

INTRODUÇÃO AO PROBLEMA DE ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO

Editora Appris Ltda.

1ª Edição - Copyright© 2021 dos autores

Direitos de Edição Reservados à Editora Appris Ltda.

Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada indevidamente, sem estar de acordo com a Lei nº 9.610/98. Se incorreções forem encontradas, serão de exclusiva responsabilidade de seus organizadores. Foi realizado o Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional, de acordo com as Leis nos 10.994, de 14/12/2004, e 12.192, de 14/01/2010.

Catálogo na Fonte

Elaborado por: Josefina A. S. Guedes

Bibliotecária CRB 9/870

F811i Fraga, Tatiana Balbi
2021 Introdução ao problema de escalonamento da produção / Tatiana Balbi Fraga.
- 1. ed. - Curitiba : Appris, 2021.
65 p. ; 21 cm. - (Coleção geral).

Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-250-1259-9

1. Engenharia da produção. I. Título. II. Série.

CDD – 658.5

Livro de acordo com a normalização técnica da Vancouver

Appris
editora

Editora e Livraria Appris Ltda.
Av. Manoel Ribas, 2265 – Mercês
Curitiba/PR – CEP: 80810-002
Tel. (41) 3156 - 4731
www.editoraappris.com.br

Printed in Brazil
Impresso no Brasil

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO	13
1.1 Problemas de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo.....	15
1.2 Problemas de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo de Permutação	20
1.3 Problemas de Escalonamento da Produção em Oficina de Máquinas.....	22
1.4 Problemas de Escalonamento da Produção em Sistemas Abertos	24

CAPÍTULO 2

INTRODUÇÃO AOS ALGORITMOS DE SOLUÇÃO	27
2.1 Algoritmos de solução exatos	27
2.1.1 Algoritmo de Johnson	28
2.1.2 Algoritmos de Ramificação e Poda.....	33
2.1.2.1 Algoritmo de Ramificação e Poda de Ignall e Schrage	37
2.2 Algoritmos de Aproximação.....	48
2.2.1 Busca Tabu.....	49
2.2.1.1 Geração da solução inicial.....	50
2.2.1.2 Geração da vizinhança.....	50
2.2.1.3 Seleção da nova solução e lista tabu.....	51
2.2.1.4 Critérios de parada.....	52

BIBLIOGRAFIA	63
---------------------------	-----------

ÍNDICE REMISSIVO	65
-------------------------------	-----------

PROBLEMAS DE ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO

Toda indústria, independente do setor ao qual pertence, possui um ambiente fabril onde ocorre o processo de transformação da matéria prima e/ou subcomponentes, em componentes (utilizados em outros processos internos) ou produtos finais (que serão comercializados pela empresa). Esse ambiente, normalmente conhecido como chão de fábrica, é composto por um conjunto de recursos ditos transformadores, tais como máquinas, ferramentas e funcionários. Tais recursos serão responsáveis por operacionalizar o processo de transformação.

Figura 1.1 – Chão de fábrica de uma empresa do setor moveleiro.



Fonte: setormoveleiro.com.br.

Diariamente, lotes de diferentes produtos devem ser processados pelos distintos recursos transformadores, de acordo com restrições tecnológicas próprias de cada produto específico. O processamento

de cada lote de produtos exige uma série de operações, cada qual utilizando um, ou um conjunto, de recursos transformadores específicos durante determinado tempo de processamento. O conjunto de todas as operações necessárias ao processamento completo de determinado lote de produtos é definido como tarefa. Tendo em vista que, periodicamente, no chão de fábrica, são processadas de forma simultânea um conjunto distinto de tarefas, as quais disputam pela utilização dos diferentes recursos transformadores, de acordo com suas necessidades específicas, surge nesse ambiente um importante problema que consiste em determinar qual ou quais recursos serão responsáveis pelo processamento de cada operação e em qual momento as diversas operações serão processadas em seus devidos processadores. Essa decisão deve ser feita atendendo a restrições tecnológicas de cada processo específico e de forma a otimizar os objetivos definidos para a produção, tais como minimizar custos, maximizar a eficiência do processo, minimizar atrasos de entrega etc. Esse problema é definido como Problema de Escalonamento da Produção.

A literatura brasileira utiliza outras nomenclaturas para o mesmo problema, tais como Problema de Sequenciamento da Produção e Problema de Programação da Produção. Na língua inglesa nomenclaturas semelhantes já foram descartadas e adotou-se o termo *Machine Scheduling Problem*. Este livro propõe que essas sejam também descartadas na língua portuguesa, por três razões muito simples: 1) O termo “Sequenciamento da Produção” é vago e não traduz em toda a sua complexidade a natureza do problema tratado; 2) O termo “Programação da Produção” gera confusão com a palavra “Programação”, que tem como significado “desenvolvimento de programa de computador” entre outros; e 3) O termo “Escalonamento da Produção” é o termo técnico utilizado dentro das indústrias e tem como significado “organização segundo um dado critério”, que é bem específico e atende ao objetivo proposto.

O Problema de Escalonamento da Produção surge pela primeira vez na literatura na década de 1950 com o trabalho publicado por Johnson [2]. Nesse trabalho, Johnson propõe um método pelo qual

são construídas soluções ótimas para problemas com exatamente duas máquinas. Da década de 1950 aos dias atuais, houve um grande avanço relacionado à aproximação entre os problemas tratados na literatura e muitas das características associadas a problemas reais de escalonamento. Contudo uma considerável parte da literatura é voltada para o desenvolvimento de metodologias de solução cada vez mais eficientes e robustas. Para tanto, foram consolidadas algumas simplificações dos problemas reais de escalonamento que no presente livro serão definidas como Problemas Padrões de Escalonamento da Produção ou, de forma resumida, como Problemas Padrões. Dentre esses, tiveram destaque: Problemas de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo; Problemas de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo de Permutação; Problemas de Escalonamento da Produção em Oficina de Máquinas; e Problemas de Escalonamento da Produção em Sistemas Abertos. Nas próximas seções estes problemas serão apresentados de forma mais detalhada.

Exercícios

1. Explique com suas palavras:
 - a) o que são recursos transformadores;
 - b) o que é uma operação;
 - c) o que é uma tarefa;
 - d) o que é um Problema de Escalonamento da Produção.
-

1.1 Problemas de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo

Em um Problema de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo, PEPFC ou FSSP (do inglês, *Flow Shop Scheduling Problem*), considera-se um conjunto de máquinas, $M = \{M_k\}_{k=1}^m$, e um conjunto de tarefas, $J = \{J_i\}_{i=1}^n$. Cada tarefa J_i deve ser processada uma e uma única vez em cada máquina M_k , durante um tempo de

processamento ininterrupto, fixo e conhecido, t_{ik} . Adicionalmente, cada máquina pode processar uma única tarefa por vez, cada tarefa pode ser processada por uma única máquina em cada momento, e a sequência de máquinas de acordo com a qual as tarefas serão processadas deve ser a mesma para todas as tarefas, ou seja, todas as tarefas devem ser primeiro processadas na máquina M_1 , depois na M_2 , e assim sucessivamente. Nesse contexto, define-se como operação O_{ik} a parte da tarefa J_i que deve ser processada pela máquina M_k durante t_{ik} unidades de tempo. O problema consiste em determinar o momento inicial de processamento, S_{ik} , de cada operação O_{ik} de forma a minimizar o tempo total necessário ao processamento do conjunto de tarefas, ou seja, o momento de término da última operação finalizada, C_{\max} , em inglês usualmente referido como *makespan*. Para melhor compreensão desse problema, considere o PEPFC, apresentado na Tabela 1.1, a seguir:

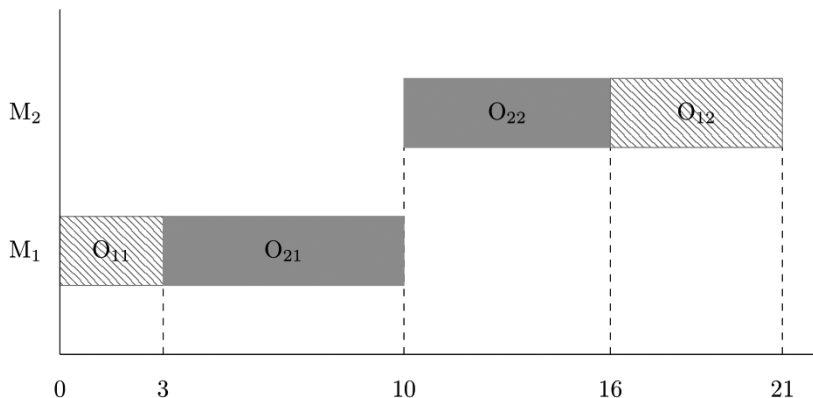
Tabela 1.1 – Problema de Escalonamento da Produção em Fluxo Contínuo com duas máquinas e duas tarefas.

Tarefa	Máquina	
	M_1	M_2
J_1	3	5
J_2	7	6

Fonte: a autora.

Essa tabela figura um exemplo de como instâncias de PEPFC são apresentadas na literatura. Conforme podemos verificar, são consideradas duas tarefas (J_1 e J_2) e duas máquinas (M_1 e M_2). A primeira tarefa deve ser processada inicialmente na máquina M_1 , durante três unidades de tempo, e em seguida na máquina M_2 , durante cinco unidades de tempo. Já a tarefa J_2 deve ser processada inicialmente na máquina M_1 , durante sete unidades de tempo, e em seguida na máquina M_2 , durante seis unidades de tempo. A Figura 1.2 mostra uma possível solução para esse problema com *makespan* igual a 21. Essa solução apresenta o momento inicial e o momento final de processamento para cada operação de cada tarefa.

Figura 1.2 – Solução possível para o problema apresentado na Tabela 1.1, representada em um gráfico de Gantt.



Fonte: a autora.

Observe que, para cada operação O_{ik} , exceto para a primeira operação de cada tarefa, existe uma operação que lhe precede imediatamente de acordo com a ordem de processamento das operações da respectiva tarefa, $DJP(O_{ik})$. Uma vez definida uma solução, para cada operação O_{ik} processada em determinada máquina M_k , exceto para a primeira na ordem de processamento desta máquina, existirá igualmente uma operação que lhe precede imediatamente de acordo com a ordem de processamento das operações na respectiva máquina, $DMP(O_{ik})$. Assim, sendo C_{ik} o momento de término do processamento da operação O_{ik} , temos que, para determinada solução:

$$S_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{se } DJP(O_{ik}) = \emptyset \wedge DMP(O_{ik}) = \emptyset \\ C_{il} & \text{se } DJP(O_{ik}) \neq \emptyset \wedge DMP(O_{ik}) = \emptyset \\ C_{jk} & \text{se } DJP(O_{ik}) = \emptyset \wedge DMP(O_{ik}) \neq \emptyset \\ \max \{C_{il}, C_{jk}\} & \text{se } DJP(O_{ik}) \neq \emptyset \vee DMP(O_{ik}) \neq \emptyset \end{cases} \quad (1.1)$$

onde: $O_{il} = DJP(O_{ik})$, $O_{jk} = DMP(O_{ik})$
 $i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, m$

e