



**Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)**

# **A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020





**Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado  
(Organizadores)**

# **A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 4**

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

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

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 A aplicação do conhecimento científico nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Túllio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. – (A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-911-0

DOI 10.22533/at.ed.110201301

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovação. I. Túllio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga. III. Série.

CDD 620.0072

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 4” apresenta dezesseis capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas em diversas áreas de engenharia.

A pesquisa científica é a principal ferramenta para produzir conhecimento e inovação para uso da sociedade.

Esta obra apresenta diversos textos científicos que abordam temas ligados a engenharia aeroespacial, que buscam melhorar materiais, equipamentos e métodos aplicáveis a evolução nessa área do conhecimento.

Diversas aplicações da matemática, estatística e computação também são exploradas pelos pesquisadores nesta obra.

Esperamos que o leitor se deleite nas pesquisas selecionadas e que estas possam contribuir para a produção de ainda mais pesquisas. Boa Leitura!

Franciele Braga Machado Túllio  
Lucio Mauro Braga Machado

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A RELEVÂNCIA DA PRODUÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA CIENTÍFICA NO ENSINO SUPERIOR DOS CURSOS DE ENGENHARIA	
Fabiano Battemarco da Silva Martins Patrícia Guedes Pimentel Marcelo de Jesus Rodrigues da Nóbrega	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
APLICATIVO DEDICADO AO DIMENSIONAMENTO DE PARAQUEDAS	
Rafael Andrade E Silva Maurício Guimarães da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA PRODUÇÃO E EXPORTAÇÃO DE SOJA NO ESTADO DO TOCANTINS ATÉ 2025	
Laina Pires Rosa Leandra Cristina Crema Cruz Pedro Alexandre da Cruz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>39</b>
APPROACH PROPOSAL FOR CRITICAL SOFTWARE PROCESSES SELECTION FOR SPACE PROJECTS IN VERY SMALL ENTITIES (VSE)	
Gledson Hernandes Diniz Ana Maria Ambrosio Carlos Henrique Netto Lahoz Benedito Massayuki Sakugawa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
APRIMORAMENTO DE UM MÉTODO DE PREDIÇÃO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS MILITARES E ESPACIAIS	
Carlos Eduardo da Silva Santos Ana Paula de Sá Santos Rabello Marcelo Lopes de Oliveira e Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
CADEIA DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO NO BRASIL EM UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	
Pedro Henrique Beghelli Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos Maria Vitória Duarte Ferrari	
<b>DOI 10.22533/at.ed.1102013016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 77**

**CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO**

João Vitor Silveira Cercená  
Ana Carolina Marcelo da Silva  
Luiz Gustavo de Souza Soares  
Vaime Trescher de Morais Junior

**DOI 10.22533/at.ed.1102013017**

**CAPÍTULO 8 ..... 86**

**EFEITO DA ADIÇÃO DE 0,15%ZR E DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA LIGA AL-6%MG NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

Beatriz Seabra Melo  
Natália Luiza Abucater Brum  
Vinicius Silva dos Reis  
Victor Lima Melo  
Mateus José Araújo de Souza  
Carlos Vinicius de Paes Santos  
Marielle Maria Medeiros Vital  
Adriano Aleixo Rodrigues  
Denyson Teixeira Almeida  
Altino dos Santos Fonseca  
Emerson Rodrigues Prazeres  
José Maria do Vale Quaresma

**DOI 10.22533/at.ed.1102013018**

**CAPÍTULO 9 ..... 99**

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO AMBIENTE ORGANIZACIONAL DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS DA ÁREA DE SAÚDE**

Larissa de Carvalho  
Daniele Martins de Almeida  
Rubya Vieira de Mello Campos  
Rony Peterson da Rocha

**DOI 10.22533/at.ed.1102013019**

**CAPÍTULO 10 ..... 110**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA PARA O EMPREGO DE MADEIRAS “ALTERNATIVAS” EM ESTRUTURA TRELIÇADA (BANZOS PARALELOS) PARA COBERTURA (TELHADO DE AÇO – INCLINAÇÃO 10°), COM VÃOS ENTRE 16 A 26 METROS**

Allan Christian Alves da Luz  
Roberto Vasconcelos Pinheiro  
André Luís Christoforo  
Francisco Antônio Rocco Lahr

**DOI 10.22533/at.ed.11020130110**

**CAPÍTULO 11 ..... 125**

**METODOLOGIA DE PESQUISA PARA ENGENHARIAS**

Ricardo Junior de Oliveira Silva  
Dayse Mendes  
Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

**DOI 10.22533/at.ed.11020130111**

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>132</b>
PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO	
Márcia de Fátima Morais	
Rony Peterson da Rocha	
Larissa de Carvalho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11020130112</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>147</b>
SATELLITE TELEMETRY AND IMAGE RECEPTION WITH SOFTWARE DEFINED RADIO APPLIED TO SPACE OUTREACH PROJECTS IN BRAZIL	
David Julian Molano Peralta	
Douglas Soares dos Santos	
Auro Tikami	
Walter Abrahão dos Santos	
Edson Wander do Rego Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11020130113</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>165</b>
SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO DE ACESSO EM AMBIENTE ESCOLAR PARA CONTROLE DE SEGURANÇA	
Gleison Stopassola	
Alexandre Dalla'Rosa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11020130114</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>174</b>
TESTE EM COMPONENTE CRÍTICO DE USO ESPACIAL: ENSAIO DE DOSE IONIZANTE TOTAL, (TID - TOTAL IONIZING DOSE) EM TRANSISTORES 2N2222A	
Bruno Carneiro Junqueira	
Silvio Manea	
Rafael Galhardo Vaz	
Odair Lelis Gonzalez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11020130115</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>185</b>
UM BREVE ESTUDO SOBRE AS CÔNICAS E SUAS APLICAÇÕES	
Wendell de Queiróz Lamas	
Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.11020130116</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>199</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>200</b>

## PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO: UMA VISÃO GERAL DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Data de aceite: 03/12/2019

### Márcia de Fátima Morais

UNESPAR, Colegiado de Engenharia de  
Produção Agroindustrial  
Campo Mourão - Paraná

### Rony Peterson da Rocha

UNESPAR, Colegiado de Engenharia de  
Produção Agroindustrial  
Campo Mourão – Paraná

### Larissa de Carvalho

UNESPAR, Curso de Engenharia de Produção  
Agroindustrial  
Campo Mourão - Paraná

**RESUMO:** O campo dos métodos de solução aplicados aos problemas de programação da produção vem crescendo rapidamente, devido à importância dos processos decisórios desta atividade para o mundo industrial. Diferentes caminhos para classificar e descrever os métodos de solução, dependendo das características selecionadas para diferenciá-los, são verificados na literatura especializada. Neste contexto, a pesquisa aqui apresentada, tem como objetivo fornecer uma visão geral dos principais métodos de solução aplicáveis aos problemas de programação da produção, por meio de uma classificação proposta. Neste artigo os métodos de soluções para problemas de

programação da produção foram categorizados em exatos ou ótimos e em aproximados ou heurísticos, e os métodos de soluções aproximadas foram categorizados em regras de prioridades, heurísticas e metaheurísticas. Sete tipos de métodos de soluções exatas e treze tipos de métodos de soluções aproximadas são apresentados neste artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Programação da Produção; Métodos de Solução; Classificação; Panorama.

### PRODUCTION SCHEDULING PROBLEMS: AN OVERVIEW OF SOLUTION METHODS

**ABSTRACT:** The field of solution methods applied to production scheduling problems has been growing rapidly due to the importance of the decision making processes of this activity for the industrial world. In the specialized literature, are verified, different ways to classify and describe solution methods, depending on the characteristics selected to differentiate them. In this context, the research presented here aims to provide an overview of the main solution methods applicable to production scheduling problems through a proposed classification. In this paper the solution methods for production scheduling problems were categorized into exact or optimal and approximate or heuristic, and the approximate solution methods were

categorized into priority rules, heuristic, and metaheuristic. Seven types of exact solution methods and thirteen types of approximate solution methods are presented in this article.

**KEYWORDS:** Production Scheduling; Solution Methods; Classification; Exact or Optimal; Approximate or Heuristic.

## 1 | INTRODUÇÃO

A pesquisa aqui apresentada enquadra-se em duas das dez grandes áreas de conhecimento de Engenharia de Produção: i) A engenharia de operações e processos da Produção que trata de projetos, operações e melhorias dos sistemas que criam e entregam os produtos (bens ou serviços) primários da empresa; e ii) A pesquisa operacional que engloba a resolução de problemas reais envolvendo situações de tomada de decisão, através de modelos matemáticos habitualmente processados computacionalmente, aplicando conceitos e métodos de outras disciplinas científicas na concepção, no planejamento ou na operação de sistemas para atingir seus objetivos (ABEPRO, 2008).

A programação da produção é uma das atividades executadas pelo planejamento, programação e controle da produção (PPCP) que constitui uma parte central dos processos associados à produção. A necessidade de aperfeiçoamento nos processos produtivos e de decisões tem levado as empresas a buscarem os melhores mecanismos para auxiliar nas análises de decisões e resultados da empresa. Neste contexto, a pesquisa operacional pode ser caracterizada como um dos mecanismos mais utilizados.

O campo dos métodos de solução aplicados aos problemas de programação da produção está crescendo rapidamente, devido à importância destes processos decisórios para o mundo industrial. Verifica-se na literatura, a existência de diferentes caminhos para classificar e descrever os métodos de solução, dependendo das características selecionadas para diferenciá-los (BLUM; ROLI, 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral dos métodos de solução aplicáveis aos problemas de programação da produção, por meio de uma classificação proposta. Não se pretende neste estudo fornecer uma prescrição para a construção dos métodos de solução, nem julgar os méritos relativos aos diferentes métodos de solução.

Este artigo encontra-se estruturado em cinco seções. Após a contextualização e ambientalização da pesquisa, o referencial teórico-conceitual referente aos problemas de programação da produção é exposto. Em seguida, é apresentada a metodologia da pesquisa, que contempla uma proposta de classificação para os métodos de solução. Na quarta parte, de acordo com a classificação proposta,

os principais métodos solução para problema de programação da produção são explicitados. Por fim, têm-se as considerações finais.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO: PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

### 2.1 Caracterização dos problemas de programação da produção

A programação da produção determina o sequenciamento de tarefas em máquinas, especificando os tempos de início e fim de processamento de cada tarefa. Em outras palavras, “problemas de programação consistem em determinar a ordem ou sequência em que as máquinas irão processar as tarefas de modo a otimizar alguma medida de desempenho” (JOHNSON; MONTGOMERY, 1974). Neste contexto, a programação da produção “pode ser definida como a alocação de recursos ao longo do tempo para executar tarefas para melhor atender um conjunto de critérios pré-definidos” (MACCARTHY; LIU, 1993).

Cada tarefa compreende um conjunto de operações a ser executado. As operações requerem recursos e devem ser executadas de acordo com alguma sequência tecnológica viável, segundo Morton; Pentico (1993) e Pinedo (2008). Mais formalmente, um problema de programação da produção surge em situações em que se requer que um conjunto de  $n$  tarefas  $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$  sejam processadas em  $m$  máquinas  $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$  disponíveis (FRENCH, 1982).

De acordo com Pinedo (2008), se uma tarefa requer um número de etapas de processamento ou operações, então o par  $(i, j)$  refere-se à etapa de processamento ou operação da tarefa  $j$  na máquina  $i$ . Além disso, em cada operação  $op_{ij}$  existe um tempo de processamento  $p_{ij}$  associado. Segundo Pinedo (2008) cada tarefa  $j$  está associada a uma data a partir da qual a tarefa pode ser executada (*realise date* ou *ready date* -  $r_j$ ), assim como a uma data em que a tarefa deve estar concluída (*due date* -  $d_j$ ). Cada tarefa também pode estar associada a um peso ( $w_j$ ) que é basicamente um fator de prioridade, denotando a importância da tarefa  $j$  relativa a outras tarefas no sistema.

As hipóteses básicas de um problema de programação da produção são: i) Hipóteses sobre as tarefas; ii) Hipóteses sobre as máquinas; e iii) Hipóteses sobre políticas de operações (CONWAY; MAXWELL; MILLER (1967), GUPTA (1979), FRENCH (1982), HAX; CANDEA (1984), MACCARTHY; LIU (1993) e GUPTA; STAFFORD JR. (2006). Segundo Hax; Candea (1984) uma vez que o problema básico é uma simplificação da maioria das situações reais, sua investigação pode trazer muitas informações úteis para o tratamento dos problemas de programação.

De acordo com Gupta; Stafford Jr. (2006) os pesquisadores no decorrer dos anos vêm relaxando ou modificando as hipóteses básicas de forma a obter problemas mais realistas, ou seja, vêm considerando que a programação da produção está

sujeita a restrições que descrevem situações específicas.

## 2.2 Ambientes de máquinas em problemas de programação

Os possíveis ambientes de máquinas em problemas de programação são sumarizados no Quadro 1.

Ambiente de Máquinas	Características
Máquina Única	Existe apenas uma máquina a ser utilizada.
Máquinas Paralelas	Existem duas ou mais máquinas em paralelo, sendo que, uma tarefa, pode ser processada em qualquer uma das máquinas. As máquinas em paralelo podem ser: Idênticas; Proporcionais ou Uniformes; ou Não Relacionadas.
<i>Flow Shop/Flow Shop Tradicional</i>	Todas as tarefas têm o mesmo fluxo de processamento nas máquinas.
<i>Flow Shop Permutacional</i>	<i>Flow Shop</i> no qual a ordem de processamento das tarefas deve ser a mesma em todas as máquinas.
<i>Job Shop</i>	Cada tarefa tem sua própria ordem de processamento nas máquinas.
<i>Flow Shop com Máquinas Múltiplas (Flow Shop Híbrido)</i>	<i>Flow Shop</i> em que, em pelo menos um dos estágios de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.
<i>Job Shop com Máquinas Múltiplas (Job Shop Híbrido)</i>	<i>Job Shop</i> em que, em pelo menos um dos estágios de produção existe um conjunto de máquinas paralelas.
<i>Open Shop</i>	Não há fluxo definido (específico) para as tarefas serem processadas nas máquinas.

Quadro 1 – Ambientes de Máquinas em Problemas de Programação

Fonte: MacCarthy; Liu (1993), Pinedo (2008) e Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008)

## 2.3 Características das tarefas em problemas de programação da produção

Na literatura pode ser verificado um grande número de características relativas às tarefas que podem ser verificadas nos diferentes ambientes de máquinas. As principais características verificadas nos diferentes tipos de problemas de programação, de acordo com Pinedo (2008), Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008) e Baker; Scudder (1990) são sumarizadas no Quadro 2.

Características das Tarefas	Descrição
Datas de Liberação ( $r_j$ )	Datas a partir da qual a tarefa pode ser executada. Se uma data de liberação para uma tarefa não for definida, a mesma pode ter seu processamento iniciado em qualquer tempo.
Datas de Entrega ( $d_j$ )	Prazo de entrega final de uma tarefa. As datas de entrega das tarefas podem ser classificadas em: comuns; distintas; e com tolerância ou janelas de tempo.

Precedência ( <i>prec</i> )	Indicam que uma ou mais tarefas devem ser concluídas antes que outra tarefa tenha seu processamento iniciado. Existem diversas formas de restrições de precedência, como segue: se cada tarefa tem no máximo um predecessor e um sucessor, as restrições são referidas como cadeias ( <i>prec chain</i> ); se cada tarefa tem no máximo um sucessor ( <i>prec in tree</i> ); e se cada tarefa tem no máximo um predecessor ( <i>prec out tree</i> ).
Interrupções ( <i>prmp</i> )	Implica que não é necessário manter uma tarefa na máquina, uma vez iniciada sua execução, até a sua conclusão. É permitido ao programador interromper o processamento de uma tarefa a qualquer momento e processar uma tarefa diferente na máquina. O processamento já realizado da tarefa na máquina não é perdido.
Bloqueio de Máquinas ( <i>block</i> )	Uma tarefa após a conclusão de seu processamento numa máquina bloqueia a máquina se a máquina seguinte estiver ocupada processando outra tarefa.
No-Wait ( <i>nwt</i> )	Situação em que não é permitido que tarefas esperem entre duas máquinas sucessivas. Isso implica que o tempo de início de uma tarefa no primeiro estágio tem que ser atrasado para garantir que a tarefa possa passar pelo sistema sem ter que esperar em qualquer máquina.
Quebras de Máquinas ( <i>brkdown</i> )	Implica que uma máquina pode não estar disponível continuamente. Pode ocorrer quando as máquinas estão em operação, durante a realização do <i>setup</i> da máquina para uma tarefa ou quando uma tarefa está sendo removida.
Elegibilidade de Máquinas ( <i>Mj</i> )	Este caso aparece em ambientes de máquinas paralelas e <i>flow shop</i> híbrido e ocorre quando uma tarefa deve ser processada em uma máquina ou tipo de máquina específico.
Presença de <i>Setup</i>	Neste caso a influência dos <i>setups</i> não permite que estes sejam incorporados aos tempos de processamento. Os <i>setups</i> , nestes casos podem ser independentes ou dependentes da sequência e podem também ser realizados antecipadamente ou não.
Processamento em Lotes ( <i>batch</i> )	Caso uma máquina seja capaz de processar um número de tarefas simultaneamente e as tarefas são agrupadas para processamento em lotes.

Quadro 2 – Características das Tarefas em Problemas de Programação

Fonte: Pinedo (2008); Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008); Baker; Scudder (1990)

## 2.4 Critérios de otimização em problemas de programação da produção

A programação da produção é sempre realizada buscando atingir um critério (objetivo), ou conjunto de critérios, geralmente relacionados com os objetivos de desempenho da produção. De acordo com Almeida (1995) os critérios de otimização adotados nos problemas de programação permitem avaliar o grau de sucesso da programação realizada.

Os critérios de otimização mais comumente adotados em problemas de programação são sumarizados no Quadro 3.

<b>Critérios de Otimização</b>	<b>Descrição</b>
Data de término da tarefa j (Completion Time - $C_j$ )	Corresponde ao período desde o início da programação na data zero até ao momento em que a tarefa j é finalizada.
Duração total da programação (Makespan - $C_{max}$ )	Corresponde ao máximo ( $C_1, C_2, \dots, C_j$ ), que é equivalente ao tempo de conclusão da última tarefa a deixar o sistema.
Tempo de fluxo da tarefa j (Flow Time - $F_j$ )	Corresponde ao tempo entre o momento que a tarefa está disponível para ser processada e o momento em que ela é completada, correspondendo, então, ao tempo que a tarefa j permanece no sistema.
Atraso da tarefa j (Lateness - $L_j$ )	Corresponde ao desvio entre o tempo de conclusão da tarefa e sua data de entrega. O lateness de uma tarefa j é definido como: $L_j = C_j - d_j$ .
Adiantamento da tarefa Jj (Earliness - $E_j$ )	Corresponde ao desvio entre o tempo de conclusão da tarefa e sua data de entrega. O earliness de uma tarefa j é definido como: $E_j = \max(d_j - C_j, 0)$ .
Atraso da tarefa j (Tardiness - $T_j$ )	Corresponde ao atraso, na execução da tarefa, em relação à sua data de entrega. O tardiness de uma tarefa j é definido como: $T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0)$ .

Quadro 3 – Critérios de Otimização Adotados em Problemas de Programação da Produção.

Fonte: French (1982); Bedworth; Bailey (1987); MacCarthy; Liu (1993); Morton; Pentico (1993); Pinedo (2008)

De acordo com Allahverdi et al. (1999) e Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008) outros critérios de otimização utilizados para resolver problemas de programação são: Tempo Médio de Conclusão ( $\Sigma C_j/n$ ); Tempo Total de Conclusão ( $\Sigma C_j$ ); Tempo Total de Conclusão Ponderado ( $\Sigma w_j C_j$ ); Tempo Total de Fluxo ( $\Sigma F_j$ ); Tempo Médio de Fluxo ( $\Sigma F_j/n$ ); Tempo Total de Fluxo Ponderado ( $\Sigma w_j F_j$ ); Lateness Máximo ( $L_{max}$ ); Lateness Total ( $\Sigma L_j$ ); Total Lateness Total Ponderado ( $\Sigma w_j L_j$ ); Tardiness Máximo ( $T_{max}$ ); Tardiness Total ( $\Sigma T_j$ ); Tardiness Médio ( $\Sigma T_j/n$ ); Tardiness Total Ponderado ( $\Sigma w_j T_j$ ); Earliness Máximo ( $E_{max}$ ); Earliness Total ( $\Sigma E_j$ ); Earliness Médio ( $\Sigma E_j/n$ ); Earliness Total Ponderado ( $\Sigma w_j E_j$ ); Tempo de Espera da Tarefa ( $W_j$ ); Tempo Total de Espera ( $\Sigma W_j$ ), Tempo Médio de Espera ( $\Sigma W_j/n$ ); Tempo Total de Espera Ponderado ( $\Sigma w_j W_j$ ); Tempo Médio de Espera ( $\Sigma W_j/n$ ); Número de Tarefas em Atraso ( $\Sigma U_j$ ); e Número Médio de Tarefas em Atraso ( $\Sigma U_j/n$ ).

Além dos critérios de desempenho anteriormente mencionados, outros critérios tem sido reportados na literatura especializada. Portanto, o conjunto de critérios pode ser expandido.

### 3 I METODOLOGIA

A pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e explicativa, e quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado é o qualitativo, uma vez que visou identificar e descrever os principais métodos de

solução para o problema de programação da produção, disponíveis na literatura especializada.

O referencial teórico foi elaborado tendo como base livros, artigos científicos, teses e dissertações das áreas de Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional. Para a identificação dos principais métodos de solução para o problema de programação da produção foram investigadas as mesmas bases utilizadas para a construção do referencial teórico.

Os principais métodos de solução identificados na literatura pesquisada e aplicáveis aos problemas de programação da produção foram agrupados em dois grupos ou categorias, conforme ilustrado na Figura 1.

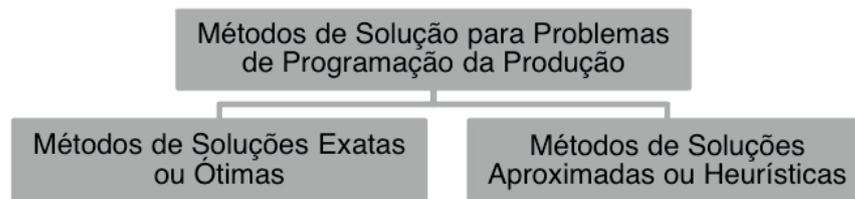


Figura 1 – Categoria dos Métodos de Solução para Problemas de Programação da Produção

Posteriormente, os métodos enquadrados na categoria de soluções aproximadas ou heurísticas foram agrupados em três grupos ou categorias, conforme ilustrado na Figura 2.

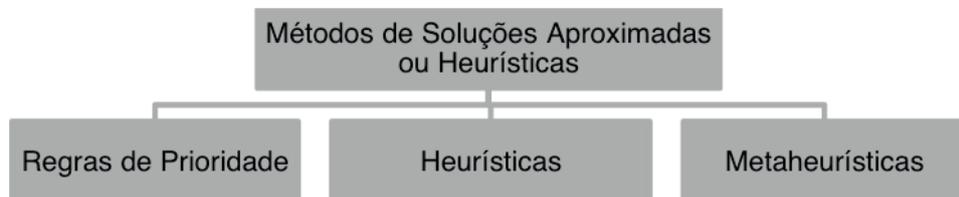


Figura 2 – Categoria dos Métodos de Soluções Aproximadas ou Heurísticas

Após a categorização dos métodos de solução identificados, as características básicas de cada método, extraídas da literatura especializada por meio do método de análise de conteúdo foram sumarizadas.

## 4 | MÉTODOS DE SOLUÇÃO PARA PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Soluções para os problemas de programação da produção nos diferentes tipos de ambientes de máquinas, independentemente das características das tarefas incorporadas aos problemas e dos critérios de otimização adotados, podem ser obtidas por meio da aplicação de Métodos de Soluções Exatas ou Ótimas ou Métodos de Soluções Aproximadas ou Heurísticas, discutidos nas subseções seguintes.

## 4.1 Métodos de soluções exatas

Métodos de Soluções Exatas são métodos que garantem a obtenção de uma solução ótima de acordo com o critério de desempenho adotado (função objetivo). Apesar dessa garantia, em problemas com certo grau de complexidade (em particular, a maioria dos problemas combinatórios de interesse), a determinação de uma solução ótima em tempo computacional aceitável para a aplicação em questão pode ser difícil ou até mesmo impossível (MORABITO; PUREZA, 2010).

Dentre os vários Métodos Exatos disponíveis na literatura para resolução de problemas de programação da produção, Nemhauser; Wolsey (1988), Arenales et al. (2007) e Stefanello (2011) destacam: *Branch-and-Bound*; Planos de Cortes; *Branch-and-Cut*; Geração de Colunas (Dantzig-Wolf); Relaxação Lagrangeana; Método de Benders; e Programação Dinâmica. As principais características destes métodos são apresentadas no Quadro 4.

Método	Características
Branch-and-Bound (B&B)	São algoritmos que realizam enumerações sistemáticas das soluções candidatas, de tal maneira que soluções infrutíferas são eliminadas com base em limites superiores e inferiores da variável a ser otimizada. Neste tipo de método, subproblemas consistindo de relaxações lineares do problema inteiro são gerados e organizados em estrutura de árvore. A análise dos limitantes permite que ramos da árvore sejam descartados sem que as possíveis soluções factíveis que representam sejam explicitamente obtidas.
Planos de Cortes	Algoritmos que buscam obter uma aproximação da envoltória convexa da região factível de um problema de programação inteira que contenha um ponto extremo correspondente a uma solução ótima. Essa aproximação é obtida por meio de cortes ou desigualdades válidas.
Branch-and-Cut (B&C)	Segue a mesma lógica do B&B, com a adição de vários cortes em cada um dos nós cuja relaxação é factível. Este método “combina estratégias dos métodos B&B e planos de cortes, com o objetivo de reduzir o número de nós na árvore B&B.
Geração de Colunas	É uma aplicação do princípio de decomposição, que envolve a resolução de diversos subproblemas de tamanho menor, tipicamente estruturados, em lugar da resolução do problema original, cujo tamanho e complexidade impedem que seja resolvido em tempo razoável.
Relaxação Lagrangeana	Resolve problemas de programação inteira relaxando algumas restrições do problema e impondo uma penalidade proporcional as quantidades pelas quais as restrições são violadas
Benders	Utiliza o conceito de projeção no espaço de variáveis complicadoras para então obter um problema, em geral, com uma estrutura mais fácil de resolução.
Programação Dinâmica	Consiste na decomposição do problema original em uma sequência de subproblemas menores e mais simples de serem resolvidos

Quadro 4 – Principais características dos Métodos de Soluções Exatas

Fonte: Morton; Pentico (1993); Quadt (2004); Arenales et al. (2007); Morabito; Pureza (2010)

## 4.2 Métodos de soluções aproximadas

Métodos de Soluções Aproximadas, comumente denominados Métodos Heurísticos, produzem soluções com base geralmente em informações e a intuição do analista acerca do problema e de sua estrutura. Em geral, requerem apenas uma fração do esforço computacional de um método exato e quando bem projetados geram soluções de alta qualidade, porém sem a garantia da otimalidade (MORABITO; PUREZA, 2010). Os Métodos de Soluções Aproximadas disponíveis na literatura pesquisada podem ser categorizados em: Regras de Prioridades; Heurísticas; e Metaheurísticas.

### 4.2.1 Regras de prioridade

Métodos de solução baseados em Regras de Prioridade constituem os Métodos Aproximados ou Heurísticas, considerados os métodos mais elementares para a solução de problemas de programação da produção. Métodos baseados em Regras de Prioridade podem ser utilizadas para a obtenção de boas soluções ou para a geração de soluções iniciais. Segundo Pereira (2011) Regras de Prioridade são largamente utilizados em operações dentro dos ambientes de produção.

Uma Regra de Prioridade ou regra de despacho é uma regra que estabelece a prioridade com que as tarefas serão processadas em uma máquina (CARVALHO, 2000). De acordo com Davis; Aquilano; Chase (2001) as Regras de Prioridade são utilizadas para se obter uma sequência para o processamento das tarefas. As Regras de Prioridade fornecem orientações para o sequenciamento das tarefas nas máquinas, seguindo algumas informações sobre as tarefas, tais como o tempo de processamento, a data de entrega ou a ordem de chegada.

As Regras de Prioridade são geralmente classificadas em: i) Local – as prioridades são definidas com base apenas nas tarefas que estão esperando naquele centro de trabalho específico; e ii) Global – as prioridades são definidas de acordo com fatores como a carga de trabalho programada nas demais estações de trabalho pelas quais a tarefa deve ser processada (REID; SANDERS, 2005). As Regras de Prioridade também podem ser classificadas em: i) estáticas – são regras que alteram as prioridades quando ocorrem mudanças no sistema produtivo; e ii) dinâmicas – são regras que acompanham as mudanças e alteram as prioridades, em função das mudanças verificadas (TUBINO, 2007).

A literatura (CONWAY; MAXWELL; MILLER, 1967, ALMEIDA, 1995, PINEDO, 2008 e FUCHIGAMI, 2010) aponta um grande número de regras que podem ser aplicadas a problemas de programação, tais como: SPT (Menor Tempo de Processamento – *Shortest Processing Time*); LPT (Maior Tempo de Processamento – *Longest Processing Time*); EDD (Menor Data de Liberação – *Earliest Due Date*);

ERD (Menor Data de Liberação - *Earliest Release Date*); MWKR (Maior Trabalho Remanescente – *Most Work Remaining*); LWKR (Menor Trabalho Remanescente – *Least Work Remaining*); MOPNR (Maior Número de Operações Remanescente – *Most Operations Remaining*); LOPNR (Menor Número de Operações Remanescente – *Least Operations Remaining*); MS (Menor Folga - *Minimum Slack*); SST (Menor Tempo de Setup - *Shortest Setup Time*); e CR (Razão Crítica – *Critical Ratio*).

É comum encontrarmos na literatura, variações das regras SPT e LPT que incorporam prioridades ou penalidades por atrasos ou antecipações, como por exemplo: WSPT (Menor Tempo de Processamento Ponderado – *Weighted Shortest Processing Time*); e WLPT (Maior Tempo de Processamento Ponderado – *Weighted Longest Processing Time*) (SILVER; PYKE; PERTERSON, 1998, PINEDO, 2008, FUCHIGAMI, 2010).

Algumas Regras de Prioridade mais elaboradas são basicamente uma combinação das regras elementares. Exemplos de regras mais elaboradas, denominadas regras de prioridade compostas, são: ATC (Custo Aparente de Atraso – *Apparent Tardiness Cost*); ATCS (Custo Aparente de Atraso com Setup – *Apparent Tardiness Cost with Setup*); e COVERT (Custo ao Longo do Tempo - *Cost Over Time*).

De acordo com Almeida (1995) a escolha de uma ou outra regra, depende de alguns fatores relacionados com o problema de programação em questão, tais como o tamanho do sistema, o número de tarefas a ser processada e o critério de otimização adotado.

#### 4.2.2 Heurísticas

As Heurísticas conseguem boas soluções empregando um esforço computacional relativamente baixo, mas sem a garantia da otimalidade (VOB, 2001). De acordo com Queiroz (2011). Heurísticas são procedimentos que procuram solucionar problemas de forma racional, explorando a estrutura do problema, com o objetivo de encontrar uma solução boa, e quando possível, a ótima.

Dentre os vários Métodos Heurísticos disponíveis para resolução de problemas combinatórios, Silver (2004) e Rodriguez (2006) destacam: métodos construtivos; métodos de decomposição ou partição; métodos indutivos ou de manipulação do modelo; métodos de redução do espaço de busca; e métodos de busca em vizinhança. As principais características destes métodos são apresentadas no Quadro 5 a seguir.

Método	Características
Construtivo	São aqueles que gradualmente adicionam componentes individuais à solução até que se obtenha uma solução factível. Tipicamente nenhuma solução é obtida até que o procedimento seja concluído
Decomposição ou partição	São métodos que dividem o problema em subproblemas menores, presumivelmente mais simples de resolverem, sendo a saída de um subproblema a entrada do subproblema seguinte. A resolução de todos os subproblemas fornece uma solução para o problema global
Indutivos ou de Manipulação	São métodos que consideram versões menores ou mais simples de um problema, modificando a estrutura do modelo com a finalidade de torná-lo mais fácil de resolver, e deduzindo, a partir de sua resolução, a solução do problema original
Redução do Espaço de Busca	São métodos que tem como a ideia básica a redução do espaço de busca, por meio da eliminação de soluções. Este tipo de método visa identificar alguma característica que presumivelmente deva aparecer na solução ótima para que desse modo seja possível a simplificação do problema. Uma forma de redução consiste em considerar somente soluções que satisfazem uma propriedade específica do problema
Busca em Vizinhança	São métodos que partem de uma solução inicial factível, gerada por uma heurística construtiva ou randomicamente. Soluções factíveis na vizinhança da solução corrente e que melhoram seu valor são então selecionadas de forma iterativa até que se satisfaça algum critério de parada. Este métodos também são conhecidos como métodos de Busca Local ou Heurísticas de Refinamento.

Quadro 5 – Principais características dos Métodos Heurísticos

Fonte: Silver (2004); Ribeiro (2009)

De acordo com Silver (2004) estes tipos de heurísticas não são necessariamente mutuamente exclusivas, quando utilizadas na solução de problemas combinatórios.

#### 4.2.3 Metaheurísticas

Metaheurísticas são procedimentos heurísticos sofisticados que coordenam estratégias de busca locais de nível mais elevado, criando um processo para superar ótimos locais, e efetuando uma busca da solução mais robusta para um problema (GLOVER; KOCHENBERGER, 2003). Dentre as metaheurísticas mais populares, destacam-se *Simulated Annealing*, *Tabu Search*, Algoritmos Genéticos, *Variable Neighborhood Search*, *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*, *Guided Local Search* e *Iterated Local Search*.

O *Simulated Annealing* (SA) é um método desenvolvido pela analogia entre o processo de resfriamento dos sólidos e o processo de otimização de um sistema (SILVER, 2004), onde os estados do sistema correspondem às soluções do problema, a energia dos estados corresponde à função objetivo, o estado fundamental corresponde à solução ótima, os estados meta-estáveis correspondem aos ótimos

locais e a temperatura corresponde a um parâmetro de controle.

A metaheurística *Tabu Search* (TS) sua forma mais simples é uma busca em vizinhança dotada de uma estrutura que armazena atributos das soluções geradas por um dado número de iterações. O termo tabu vem do fato de que soluções com estes atributos ativos são proibidas ou penalizadas pelo período especificado (MORTON; PENTICO, 1993).

Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms* - GA) são métodos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e genética. Em algoritmos genéticos a busca da solução se dá em um processo iterativo onde são realizadas operações de seleção, cruzamento e mutação. Os algoritmos genéticos trabalham sobre uma população de soluções, gerando uma nova população a cada iteração (LACERDA; CARVALHO; LUDERMIR, 2002).

O *Variable Neighborhood Search* (VNS) é um método que aplica explicitamente uma estratégia baseada na mudança dinâmica de estrutura de vizinhança (BLUM; ROLI, 2003). Segundo Silver (2004) o método VNS considera várias estruturas de vizinhança, em que dada uma solução corrente, uma solução é selecionada aleatoriamente da vizinhança. Um procedimento de melhoria local é aplicado resultando em um ótimo local.

O *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) é um método iterativo, composto de duas fases: construção probabilística de uma solução inicial e a melhoria da solução. A geração da solução inicial é feita por uma heurística construtiva gulosa com aleatoriedade controlada na escolha dos componentes da solução, ou seja, restrita aos componentes mais bem avaliados segundo a função objetivo. A solução inicial é então usada como ponto de partida para uma busca local tradicional ou metaheurística (ARROYO, 2002).

O *Guided Local Search* (GLS) é um método que aplica explicitamente uma estratégia baseada em estruturas de vizinhança dinâmica (BLUM; ROLI, 2003). A ideia básica é adicionar um conjunto de funções ponderadas à função objetivo original, em que características de soluções para o problema original são incorporadas nas funções ponderadas (SILVER, 2004).

*Iterated Local Search* (ILS) é um tipo de método que aplica um procedimento de busca local em uma solução inicial até a obtenção de um ótimo local. Essa solução é perturbada, obtendo-se nova solução. O procedimento de busca local é então aplicado a esta nova solução. O procedimento é encerrado de acordo com o critério de parada pré-estabelecido (BLUM; ROLI, 2003).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou os principais métodos de soluções exatas e de soluções

aproximadas disponíveis na literatura especializada. Foram identificados sete tipos de métodos de soluções exatas e treze tipos métodos de soluções aproximadas. Os métodos de soluções aproximadas foram categorizados em regras de prioridades, heurísticas e metaheurísticas. Ressalta-se que os métodos de soluções, quer sejam métodos exatos, quer sejam métodos aproximados, não se esgotam no referencial teórico-conceitual aqui apresentado.

Para os métodos aqui apresentados, sugere-se para trabalhos futuros a elaboração de descrições detalhadas que incorporem os procedimentos para construção dos métodos de solução aqui apresentados, as análises referentes aos méritos em termos de qualidade das soluções fornecidas e de desempenho computacional, bem como as principais variações e/ou adaptações desenvolvidas para os métodos.

Sugere-se também para trabalhos futuros que o referencial aqui explicitado seja expandido para incorporar outras categorias e métodos de solução, como por exemplo, a categoria de métodos bioinspirados baseados em populações, que incorporam os métodos evolutivos e os métodos de enxames.

## REFERÊNCIAS

ABEPRO. Áreas e Subáreas de Engenharia de Produção. 2008. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>>.

ALLAHVERDI, A.; CHENG, T. C. E.; KOVALYOV, M. Y. **A survey of scheduling problems with setup times or costs**. European Journal of Operational Research, 187, 2008, p. 985–1032.

ALLAHVERDI, A.; GUPTA, J.N.D.; ALDOWAISAN, T. **A review of scheduling research involving setup considerations**. Omega - The International Journal of Management Science, 27, 1999, p. 219-239.

ALMEIDA, A. M. N. **Escalonamento dinâmico de tarefas industriais sujeitas a prazos de entrega**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1995.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ARROYO, J. E. C. **Heurística e Metaheurística para Otimização Combinatória Multi-Objetivo**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica 2002. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

BAKER, K. R.; SCUDDER, G. D. **Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review**. Operations Research, 38, 1, 1990, p. 22-36.

BEDWORTH, D. D.; BAILEY, J. E. **Integrated Production Control Systems: management, analysis, design**. 2<sup>th</sup> edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

BLUM, C.; ROLI, A. **Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison**. ACM Computing Surveys, 35, 1, 2003, p.268-308.

CARVALHO, J. D. A. **Programação da Produção. Apontamentos. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas.** Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Minho, 2000. Disponível em [http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap03\\_Program.pdf](http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/Cap03_Program.pdf)

CONWAY, R. W.; MAXWELL, W. L.; MILLER, L. W. **Theory of scheduling.** Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1967.

DAVIS. M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos de Administração da Produção.** 3ª. ed. São Paulo: Bookman. Porto Alegre, 2001.

FRENCH, S. **Sequencing and scheduling: an introduction to the mathematics of the job shop.** New York: Wiley, 1982.

FUCHIGAMI, H.Y. **Programação de operações em máquinas.** Apostila. Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2010.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of Metaheuristics.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.

GUPTA, J.N.D. **A review of flowshop scheduling research.** In: RITZMAN, L.P.; KRAJEWSKI, L.J.; BERRY, W.L.; GOODMAN, S.T.; HARDY, S.T.; VITT, L.D. Disaggregation Problems in Manufacturing and Service Organizations. MartinusNijhoff, The Hague, 1979, pp. 363–388.

GUPTA, J.N.D.; STAFFORD JR. **Flowshop scheduling research after five decades.** European Journal of Operational Research, 169, 2006, p. 699-711.

HAX, A. C.; CANDEA, D. **Production and inventory management.** New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

JOHNSON S. M.; MONTGOMERY D. C. **Operations Research in Production, Planning, Scheduling and Inventory Control.** New York: Wiley, 1974.

LACERDA, E. G. M.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. **Um tutorial sobre algoritmos genéticos.** Revista de Informática Teórica e Aplicada, 9, 3, 2002, 109-139.

MACCARTHY, B. L.; LIU, J.Y. **Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling.** International Journal of Production Research, 31, n.1, 1993, p. 59- 79.

MORABITO, R.; PUREZA, V. **Modelagem e Simulação.** In: MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MORTON, T. E.; PENTICO, D. W. **Heuristic Scheduling Systems.** New York: Wiley, 1993.

NEMHAUSER, G.; WOLSEY, L. A. **Integer and Combinatorial Optimization.** New York: John Wiley and Sons, 1988.

PEREIRA, A. M. S. **Metaheurísticas para o problema de flowshop flexível com penalidades de adiantamento e atraso.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

PINEDO, M. **Scheduling: theory, algorithms, and systems.** 3ª. edição. New Jersey: Prentice-Hall, 2008.

QUADT, D. **Lot-sizing and scheduling for flexible flow lines. Lecture notes in economics and**

**mathematical systems.** Germany: Springer, 2004.

QUEIROZ, M. M. **Métodos heurísticos aplicados ao problema de programação de frotas de navios PLVs.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações.** Rio de Janeiro: LTC, 2005.

RIBEIRO, F. F. **Um algoritmo genético adaptativo para a resolução do problema de sequenciamento em uma máquina com penalização por antecipação e atraso da produção.** Dissertação (Mestrado). Programa de PósGraduação em Modelagem Matemática e Computacional. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUEZ, C. O. R. **Um algoritmo Grasp con doble relajación para resolver el problema de flow shop scheduling.** Monografia (Graduação). Facultad de Ciencias e Ingenieria. Pontificia Universidad Católica del Peru. Lima, 2006.

SILVER, E. A. **An overview of heuristic solution methods.** Journal of the Operational Research Society, 55, 2004, p. 936-956.

SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. **Inventory, Management and Production Planning and Scheduling.** 3<sup>th</sup>. edition. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

STEFANELLO, F. **Hibridização de métodos exatos e heurísticos para resolução de problemas de otimização combinatória.** Dissertação (mestrado). Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal de Santa Maria. Porto Alegre, 2011.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** São Paulo: Atlas, 2007.

VOB, S. **Metaheuristics: the state of the art.** In: NAREYEK, A. Local search for planning and scheduling. Berlin: LNAI, 2001.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Braga Machado Tullio** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

**Lucio Mauro Braga Machado** - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), Licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando na área de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aeroportos brasileiros 57, 58, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 72, 73, 74

Álgebra linear 185

ALT 48, 49, 50

Ambiente de tarefa 99, 101, 102

Ambiente espacial 174, 175

Ambiente geral 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108

Automatizado 77, 78, 79, 81, 85

### B

Banco de dados 51, 57, 165, 169, 170

### C

Cadeia de distribuição 57, 66, 71

Classificação 132, 133

Clima organizacional 99, 103, 104, 105, 106, 108, 109

Componente de satélite 174

Controle de acesso 165

Cortador-de-grama 77

### D

Dimensionamento 17, 18, 22, 24, 84, 112, 115, 120, 124

Dose ionizante total acumulada 174, 175

### E

Economia 75, 77, 105, 120, 193

Eficiência 23, 77, 85, 185

### F

Física da falha 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55

Foguete 17

### G

Geometria analítica 185, 197, 198

Ground stations 147, 148, 150

### L

LDA 48, 49, 50

Limite de resistência à tração 86, 87, 88, 92, 93, 94

## M

Metodologia científica 125, 126, 128, 129, 130, 131, 206

Métodos de pesquisa 125, 126, 129

Métodos de predição da confiabilidade 48, 52

Métodos de solução 132, 133, 138, 140, 144

Modelagem matemática 26, 28, 37, 146

Modelo de malthus 26, 31, 32, 35

Modelo de verhulst 26, 29, 31, 34, 35

## P

Panorama 70, 75, 132

Paraquedas 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25

Profiles 39, 41, 43, 46, 47

Programação da produção 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 145

## Q

Querosene de aviação 57, 58, 59, 61, 66, 69, 71, 75

## R

Refino de grãos 87

## S

Satellites 147, 148, 149, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Secções cônicas 185, 186, 187, 188, 197

Segurança 1, 77, 78, 79, 84, 85, 105, 115, 124, 165, 166, 167, 168, 171, 172, 206

Segurança escolar 165

Servidor web 165, 170

Software defined radio 147, 164

Software processes 39, 41, 43

Soja 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Space systems 147, 174

## T

Tocantins 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Transistor 2n2222a 174, 179, 180

## V

Vse 39, 41, 42, 46

## Z

Zircônio 86, 87, 88, 90, 97

