



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos 3

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos 3

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Prof^a Dr^a 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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
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
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª 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
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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 Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª 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
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia de produção: além dos produtos e sistemas produtivos 3

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia de produção: além dos produtos e sistemas produtivos 3 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-003-9
DOI 10.22533/at.ed.039212304

1. Engenharia de produção. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. 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

O ramo da engenharia de produção ganhou cada vez mais espaço no decorrer dos anos, sendo hoje um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Desta forma estudar temas relacionados a engenharia de produção é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas engenharia de produção, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente.

Apresenta capítulos relacionados a gestão como um todo, assim como a aplicação de ferramentas para melhoria de processos e produtos e a redução de custos. Outro destaque se dá a interação entre o homem e o trabalho, sendo um dos ramos da engenharia de produção e que está cada vez mais em voga no momento atual.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

GESTÃO DA QUALIDADE EM UMA INDÚSTRIA DE CALÇADOS: ESTUDO DE CASO

Tiago Soares da Rocha

Paulo Renato Pakes

Brena Bezerra Silva

DOI 10.22533/at.ed.0392123041

CAPÍTULO 2..... 16

APLICAÇÃO DA FILOSOFIA DE GESTÃO LEAN SEIS SIGMA NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA CALÇADISTA

Phelippe Moura da Silva

Ezequiel Ribeiro Paiva

DOI 10.22533/at.ed.0392123042

CAPÍTULO 3..... 30

ANÁLISE DA RELAÇÃO PRODUÇÃO VERSUS MANUTENÇÃO E SEUS IMPACTOS EM UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS: O CASO PSIU

Marco André Matos Cutrim

Jadna Karine Santos Monteiro

Antonilton Serra Sousa Junior

Andielle Martins Oliveira

Pedro Lucas Valente Santos Sousa de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.0392123043

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DA SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM UMA PEQUENA EMPRESA DE SERRALHERIA SITUADA NA CIDADE DE DOURADOS – MS

Marcos Meurer da Silva

Robson de Souza Santos

Marcos Barbosa Silvino

DOI 10.22533/at.ed.0392123044

CAPÍTULO 5..... 58

O IMPACTO DO ROUBO DE CARGA EM UMA EMPRESA DE ALIMENTOS LOCALIZADA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO/BRASIL

Priscilla Juliasse de Freitas

Camila Avosani Zago

DOI 10.22533/at.ed.0392123045

CAPÍTULO 6..... 70

CARACTERIZAÇÃO DO CANAL LOGÍSTICO REVERSO: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE AUTOPEÇAS E MECÂNICA EM SÃO LUÍS

Marco André Matos Cutrim

Jadna Karine Santos Monteiro

Antonilton Serra Sousa Junior

Jardel Carlos Ferreira Nunes

Jéssica dos Santos Maia

DOI 10.22533/at.ed.0392123046

CAPÍTULO 7..... 82

PROCEDIMENTO DE TRANSIÇÃO DA *GRID* TOPOLÓGICA PARA A *GRID* GEOMÉTRICA NO PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO DAS FACILIDADES NO *LAYOUT* DE UM ESTALEIRO

Henry Joel Segho Amani

Walther Azzolini Junior

DOI 10.22533/at.ed.0392123047

CAPÍTULO 8..... 93

MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE MATERIAIS: APLICAÇÃO EM UMA EMPRESA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA

Rafael Ferreira Almeida

Paulo Afonso Lopes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.0392123048

CAPÍTULO 9..... 106

A CRIAÇÃO DE UMA SPIN-OFF ACADÊMICA PARA ÁREA DE BIOTECNOLOGIA EM TRÊS ETAPAS

Andrey Pelicer Tarichi

Creusa Sayuri Tahara Amaral

DOI 10.22533/at.ed.0392123049

CAPÍTULO 10..... 119

A REDUÇÃO DA INCIDÊNCIA DO ERRO DE DIAGNÓSTICO NO TRATAMENTO DA SÍNDROME HPN (HIDROCEFALIA DE PRESSÃO NOMAL) EM BRASILEIROS, MEDIANTE A APLICABILIDADE DA MODELAGEM MATRICIAL COPPE-COSENZA

Rodrigo Ventura da Silva

Jean de Aguiar Seabra

Luis Claudio Bernardo Moura

Leonardo Fontes Bachá

Carlos Alberto Nunes Cosenza

DOI 10.22533/at.ed.03921230410

CAPÍTULO 11..... 133

ANÁLISE DOS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS OBTIDOS A PARTIR DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA TAMBOR-PULMÃO-CORDA (TPC): UMA REVISÃO DA LITERATURA

Gilberto Dias Paião Júnior

DOI 10.22533/at.ed.03921230411

CAPÍTULO 12..... 145

DESENVOLVIMENTO DE ESCUDOS FACIAIS ATRAVÉS DE PROTÓTIPOS RÁPIDOS: UMA ABORDAGEM SÓCIO-SANITÁRIA EM DEFESA DOS PROFISSIONAIS DE SAÚDE CONTRA O COVID-19 EM SÃO PAULO, BRASIL

Adriana Del Monaco de Maria

Maria Eduarda Aidar Santillo

Eduardo Augusto Galdino dos Santos

Lia de Biasi Pereira
Rafaela Camargo dos Santos
Gabrielle Silva Coelho
Fabielle Pereira Leite
Suzane Candido Losacco
Edmilson Machado Pereira
Mariane da Silva Monteiro
Yara Beatriz Rodrigues do Espirito Santo
Camila Santineli dos Santos
Emanuele Alves da Silva

DOI 10.22533/at.ed.03921230412

SOBRE OS ORGANIZADORES	154
ÍNDICE REMISSIVO.....	155

ANÁLISE DOS PRINCIPAIS BENEFÍCIOS OBTIDOS A PARTIR DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA TAMBOR-PULMÃO-CORDA (TPC): UMA REVISÃO DA LITERATURA

Data de aceite: 22/04/2021

Data de submissão: 12/02/2021

Gilberto Dias Paião Júnior

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
Faculdade de Engenharia de Bauru – FEB
Bauru – SP
<http://lattes.cnpq.br/9818595839814385>

RESUMO: O método tambor-pulmão-corda (tpc), criado dentro do contexto da teoria das restrições (toc), se caracteriza por quebrar alguns paradigmas importantes na administração do chão de fábrica. Neste sentido, este trabalho, por meio de uma revisão sistemática de literatura em duas bases de dados, buscou casos reais em que a aplicação do tpc foi descrita. A partir da revisão da literatura, foi possível pontuar que o método trouxe diversos benefícios operacionais para as organizações, notadamente a redução dos lead-times, estoques em processo e melhores desempenho nas entregas. Consequentemente também foram observadas melhorias nos indicadores financeiros.

PALAVRAS-CHAVE: Tambor-pulmão-corda; teoria das restrições; aplicação real; indicadores operacionais

ANALYSIS OF THE MAIN BENEFITS
OBTAINED FROM THE IMPLEMENTATION
OF THE DRUM-BUFFER-ROPE (DBR)
SYSTEM: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: The drum-buffer-rope (dbr) method,

created within the context of the theory of constraints (toc), is characterized by breaking some important paradigms in the management of the factory floor. In this sense, this study, through a systematic literature review in two databases, searched real cases where the application of the dbr was described. From the literature review, it was possible to point that the method brings different operational benefits for organizations, notes reducing lead times, stocks in process and better performance in deliveries. Consequently, improvements in financial indicators were also observed.

KEYWORDS: Drum-buffer-rope; theory-of-constraints; real application; operational indicators.

1 | INTRODUÇÃO

A Teoria das Restrições (TOC), introduzida por Eliyahu M. Goldratt, trouxe um novo paradigma para as operações de controle e planejamento da produção. Em ambientes dominados pelos sistemas MRP, Goldratt estabeleceu uma nova forma de enxergar e pensar o gerenciamento de um ambiente produtivo (IKEZIRI et al., 2019).

Como elemento inicial, a TOC passa o focar nas restrições que os sistemas produtivos apresentam e, ao invés de considerá-las um obstáculo, a TOC acredita que são uma oportunidade para uma produção mais eficiente e lucrativa. Goldratt entende que toda organização possui uma meta principal. Assim,

a exploração eficaz da restrição é condição fundamental para a obtenção da meta (GUPTA; BHARDWAJ; KANDA, 2010b).

Neste sentido, a TOC possui um processo de melhoria contínua que foca em cinco passos para obter um crescimento significativo ao mesmo tempo em que se mantém estável ao longo do tempo. Os passos são: identificar a restrição do sistema; decidir como explorá-la; subordinar todo o resto a esta decisão; elevar a restrição; e retornar ao primeiro passo caso a restrição seja quebrada (GUPTA; BHARDWAJ; KANDA, 2010a).

A partir dos cinco passos de focalização, desenvolve-se o método do Tambor-Pulmão-Corda (TPC) para o controle e planejamento da produção. Para o TPC, a restrição do sistema dita o ganho de metas de toda a organização. Assim, para proteger o ganho, o sistema TPC promove algumas mudanças no processo produtivo de forma a extrair o máximo de capacidade da restrição (tambor). O recurso também passa a ser protegido (pulmão) contra eventualidades que possam afetar os outros recursos e, por fim, a liberação de material (corda) para o chão de fábrica passa a ser restringida e segue a taxa de produção da restrição (GOLDRATT, COXX, 2014; SCHRAGENHEIM, 2013; SOUZA, 2010).

A TOC possui outras ferramentas para as diversas áreas funcionais da empresa. O método TPC, por exemplo, é utilizado para o gerenciamento da produção. Para a área de contabilidade, a TOC propõe a contabilidade do ganho. Para o gerenciamento de projetos, há o método da corrente crítica. Com relação ao gerenciamento estratégico e melhoria contínua pode-se utilizar os processos de pensamento. Todas essas ferramentas seguem a premissa básica de focalizar a meta da organização (GOLDRATT, 2013; GOLDRATT; COXX, 2014).

Ao pesquisar a literatura disponível sobre o TPC entre 2001 e 2020, verificou-se que existem várias publicações sobre o método. Contudo, não foi constatada a existência de artigos que mapeiem e sistematizem como a aplicação prática TPC pode, de fato, contribuir para o desempenho de uma organização. Assim, o objetivo deste trabalho é reunir e analisar quais os benefícios foram observados com a implementação prática do sistema TPC ou de sua versão simplificada (TPC-S) em empresas. Para isto, recorreu-se ao método de revisão sistemática da literatura de artigos publicados em *Journals* de duas bases de dados.

Entende-se a importância deste artigo no fato de sistematizar as publicações que contêm aplicações práticas do método dentro da literatura e mapear os principais benefícios advindos da implementação prática em diversos tipos de empresa.

Este estudo segue a seguinte sequência: a seção dois apresenta uma fundamentação teórica com os principais aspectos que envolvem o TPC e TPC-S; a seção três traz o método da pesquisa e como ela foi desenvolvida; na seção quatro os resultados dos artigos levantados são analisados de acordo com a teoria; e, na última seção, as conclusões são apresentadas.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistema Tambor-Pulmão-Corda

A TOC usa um processo de focalização para identificar a restrição de um sistema produtivo e, dessa forma, extrair o seu melhor ganho possível. O processo de focalização envolve cinco passos: identificação da restrição; exploração da restrição; subordinar todo o sistema à decisão anterior; elevar a restrição; e, caso a restrição seja quebrada, voltar ao primeiro passo. O sistema TPC é utilizado nos três primeiros passos para garantir a melhor exploração da restrição (SRIKANTH, 2013).

Segundo Souza (2010), a lógica do TPC prioriza a identificação do elemento mais restritivo, podendo ser um recurso físico, uma política interna ou o próprio mercado. A este recurso restritivo, denomina-se o tambor do sistema, ou seja, ele que irá ditar a taxa de produção. Deste modo, todos os outros recursos devem trabalhar abaixo de sua capacidade máxima, corroborando com a argumentação de Goldratt e Cox (2014) para que as eficiências locais devem ser abolidas.

O conceito de pulmão do sistema, por sua vez, funciona como uma proteção ao recurso restritivo, garantindo que este não fique sem trabalho caso alguma eventualidade ocorra a montante de fluxo. O pulmão é dado na forma de um tempo extra ao período de atravessamento das ordens de produção (GUPTA; BHARDWAJ; KANDA, 2010b). Souza (2010) complementa que o pulmão, em um sistema clássico, pode ser de até três tipos: pulmão da restrição, pulmão de mercado e pulmão de montagem. Ressalta-se que é justamente a capacidade extra de alguns recursos (capacidade protetiva) que viabiliza o estabelecimento dos pulmões, pois estes recursos possuem reserva suficiente para compensar eventuais variabilidades na produção (GOLDRATT, COX, 2014).

Já o conceito de corda faz referência a ligação entre o tambor e a liberação das ordens para o chão de fábrica. O TPC limita quantidade de inventário no sistema dado a capacidade da restrição e o nível do pulmão. Assim, a taxa de liberação de ordens irá seguir a taxa de produção do recurso restritivo (THURER; STEVENSON, 2018). Isso impede que haja excesso de inventário entre os recursos (SOUZA, 2010).

O gerenciamento do pulmão monitora o tempo que uma ordem de serviço leva para atravessar o chão de fábrica até a restrição. Em outras palavras, cada ordem possui seu próprio pulmão de tempo que é dividido em 3 partes iguais e recebem um código de cores: verde, amarela e vermelha, indicando o consumo do pulmão até o momento. Assim, ordens vermelhas, por exemplo, possuem apenas um terço do tempo para chegar ao seu destino, diferente das verdes que possuem mais de dois terços de seu pulmão. O gerenciamento do pulmão ocorre ao monitorar o número total de ordens vermelhas no sistema (SRIKANTH, 2013).

2.2 Sistema Tambor-Pulmão-Corda Simplificado

O sistema do TPC-S inova em relação ao clássico, pois agora a restrição é fixa na demanda, ou seja, ela sai do ambiente interno e vai para o externo. Essa inovação segue os pressupostos básicos da TOC visto na introdução, como: fluxo contínuo de materiais, simplicidade inerente ao sistema, entre outros (SCHRAGENHEIM, 2013). Considerando que ambos os métodos foram concebidos para que as empresas pudessem mudar de ambientes *Make-to-Stock* (MTS) para o *Make-to-Order* (MTO), o TPC-S se mostrou mais eficaz nessa tarefa inovando com a produção *Make-to-Availability* (MTA), em que a organização continua produzindo para estoque, porém com níveis de inventário muito menores (SOUZA, 2014).

Embora seja mais interessante produzir MTO, há situações em que é necessário adotar a abordagem MTS. Uma delas se refere às características de mercado que apresentam picos de demanda (sazonalidade) em que a restrição não tem capacidade de atendê-los e não se justifica um investimento maior para um período muito específico. Outro caso se refere ao tempo de tolerância dos clientes em relação ao *lead-time* de produção. Há produtos que devem estar disponíveis de imediato pois o mercado não aceita qualquer prazo de entrega (SOUZA, 2014).

Conforme já mencionado, o TPC-S trabalha apenas com a restrição de mercado, contudo a organização ainda terá em sua linha um recurso restritivo. Este recurso, apesar do nome, possui capacidade protetiva suficiente para atender a demanda do mercado e o gerenciamento do pulmão de produção será feito em cima da carga deste recurso. Cada ordem possui seu pulmão de produção, também dividido em três partes iguais (SCHRAGENHEIM, 2013).

Outra característica do sistema TPC-S, quando utilizado em ambientes MTS, é que neste caso o pulmão não é mais dado na forma de tempo, mas sim em uma quantidade física de produtos acabados. O gerenciamento do pulmão deve prezar pela máxima disponibilidade ao mesmo tempo em que garante estoques baixos (IKEZIRI et al., 2019).

De modo geral o TPC-S pode ser implementado em qualquer tipo de organização, contudo Lee et al. (2010) abordam algumas características que podem dificultar o uso do método. A primeira diz respeito a localização do recurso restritivo, pois o TPC-S assume que este recurso ocupa uma posição intermediária no fluxo. Outro ponto diz respeito à complexidade das linhas com múltiplos recursos restritivos. A terceira característica aborda a inserção de ordens urgentes que podem atrasar os pedidos normais em suas datas de entrega.

Por fim, os principais benefícios encontrados na implementação do TPC clássico ou simplificado envolvem a redução dos *lead-times*, redução do estoque em processo (WIP), aumento da capacidade da restrição e melhoria no desempenho de entrega (AMIN; SAHA; MOHONA, 2018; BAI et al., 2018; LEE et al., 2010; QIAO; WU, 2013; THURER;

3 | MÉTODOS

3.1 Revisão da Literatura

Para Snyder (2019) a revisão sistemática da literatura se caracteriza por propor uma síntese e comparação do que foi pesquisado, além de focar em uma questão específica dentro do tema estudado e utilizar requisitos rigorosos para a coleta de dados. A análise qualitativa dos dados tem o objetivo de avaliar a qualidade dos resultados de diferentes tipos de estudo e compará-los.

Outra característica da revisão sistemática de literatura é a sua reprodutibilidade. O autor deve deixar claro quais critérios seguiu para chegar nos resultados apresentados, permitindo que outro pesquisador encontre os mesmos resultados. Neste sentido, apresenta-se alguns passos básicos que são comuns à maioria dos autores: planejamento da revisão que envolve a definição do que será estudado e de como a pesquisa será feita (protocolo); condução da revisão abrange a avaliação dos artigos e a extração e síntese dos dados a serem utilizados e; a apresentação dos resultados (KRAUS; BREIER; DASÍ-RODRÍGUEZ, 2020; SNYDER, 2019).

Este artigo seguiu os conceitos e passos apresentados de modo a manter as características desse tipo de trabalho.

3.2 Coleta de Dados

O objetivo da pesquisa é encontrar casos reais de aplicação do TPC em empresas de diversos segmentos do mercado para visualizar quais mudanças que a aplicação do método trouxe. A pesquisa foi realizada na base de dados *Scopus* com os seguintes filtros objetivos: “*drum buffer rope*” and “*case study*” or “*survey*” or “*action research*” or “*real application*”. O filtro de tempo foi utilizado para selecionar os artigos de 2001 até 2020. O resultado da pesquisa retornou 35 documentos.

O primeiro critério para o filtro subjetivo foi a seleção de documentos pertencentes apenas a *Journals*, em seguida, após ler o título, resumo e partes do texto, eliminou-se os artigos que tratavam de simulações ou proposição de modelos, ou seja, casos não relacionados com aplicações reais. É importante salientar que alguns artigos trazem a formulação de modelos com aplicação simulada a partir de dados reais, contudo os resultados são apenas teóricos. Deste modo também se retirou esses artigos da revisão bibliográfica, restando 9 referências.

Dentro das 35 referências encontradas no *Scopus*, dois artigos não puderam ser avaliados, pois um se trata de uma publicação paga mesmo com acesso via VPN (*Virtual Private Network*) da universidade. O segundo artigo possui apenas o resumo em inglês, o

texto original está em chinês na base de dados.

Para aumentar a robustez da revisão, também foi usada a base de dados *Web-of-Science*, foram encontrados 25 documentos por meio dos seguintes atributos de pesquisa: TS=(*drum buffer rope and case study*) or TS=(*drum buffer rope and survey*) or TS=(*drum buffer rope and action research*) or TS=(*drum buffer rope and real application*). Novamente o intervalo de tempo foi de 2001 a 2020.

Seguindo os mesmos critérios de filtros objetivos e subjetivos utilizados na plataforma *Scopus*, foi possível apurar dois novos artigos para serem adicionados ao acervo a ser analisado. Os demais se dividiam entre os que não eram publicados em *Journals* e os que já haviam sido elencados na pesquisa na base de dados do *Scopus*. O número total a ser analisado no trabalho é de 11 artigos. A Figura 1 ilustra o método utilizado na pesquisa dos artigos nas duas bases de dados.

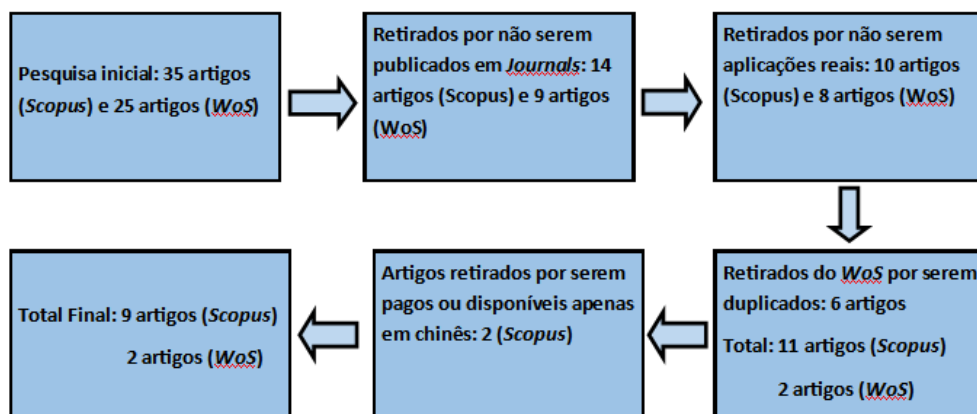


FIGURA 1: Método utilizado para a pesquisa e a seleção de artigos.

Fonte: o autor (2020).

As plataformas *Scopus* e *Web-of-Science* são bases de dados que costumam ser utilizadas em conjunto para revisões de literatura, sendo também consideradas duas das principais bases existentes devido a quantidade e qualidade de documentos (IKEZIRI et al., 2019; MARIANO; SOBREIRO; REBELATTO, 2015).

4 | RESULTADOS

O primeiro artigo selecionado é de Kelly e Germain (2020) que analisaram a operação de corte de madeira no nordeste dos Estados Unidos. Os autores descreveram a operação e o estudo buscou identificar como a sequência de trabalho era realizada e a eventual restrição do sistema. Foi apresentado que a operação da motosserra demandava

80% mais horas de trabalho do que o trator, sendo que este necessita de paradas para a manutenção preventiva. Neste ponto, o estudo avançou apenas com a proposição de um cronograma do gargalo, porém sem resultados. A contribuição prática se restringiu a identificação da restrição.

Já o estudo de Telles et al (2020) buscou avaliar os impactos que o TPC traria nas eficiências das linhas de três produtos de uma empresa que fabrica componentes para a indústria aeroespacial, em ambiente ETO. O TPC começou a ser implantado em 2016 nas linhas de eletrônicos, computadores e de *displays*. Os *inputs* para a avaliação foram o tempo de produção, *lead-time*, nº de empregados, nº de reclamações dos clientes e o WIP. Como *outputs* analisou-se o desempenho de entrega, quantidade de produtos finalizados e produtos rejeitados. Após quatro anos, foi observado uma melhoria de 19% na linha de computadores, 16% na de *displays* e 4% na de eletrônicos. O resultado da linha de eletrônicos se deve a complexidade dos processos e a grande variabilidade de produtos.

O artigo de Lizarralde-Aiastui, Apaolaza-Perez, Mediavilla-Guisasola (2020) trouxe o caso de um fabricante de vasos de pressão espanhol que trabalha no ambiente MTO com produtos muito customizados. A equipe utilizou os cinco passos de focalização de Goldratt. A observação inicial mostrou excesso de WIP, atrasos, baixo desempenho na entrega e medida de desempenho baseada em eficiência local. A restrição foi identificada na área de usinagem. Como resultados práticos, a organização conseguiu uma redução de 20% de ordens abertas, reduziu em 10% do *lead-time* e o WIP caiu 20%. Outras melhorias foram observadas na redução em 20% dos problemas de qualidade, balanceamento do fluxo de trabalho, aparecimento de capacidade oculta e o aumento do nível de serviço de 50% para 70%.

Prosseguindo com a análise, Modi, Lowalekar e Bhatta (2019) focaram em um fabricante de fechaduras indiano que estava sofrendo muito com a baixa qualidade do serviço oferecido e com uma cadeia de distribuição desorganizada. Para viabilizar a mudança na empresa, o TPC foi usado em conjunto com algumas ferramentas da contabilidade do ganho e dos processos de pensamento. Especificamente sobre a implantação do TPC, foi observado que a restrição do sistema era o mercado, assim optou-se pelo TPC-S e a produção MTA (95% dos produtos) foi implementada. Os resultados obtidos foram significativos: redução em 40% do estoque de produtos; diminuição de 33% do WIP; o *lead-time* reduziu em 75% em 4 anos e o giro de estoque aumentou 3 vezes. Nas medidas financeiras o ganho aumentou 33% em dois anos e seguiu aumentando 20% nos anos seguintes e o volume líquido de negócios aumentou mais de 2,5 vezes desde 2008.

O artigo de Cortabarría, Martínez e Mendoza (2016) trouxe o estudo de caso de uma fabricante metalmeccânica colombiana. O objetivo está em analisar os impactos no ganho, inventário e despesas operacionais. Novamente, foi utilizado os cinco passos de focalização para identificar a restrição de um linha que produz 3 produtos. Foi observado falta de capacidade para atender a demanda dos produtos B e C. Deste modo, buscou-se

a melhor forma de explorar a restrição da linha e um novo alinhamento do mix de produtos. Como resultados das alterações houve uma redução e mais de 50% do tempo de ciclo do produto B e de 45% para o produto C. Outro benefício foi o completo atendimento da demanda do produto B e a redução do inventário. Com o novo mix, a demanda passou a ser a restrição e o resultado líquido aumentou em 12% sem alteração das despesas operacionais.

A *survey* realizada por Panizzolo (2016) tem um aspecto diferente dos demais artigos uma vez que aborda de maneira agregada 61 empresas de quatro países europeus e mostra as principais características de implementação da TOC. Indústrias da França e Espanha, por exemplo, consideram mais relevante a TOC na sua gestão do que suas pares na Alemanha e Itália. Outra informação relevante se refere ao Reino Unido, pois as organizações desse país foram as primeiras a adotar a TOC e revelam ótimos desempenhos em termos de nível de inventário e tempos de ciclo. Um indicador comum a todos os países se refletiu na redução dos *lead-times* de produção. As ferramentas da TOC que mais contribuíram para esses resultados foram o TPC, preservação de capacidade extra em recursos não restritivos e planejamento otimizado para a restrição.

Darlington et al (2015) analisaram justamente um caso de implementação do TPC em um fabricante de painéis automotivos no Reino Unido. Neste estudo, a análise se aprofundou em detalhes desde a seleção da equipe aos métodos utilizados. Os principais problemas a serem resolvidos estavam no altos *lead-times* e WIP, além de muito retrabalho e 60% das entregas feitas em atraso. O gargalo identificado estava na máquina de corte a laser, pois esta estação tinha tempos muito variados de operação devido as características do produto.

Retomando Lee et al (2010) que comentam a dificuldade de implementar o TPC em linhas em que o recurso restritivo não ocupa uma posição intermediária no fluxo, a equipe da fábrica teve que fazer adaptações do pulmão da sua restrição, pois esta estava justamente no início da linha. Por fim, apresentou-se resultados significativos após a implementação do TPC: redução do WIP em 60%, redução do *lead-time* em 56%, os giros de estoque dobraram e melhoria no desempenho das entregas (DARLINGTON et al., 2015).

O estudo de caso de Benavides e Landeghem (2015) focou em quatro pequenas e médias empresas equatorianas. Todas as empresas atuam em ambiente MTO e possuem baixo desempenho de entrega, altos WIP e *lead-times*. O TPC-S mostrou-se ser o método recomendado dada as características organizacionais. Cabe ressaltar que cada empresa possui aspectos únicos em termos de *layout*, localização do recurso restritivo, cultura interna e automatização dos processos. De modo geral, observou-se grandes melhorias em todas as empresas. A primeira delas é o aumento do nível de serviço em virtude da restrição de liberação de materiais, além do aparecimento de capacidade extra. O gerenciamento do pulmão propiciou a redução significativa dos tempos de ciclo (média de 40%) e o aumento do nível de serviço (90%).

O exemplo de Umble, Umble e Murakami (2006) é um caso emblemático da implementação da TOC na *Hitachi Tool Engineering*. O caso é particularmente interessante pois a empresa opera em sistema MTS, assim como o caso analisado por Modi, Lowalekar e Bhatta (2019), possui altos WIP, *lead-times*, falta de alguns produtos, excesso de outros, atraso nas entregas, entre outros. Como comentado na literatura, o TPC foi desenvolvido para que as empresas que operam em MTS passem a opera MTA. Novamente os cinco passos de focalização foram utilizados e descobriu-se que a restrição estava relacionada com a política de produção da empresa, maior valor agregado, típico da contabilidade de custos.

Uma vez que as mudanças foram implementadas com a participação ativas dos operadores conseguiu-se a redução de *setups*, um fluxo contínuo de produção e a introdução da manutenção preventiva. Os resultados entre 2000 e 2004 foram os seguintes: redução do *lead-time* em 60%, aumento de 45 para 85% no desempenho das entregas, aumento da capacidade produtiva sem compra de equipamentos em 20% e os giros de estoque saltaram de 7 para 10. Na área financeira o aumento da lucratividade saltou de 921 mi para 4 bi de Yens em dois anos, assim como o preço das ações mais que dobraram (UMBLE, UMBLE, MURAKAMI, 2006).

No campo das empresas que trabalham com linhas de produção com fluxos reentrantes, Wu e Yeh (2006), são um dos primeiros autores a analisar um caso real de proposição do TPC nesse ambiente produtivo. Uma limitação do referido estudo está na falta de resultados práticos. Os autores desenvolvem uma programação de tambor em um fluxo que passa diversas vezes pelo mesmo gargalo. Há a necessidade de se estabelecer diversos pulmões da restrição e combinar as ordens mais adiantadas com as recém liberadas quando estão aguardando no gargalo. Segundo os autores, uma empresa de Taiwan que fabrica placas de circuito integrado é utilizada para o teste do método. O material pode passar pela linha de 2 a 8 vezes, porém não há resultados práticos para serem analisados.

Por fim, o estudo de Schaefers et al. (2004) foca em uma empresa fabricante de chapas de aço em ambiente MTO, porém com pedidos grandes e frequentes. Como análise preliminar, verificou-se que a organização priorizava a maximização do uso dos equipamentos e matéria-prima (otimização dos recursos), negligenciando os prazos de entrega. Em consequência, a empresa enfrentava altos WIP, baixo nível de serviço e indicadores financeiros negativos. Dado a característica de baixa diferenciação dos produtos, a implementação do TPC propiciou uma oportunidade de diferenciação para a empresa ao entregar em prazos mais curtos do que o mercado trabalha. Como resultados a empresa reduziu para 10 dias o *lead-time* que variava de 21 a 180 dias, aumento de 34% para 87% do nível de serviço, redução dos atrasos para próximos de zero, implementação de indicadores de desempenho e redução em 25% dos custos de transporte.

51 CONCLUSÃO

Ao analisar todos os artigos apresentados e confrontá-los com a literatura apresentada, é claro perceber que a maioria das empresas enfrentavam problemas sérios no desempenho nas entregas, altos *lead-times* e *WIP*, refletindo nos resultados financeiros. As causas desses problemas estavam justamente onde autores como Goldratt e Cox (2014), Schragenheim (2013) e Srikanth (2013) argumentam que as empresas buscam as máximas eficiências locais e deixam de lado o que realmente as fazem gerar mais ganho. Corroborando o apresentado na literatura, as melhorias em *lead-time*, *WIP*, desempenho de entrega e aumento do ganho, sem a necessidade de altos investimentos, são uma forte constatação de que a *TOC*, por meio do *TPC*, pode melhorar a lucratividade das empresas e torná-las mais eficientes e flexíveis.

Como limitação do trabalho, tem-se a relativa escassez de material sobre aplicações reais do método *TPC*. Isto se traduz em uma recomendação para trabalhos futuros que utilizem mais bases de dados para que a amostra possa ser mais significativa. Outra limitação diz respeito a característica de que apenas os resultados positivos são publicados, seria interessante notar as principais causas de insucessos que as empresas enfrentam. Como sugestão para futuros trabalhos, tem-se a possibilidade de analisar as melhorias que os estudos de simulações em ambientes produtivos de fluxos reentrantes podem oferecer. Na revisão de literatura percebeu-se que este tipo de aplicação demanda melhorias no algoritmo do *TPC*.

REFERÊNCIAS

- AMIN, A.; SAHA, A. K.; MOHONA, T. U. **Performance Improvement of Jute Industries using Theory of Constraints (TOC)**. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 5 (5): 303-311, 2018.
- BAI, Z. Q.; WEI, Q. Y.; DAI, M.; ZHANG, Z. S. **An OEE Improvement Method Based on TOC**. *25th International Conference em Mechatronics and Machine Vision in Practice*. 2018. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8600875>>. Acesso em 20 de junho de 2020.
- BENAVIDES, M. B.; LANDEGHEM, H. V. **Implementation of S-DBR in four manufacturing SMEs: a research case study**. *Production Planning & Control*. 26:13, 1110-1127, DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1015060> . 2015.
- CORTABARRÍA Castañeda, L. A.; MARTÍNEZ Marín, S. J.; MENDOZA Quijano, O. H. **Design, implementation and analysis of a methodology for applying TOC to companies with internal physical restrictions metalworking - case application: Colombia**. *Espacios*, v. 37, n. 31, 2016.
- DARLINGTON, J.; FRANCIS, M.; FOUND, P.; THOMAS, A. **Design and implementation of a Drum-Buffer-Rope pull-system**. *Production Planning & Control*, v. 26, n. 6, 489–504, <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2014.926409>. 2015.

GOLDRATT, E. M. **Introdução à TOC: minha visão**. In Handbook da Teoria das Restrições, org. COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. 179–216. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta: Teoria das Restrições aplicada à indústria**. São Paulo: Nobel, 3ª ed. 2014.

GUPTA, A.; BHARDWAJ, A.; KANDA, A. **Durm-Buffer-Rope: the technique to plan and control the production using Theory of Constraints**. *International Journal of Economics and Management Engineering*. v. 4, n. 10, 2010.

GUPTA, A.; BHARDWAJ, A.; KANDA, A. **Fundamentals concepts of theory of constraints: an emerging philosophy**. *International Journal of Economics and Management Engineering*. v. 4, n. 10, 2010.

IKEZIRI, L. M.; SOUZA, F. B. de; GUPTA, M. C.; FIORINI, P. de C. **Theory of constraints: review and bibliometric analysis**. *International Journal of Production Research*, v. 57, nº 15-16. 2019.

KELLY, M. C.; GERMAIN, R. H. **Applying Theory of Constraints to Timber Harvesting: A Case Study from the Northeast USA**. *Croatian Journal of Engineering*. (59-69). DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.534>. 2020.

KRAUS, S.; BREIER, M.; DASÍ-RODRÍGUEZ, S. **The art of crafting a systematic literature review in entrepreneurship research**. *International Entrepreneurship and Management Journal*. 2020. Disponível em <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11365-020-00635-4.pdf>>. Acesso em 01 de julho de 2020.

LEE, J. H.; CHANG, J. G.; TSAI, C. H.; LI, R. K. **Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures**. *Expert System with Applications*.37 (5): 3747-3754. doi:10.1016/j.eswa.2009.11.049. 2010

LIZARRALDE-AIASTUI, A.; APAOLAZA-PEREZ de Eulate, U.; MEDIAVILLA-GUISASOLA, M. **A Strategic Approach for Bottleneck Identification in Make-To-Order Environments: A Drum-Buffer-Rope Action Research Based Case Study**. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(1), 18-37. <https://doi.org/10.3926/jiem.2868>. 2020.

MARIANO, E. B.; SOBREIRO, V. A.; REBELATTO, D. A. do N. **Human development and data analysis: a structured literature review**. *Omega*. 2015. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0305048315000043?token=86C8A70648EA7AA7D067ADFFBE21DA8FBD6CEAE0054E3EA11440AD82C51B59464845DDA8615F36F5C9AA002179C1945A>>. Acesso em 03 de julho de 2020.

MODI, K.; LOWALEKAR, H.; BHATTA, N. M. K. **Revolutionizing supply chain management the theory of constraints way: a case study**. *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 11, 3335–3361, <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1523579>. 2019.

PANIZZOLO, R. **Theory of Constraints (TOC) Production and Manufacturing Performance**. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 7, n. 1, 2016.

QIAO, F.; WU, Q. **Layered Drum-Buffer-Rope-Based Scheduling of Reentrant Manufacturing Systems**. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, v. 26, nº 2, 2013.

- SCHAEFERS, J.; AGGOUNE, R.; BECKER, F.; FABBRI, R. **TOC-based planning and scheduling model**. *International Journal of Production Research*, 42-13, 2639-2649, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540410001691910>. 2004.
- SCHRAGENHEIM, E. **Do TPC ao TPC simplificado na produção sob encomenda**. In Handbook da Teoria das Restrições, org. COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. 179–216. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SNYDER, H. **Literature review as a research methodology: An overview and guidelines**. *Journal of Business Research*, v.104, p. 333-339, 2019.
- SOUZA, F. B de; BAPTISTA, H. R. **Proposta de avanço para o método Tambor-Pulmão-Corda Simplificado aplicado em ambientes de produção sob encomenda**. *Gestão e Produção*. São Carlos, v. 17, n. 4, p. 735-746, 2010.
- SOUZA, F. B de; BAPTISTA, H. R. **Produzindo para disponibilidade: uma aplicação da Teoria das Restrições em ambientes de produção para estoque**. *Gestão e Produção*. São Carlos, v. 21, n. 1, p. 65-76, 2014.
- SRIKANTH, M. **TPC, gerenciamento de pulmões e classificação de fluxo VATI**. In Handbook da Teoria das Restrições, org. COX III, J. F.; SCHLEIER, J. G. 179–216. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- TELLES, E. S.; LACERDA, D. P.; MORANDI, M. I. W. M.; PIRAN, F. A. S. **Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: An analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA)**. *International Journal of Production Economics*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.021>. 2020.
- THRURER, M.; STEVENSON, M. **On the beat of the drum: improving the flow shop performance of the Drum-Buffer-Rope scheduling mechanism**. *International Journal os Production Research*. v. 56, n. 9, 2018.
- WU, H. H.; YEH, M. L. **A DBR scheduling method for manufacturing environments with bottleneck re-entrant flows**. *International Journal of Production Research*, 44-5, 883-902, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540500362187>. 2006.
- UMBLE, M.; UMBLE, E.; MURAKAMI, S. **Implementing theory of constraints in a traditional Japanese manufacturing environment: The case of Hitachi Tool Engineering**. *International Journal of Production Research*, 44:10, 1863-1880, DOI: <https://doi.org/10.1080/00207540500381393>. 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aplicação real 133

Autopeças 70, 71, 73, 75, 80

B

Biotecnologia 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 117, 118

D

Descarte 70

DMAIC 16, 17, 18, 19, 21, 26, 28

Doenças ocupacionais 44, 45, 55, 56

E

Erros de previsão 93, 98

Estaleiros 82

G

Gestão da qualidade 1, 2, 4, 6, 15, 28

I

Indicadores operacionais 133

Indústria calçadista 1, 2, 16

L

Lean Manufacturing 16, 17, 18, 28, 29

Lei 46, 63, 70, 71, 73, 74, 80, 81, 94, 104

Logístico 68, 70, 71, 72, 74, 75, 77, 79, 80

M

Manutenção 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 48, 56, 61, 94, 103, 104, 139, 141

Melhoria contínua 2, 13, 14, 16, 28, 134

Métodos de previsão 93, 94, 96, 98, 101, 105

Modelo de negócio 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 117, 118

P

Previsão de demanda 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 102, 103, 105

Problema instalação 82

Procedimento de transição 82, 83, 86, 90, 92

Produtividade 3, 30, 31, 32, 36, 38, 40, 43, 45, 57

R

Relacionamento 2, 14, 30, 42, 109, 112

Resíduos 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 151, 152

Riscos 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 69, 74, 80, 109, 110

Roubo de carga 58, 63, 64, 66, 67, 69

S

Segurança no trabalho 44, 45, 56, 57

Seis Sigma 16, 17, 18, 20, 21, 26, 28, 29

Setor alimentício 58, 60

Spin-off 106, 107, 113, 114, 117

T

Tambor-pulmão 133, 134, 135, 136, 144

Teoria das restrições 133, 143, 144

Transporte 35, 39, 42, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 141, 149

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos 3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO:

Além dos Produtos e Sistemas Produtivos 3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021