENÍTEZ, J. et al. Consistent completion of incomplete judgments in decision making using AHP. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 290, p. 412–422, 2015.

BENÍTEZ, J. et al. Characterization of the consistent completion of analytic hierarchy process comparison matrices using graph theory. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 26, n. 1–2, p. 3–15, 2019.

BEYNON, M.; CURRY, B.; MORGAN, P. The Dempster–Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modelling. **Omega**, v. 28, n. 1, p. 37–50, 2000.

BHASKAR, S.; KUMAR, M.; PATNAIK, A. Application of Hybrid AHP-TOPSIS Technique in Analyzing Material Performance of Silicon Carbide Ceramic Particulate Reinforced AA2024 Alloy Composite. **Silicon**, p. 1–10, 2019.

BOZÓKI, S.; CSATÓ, L.; TEMESI, J. An application of incomplete pairwise comparison matrices for ranking top tennis players. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 211–218, 2016.

BRASIL. Projeto “Classe Tamandaré”: Marinha do Brasil seleciona a melhor oferta. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/cct_val_001.pdf>.

CARMO, P. F. B. do. Modelos e técnicas de tomada de decisão em análise multicritério -aplicações em avaliação de imóveis. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: XIX COBREAP, 2017. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/073.pdf>>.

CERTA, A. et al. A multistep methodology for the evaluation of human resources using the evidence theory. **International journal of intelligent systems**, v. 28, n. 11, p. 1072–1088, 2013.

DARKO, A. et al. Review of application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in construction. **International Journal of Construction Management**, v. 19, n. 5, p. 436–452, 2019.

DONG, M.; LI, S.; ZHANG, H. Approaches to group decision making with incomplete information based on power geometric operators and triangular fuzzy AHP. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 21, p. 7846–7857, 2015.

EMROUZNEJAD, A.; MARRA, M. The state of the art development of AHP (1979–2017): A literature review with a social network analysis. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 22, p. 6653–6675, 2017.

ERGU, D. et al. Data consistency in emergency management. **International Journal of Computers Communications & Control**, v. 7, n. 3, p. 450–458, 2012.

ERGU, D. et al. Estimating the missing values for the incomplete decision matrix and consistency optimization in emergency management. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 1, p. 254–267, 2016.

GOMES, C. F. S.; COSTA, H. G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. **Production**, v. 25, n. 1, p. 54–68, 2015.

GOYAL, R. K.; KAUSHAL, S. Deriving crisp and consistent priorities for fuzzy AHP-based multicriteria systems using non-linear constrained optimization. **Fuzzy Optimization and Decision Making**, v. 17, n. 2, p. 195–209, 2018.

HARKER, P. T. Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 11, p. 837–848, 1987a.

HARKER, P. T. Alternative modes of questioning in the analytic hierarchy process. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 353–360, 1987b.

HO, W.; MA, X. The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 267, n. 2, p. 399–414, 2018.

HUA, Z.; GONG, B.; XU, X. A DS–AHP approach for multi-attribute decision making problem with incomplete information. **Expert systems with applications**, v. 34, n. 3, p. 2221–2227, 2008.

ISHIZAKA, A. Clusters and pivots for evaluating a large number of alternatives in AHP. **Pesquisa Operacional**, v. 32, n. 1, p. 87–102, 2012.

JURENKA, R.; CAGÁŇOVÁ, D.; ŠPIRKOVÁ, D. Application of AHP Method in Decision-Making Process. In: **Smart Technology Trends in Industrial and Business Management**. [s.l.] Springer, 2019. p. 3–15.

KUBLER, S. et al. A state-of-the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. **Expert Systems with Applications**, v. 65, p. 398–422, 2016.

KUŁAKOWSKI, K.; SZYBOWSKI, J.; PRUSAK, A. Towards quantification of incompleteness in the pairwise comparisons methods. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 115, p. 221–234, 2019.

LIU, C. H.; LIN, C.-W. R. The Comparative of the AHP Topsis Analysis Was Applied for the Commercialization Military Aircraft Logistic Maintenance Establishment. **International Business Management**, v. 10, n. 4, p. 6428–6432, 2016.

MARTIN, H.; KOYLASS, J.; WELCH, F. An exploration of the consistency limits of the analytical hierarchy process and its impact on contractor selection. **International Journal of Construction Management**, v. 18, n. 1, p. 14–25, 2018.

MUNIER, N.; HONTORIA, E.; JIMÉNEZ-SÁEZ, F. Analysis of Lack of Agreement Between MCDM Methods Related to the Solution of a Problem: Proposing a Methodology for Comparing Methods to a Reference. In: **Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making**. [s.l.] Springer, 2019. p. 203–219.

RAHARJO, H.; ENDAH, D. Evaluating relationship of consistency ratio and number of alternatives on rank reversal in the AHP. **Quality Engineering**, v. 18, n. 1, p. 39–46, 2006.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

SHAFER, G. **A mathematical theory of evidence**. [s.l.] Princeton university press, 1976. v. 42

SINGH, B. Analytical hierarchical process (AHP) and fuzzy AHP applications-A review paper. **International Journal of Pharmacy and Technology**, v. 8, n. 4, p. 4925–4946, 2016.

SRDJEVIC, B.; SRDJEVIC, Z.; BLAGOJEVIC, B. First-level transitivity rule method for filling in incomplete pair-wise comparison matrices in the analytic hierarchy process. **Applied Mathematics & Information Sciences**, v. 8, n. 2, p. 459, 2014.

TAHER, M.; GUERMAH, H.; NASSAR, M. MCDM method for Financial Fraud Detection: A review. In: Proceedings of the 4th International Conference on Big Data and Internet of Things, **Anais...**2019.

TEMESI, J. An interactive approach to determine the elements of a pairwise comparison matrix. **Central European Journal of Operations Research**, v. 27, n. 2, p. 533–549, 2019.

VAN UDEN, E. et al. Estimating missing data in pairwise comparison matrices. **Operational and systems research in the face to challenge the XXI century, methods and techniques in information analysis and decision making**, p. 11–73, 2002.

ZHOU, X. et al. A DEMATEL-based completion method for incomplete pairwise comparison matrix in AHP. **Annals of Operations Research**, v. 271, n. 2, p. 1045–1066, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABC 11, 121, 122, 123, 124, 125

AHP 88, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102

Alunos 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 37, 39, 40, 41, 42, 45, 106, 107, 109, 110, 111, 113

ANEEL 63, 64, 69, 70, 72, 75, 79

APR 178, 181, 186

Aprendizagem Ativa 1, 2, 3, 4, 9, 10

B

Brasil 25, 26, 27, 28, 33, 35, 36, 37, 38, 41, 45, 46, 87, 90, 100, 103, 104, 116, 120, 132, 133, 141, 145, 157, 162, 188, 192, 193, 195, 196, 201, 204, 211, 221, 223

C

CEP 143, 145, 149, 156

Cerveja 115, 116, 117, 119, 120

CFD-DEM 82, 84, 85, 86, 87

Custeio 121, 122, 123, 124, 125

Custo 50, 86, 103, 104, 105, 110, 113, 114, 115, 119, 123, 124, 127, 144, 158, 164, 167, 168, 174, 217

CVL 103, 104, 105, 106, 107, 113, 114

D

Demanda 13, 14, 16, 24, 33, 54, 60, 61, 62, 91, 99, 137, 138, 146, 218, 219

E

Educação 1, 10, 12, 13, 14, 22, 35, 36, 37, 38, 46, 47, 105, 114, 115, 205, 211, 225

Empreendedorismo 14, 22, 25

Empresa 45, 50, 53, 55, 56, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 113, 114, 122, 123, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 135, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 156, 163, 164, 167, 174, 175, 177, 178, 179, 181, 185, 186, 187, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 223

Engenharia 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 57, 59, 60, 82, 85, 100, 103, 115, 120, 121, 141, 156, 165, 166, 167, 175, 186, 211, 223

Engenheiros 12, 14, 15, 22, 24, 32, 37, 39

Ensino 1, 2, 4, 9, 10, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 26, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 45, 46, 57, 60, 103, 104, 114, 121, 163, 174, 177

Ergonomia 201, 203, 204, 205, 206, 210, 211

Escala Verbal 88, 91, 93, 94, 98

Escola 36, 88, 91, 103, 104, 106, 107, 111, 113, 114, 141, 225

Estrangeiros 28, 126, 132

F

FMEA 178, 181, 182, 186

Fome 35, 36, 37, 38, 39, 44, 45

Formação 3, 6, 12, 13, 14, 20, 22, 23, 24, 36, 37, 38, 104, 114, 117, 218

G

Gerenciamento 49, 53, 131, 174, 177, 178, 179, 180, 186, 187, 188

Gestão 6, 23, 26, 33, 42, 46, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 99, 103, 104, 107, 110, 112, 114, 121, 124, 128, 129, 130, 131, 139, 142, 156, 166, 175, 178, 179, 180, 182, 185, 188, 211, 225

Goiás 60, 157

GUT 126, 130, 131, 134, 135, 142, 178, 185, 186

H

Habilidades 7, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 36, 39, 44, 54

I

Indústria 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 33, 47, 48, 49, 50, 51, 57, 90, 120, 143, 146, 164, 188, 191, 211

L

Legalização 126

M

Mapas Mentais 1, 3, 4, 5, 6, 10

Modelos 45, 47, 48, 52, 54, 55, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 100, 129, 140, 158, 214, 215, 222

Monitoramento 23, 25, 32, 33, 49, 53, 56, 166, 175, 178, 184

O

ONS 63, 64, 65, 69, 70, 80

Otimização 53, 54, 55, 145, 177, 179, 213, 214, 216, 220, 222, 223

P

Pará 103

Pós-Venda 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134, 136, 140, 141

Processo 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 13, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 38, 39, 46, 47, 49, 50, 53, 54, 55, 83, 85, 89, 90, 94, 98, 99, 104, 105, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 145, 146, 155, 156, 168, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 200, 205, 210, 214

Procurement 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

Produção 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 22, 23, 24, 30, 32, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 46, 48, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 82, 83, 99, 103, 104, 105, 106, 115, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 127, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 149, 163, 164, 165, 166, 167, 175, 177, 182, 186, 187, 201, 211, 223

Programas de Computador 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Prospecção Tecnológica 23, 25, 26, 29, 32, 33, 34

Q

Qualidade 7, 35, 36, 39, 54, 89, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 156, 158, 162, 164, 167, 173, 180, 182, 190, 204, 205

R

Retorno 113, 141, 157, 158, 161, 162, 220

Riscos 52, 53, 57, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 196, 200, 201, 204, 209, 210, 211

Roteamento 213, 214, 217, 220, 223, 224

Ruído 188, 189, 190, 191, 192, 194, 195, 196, 199, 200, 202, 213, 214, 216, 217, 219, 220, 221, 222, 223

S

Segurança do Trabalho 188, 211

Séries Temporais 60

Simulação 6, 82, 83, 96, 98, 99, 219, 220, 222

Soja 43, 60, 61

Sucos 143, 145, 146, 147, 148

T

Tecnologia 24, 26, 27, 32, 33, 47, 48, 50, 54, 56, 83, 115, 158, 159, 201, 225

TFM 82, 84, 85, 86, 87

U

UEP 121, 122, 123, 124, 125

V

Vibração 189, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 217

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos

 **Atena**
Editora
Ano 2021

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos


Ano 2021