

# Problema de Programação da Produção um Esquema de Classificação

Oscar Ciro López, Dr.<sup>1</sup>  
Prof. Ricardo M. Barcia, Ph.D<sup>1</sup>  
Prof. Osama Eyada, Ph.D<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Cx.P. 476 Tel: (048) 2341255 / 2319596

Universidade Federal de Santa Catarina,  
CEP 88040-900 - Florianópolis - SC

<sup>2</sup>Department of Industrial and System Engineering  
Virginia Polytechnic Institute and State University  
Blacksburg, Virginia 24061-0118 - USA

**Palavras Chave:** Programação, Sequenciamento, Problemas de Produção, Classificação da Produção

**Key Words:** Scheduling, Sequencing, Production Problems, Production Classification

## RESUMO

Muitas vezes, não é simples encontrar uma classificação exata para os problemas de programação, não somente porque existem diferentes versões para um dado problema, mas, porque vários procedimentos para uma questão particular, são caracterizados por premissas diferentes e limitações de aplicação dos modelos desenvolvidos. O objetivo deste artigo é delinear uma classificação ampla que permita estabelecer o sentido, direção e perspectiva de pesquisas conduzidas na área. O trabalho não tem a intenção de dar um levantamento exaustivo da literatura de programação da produção, que pode ser encontrado em vários outros trabalhos de revisão.

## ABSTRACT

*It is the purpose of this article to review the various solutions that have been proposed for the production scheduling problem. An attempt is made to give a classification scheme to categorize the existing procedures that allow to point out potential future courses of development. Emphasis is placed on the basic assumptions involved in each production sequencing problem rather than to approaches used to obtain a solution.*

## **Introdução**

O problema de programação pode ser definido, de um modo geral, como a alocação de recursos no tempo de forma a executar um conjunto de tarefas (MACCARTHY & LIU, 1993). Este conceito é de vital importância para várias atividades industriais, particularmente nos ambientes de manufatura e de projetos de construção.

Tipicamente, o problema de programação da produção envolve um conjunto de produtos que devem ser completados, onde cada produto utiliza um conjunto de operações para ser executado. As operações necessitam de máquinas e recursos materiais e devem ser realizadas seguindo alguma seqüência tecnológica. Desenvolver uma programação da produção envolve a seleção de uma seqüência de operações (ou rotas de processo) que resultará na realização do produto. Envolve também, a determinação dos recursos necessários para executar cada operação da rota, bem como a determinação das datas em que cada operação da rota começará e terminará (RODAMMER & WHITE, 1988). Portanto, a programação da produção é um problema que decide a ordem de execução de todos os produtos em cada máquina e que determina a data de início de cada operação de forma a otimizar uma função objetivo (BELLMAN *et al.* 1982).

Os problemas de programação da produção são reconhecidamente caracterizados por uma inerente dificuldade de solução, muitos dos quais são

NP-pesados, indicativo da intratabilidade de grandes e, freqüentemente, de problemas de tamanho moderados. Neste casos, é provável que seja necessário o emprego de heurísticas para encontrar uma aproximação da solução ótima.

Muitas vezes, não é simples encontrar uma classificação exata para os problemas de programação, não somente porque existem diferentes versões para um dado problema, mas, porque vários procedimentos para uma questão particular, são caracterizados por premissas diferentes e limitações de aplicação dos modelos desenvolvidos.

A intenção deste trabalho não é dar um levantamento exaustivo da literatura de programação da produção, que pode ser encontrado em vários trabalhos de revisão, tais como, Elmaghraby (1968), Bakshi e Arora (1969), Day e Hottenstein (1970), Lenstra *et al.* (1977), Panwalker e Iskander (1977), Godin (1978), Graham *et al.* (1979), King e Spachis (1980), Graves (1981), Rodammer e White Jr. (1988), Buxey (1989), Hendry e Kingsman (1989), Baker e Scudder (1990) e MacCarthy B.L. e Liu J. (1993). O objetivo aqui é delinear uma classificação ampla que permita estabelecer o sentido, direção e perspectiva de pesquisas conduzidas na área, assim como oferecer um resumo das principais abordagens e paradigmas desenvolvidos.

## **Problema de Programação da Produção**

O problema geral de programação da produção pode ser definida como: um

conjunto de  $n$  produtos  $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  deve ser processado em  $m$  máquinas  $\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$  disponíveis. Um subconjunto destas máquinas é requerido para completar o processamento de cada produto. O padrão de fluxo nas máquinas pode ou não ser fixado para algum ou todos os produtos. O processamento do produto  $J_i$  na máquina  $M_i$  é denominado de uma operação, denotado por  $O_{ij}$ . Para cada operação  $O_{ij}$ , existe um tempo de processamento  $t_{ij}$ , associado. O problema consiste em encontrar uma programação que otimize alguma medida de desempenho (MACCARTHY & LIU, 1993)..

Está bem estabelecido que a maioria dos problemas de programação da produção pertencem a classe dos NP-completos. Trabalhos relativos à complexidade e provas da NP-dureza de novos e velhos e já sedimentados modelos de programação da produção podem ser encontrados em Ullman (1975), Rinnooy Kan (1976); Ullman (1976), Garey *et al.* (1976), Lenstra *et al.* (1977), Lenstra (1977), Ibaraki (1977), Lenstra e Rinnooy Kan (1978), King e Spachi (1980), Goyal e Sriskandarajah (1988), Monma e Potts (1989), Kamoun e Sriskandarajah (1993), Chen e Bulfin (1993).

## Abordagens para o Problema

A grande maioria de procedimentos de programação, podem ser categorizados em dois principais grupos, baseados nas abordagens empregadas. o primeiro, e de

longe a maior categoria, denominado de *procedimentos heurísticos* objetiva produzir programações viáveis *boas*. O segundo grupo consiste dos procedimentos que procuram produzir a programação melhor ou ótima. Estes são denominados de *procedimentos ótimos*, também chamados *exatos* ou *analíticos* porque geralmente envolvem alguma forma de programação matemática ou outro procedimento analítico mais rigoroso.

Dentro de cada um destes grupos há possíveis esquemas de sub-categorização. Os procedimentos heurísticos por exemplo, podem ser divididos em duas classes (STORER, WU & VACCARI, 1992):

1. *heurísticas específicas*, desenvolvidas para cada tipo de problema, baseadas nas especificações da questão tratada (ex.<sup>1</sup> regras de *dispatching* e sequenciamento e abordagens de Sistemas Especialistas) e,

2. *heurísticas de busca local*, que são formas alternativas de busca do espaço de soluções baseadas no princípio da vizinhança<sup>2</sup>, como por exemplo: *hill climbing*, *steepest descent*, *Simulated Annealing (SA)*, Algoritmos Genéticos (AG) e *Tabu Search*.

Em relação aos procedimentos ótimos, outras duas classes principais podem ser identificadas (MACCARTHY & LIU, 1993):

1. *métodos ótimos eficientes*: são métodos que geram programações ótimas em tempo polinomial, e

2. *métodos ótimos enumerativos*: são

métodos que envolvem uma enumeração parcial do conjunto de todas as programações possíveis. Esta abordagem é desenvolvida baseada em dois conceitos principais (DAY & HOTTENSTEIN, 1970): a) o uso de uma técnica de enumeração controlada para considerar todas as soluções potenciais e, b) a eliminação de potenciais soluções inaceitáveis. As mais gerais são formulações de programação matemática, métodos de branch and bound e métodos de eliminação.

## **Classificação dos Problemas de Programação da Produção**

Diversos esquemas tem sido propostos para a categorização dos problemas de programação da produção. Conway *et al.* 1967 (in: MACCARTHY B.L. & LIU J. 1993) sugere um esquema de classificação baseado em quatro descritores  $A/B/C/D$ , onde  $A$  representa o número de produtos,  $B$  representa o número de máquinas,  $C$  representa o padrão de fluxo e futuras restrições tecnológicas e de administração e,  $D$  representa o critério a ser otimizado. Por exemplo,  $n/m/J/Cmax$  refere-se ao problema job shop com  $n$  produtos e  $m$  máquinas que objetiva minimizar o tempo total de processamento (makespan).

Lenstra (1977) introduz um parâmetro  $\lambda$  ao terceiro elemento desse esquema tradicional, para representar algumas variações relevantes. A notação  $n/m/1,\lambda k$ ,

é utilizada para representar nos dois primeiros parâmetros o número de produtos e de máquinas respectivamente,  $1$  assume um valor de acordo com o padrão de fluxo e o quarto elemento indica o critério de otimalidade.

Lenstra e Rinnooy Kan (1978) caracteriza cada problema de programação em outra classificação de quatro parâmetros  $\alpha/\beta/\gamma/\delta$ , onde  $\alpha$  indica o número de máquinas,  $\beta$  indica ou o tipo de restrições de precedências (*prec* ou *tree*) ou a ausência delas,  $\gamma$  indica ou a restrição que o *tempo de processamento*  $p_i$  pertence à  $\{\gamma\}$  para todo  $i$  pertencente à  $I$ , ou a ausência da mesma,  $\delta$  representa o critério de otimalidade.

Graham *et al.* (1979) apresenta uma notação baseada em três parâmetros  $\alpha/\beta/\gamma$  onde o primeiro elemento define o número de máquinas e o padrão de fluxo,  $\beta$  indica alguma restrição sobre os produtos e  $\gamma$  define o critério de programação.

O esquema aqui proposto para a classificação dos problemas de programação é baseado nas características gerais dos problemas e as hipóteses usuais feitas sobre os produtos, máquinas e tempos de processamento. Esta categorização pode ser considerada como uma macro-divisão dos problemas de programação da produção.

De acordo com King e Spachis (1980), Bellman *et al.* (1982) e Forst (1984) as premissas básicas para os produtos, máquinas e tempos de processamento geralmente assumidas na literatura são:

1. Premissas para os produtos

- Todos os  $n$  produtos a serem realizados estão simultaneamente disponíveis na data zero.
- As operações não podem ser interrompidas. Qualquer operação, uma vez começada deve continuar até a sua completa realização.
- Cada produto consiste de  $m$  operações que devem ser processadas em  $m$  máquinas.
- O processamento de qualquer operação não pode ser feito por mais do que uma máquina por vez.
- Não há ordem de prioridade entre os produtos e cada um tem o mesmo grau de importância
- É permitido estoques ilimitados de produtos em processo ou tempos de espera intermediários
- Uma data final (due-date) pode ser atribuída a cada produto.
- Cada produto pode ser processado em cada máquina uma única vez

2. Premissas para as máquinas

- A capacidade das máquinas e da mão-de-obra é fixa
- Todas as  $m$  máquinas estão disponíveis no início. Quebras e reparações não são permitidas durante o processo.
- Qualquer máquina pode processar qualquer produto.
- Existe uma máquina de cada tipo ou são arranjadas para trabalhar em paralelo uma independentemente da outra.
- Uma máquina não pode executar mais do que uma operação por vez
- Não é possível o intercâmbio de máquinas (flexibilidade).

3. Premissas para os tempos de processamento

- O tempo de processamento de cada operação é dado no início e permanece constante, independentemente da ordem de execução.
- O tempo de preparação e de transporte é incluído no tempo de processamento de uma operação.

## Esquema de Classificação Proposto

Vários problemas de programação da produção são caracterizados relaxando ou restringindo algumas das premissas descritas na seção anterior. Uma grande gama de resultados e variações existem para um vasto conjunto de especificações ou restrições dos problemas.

Por exemplo, pode-se encontrar problemas com: *restrições de precedências comuns* entre produtos ( $J_i$  precede  $J_j$ ), *restrições de precedências* entre produtos do tipo *árvore* (o grafo de precedência pode ter a forma de ramificações), possíveis *datas de liberação* não iguais para os produtos, não tem *datas de espera (no wait)* para os produtos entre o seu início e o tempo de realização, um limite superior constante para o *número de operações* por produtos, um limite superior constante para o *tempo de processamento*, rotas de *processo estáticas*, onde cada produto é executado em cada máquina exatamente um vez, em estrita seqüência tecnológica (entre produtos) ou, *rotas de processamento*

*dinâmicas*, onde a rota de processamento pode mudar dinamicamente pelo estado da planta (ex. disponibilidade de recursos) ou pelas condições do trabalho (ex. necessidade de retrabalho).

Consequentemente, com isto em mente, um esquema para classificar os problemas de produção é ilustrado na Figura 1.

Este esquema mostra que os problemas de programação podem ser classificados de acordo com:

### 1. As restrições tecnológicas dos produtos (COFFMAN JR. 1976)

- *O caso de processamento sem interrupção*: cada operação uma vez iniciada deve ser executada até o seu término;
- *O caso com interrupção*: uma tarefa pode ser interrompida e removida do processador sob a hipótese de que, eventualmente, todo o tempo de processamento será realizado, e que não há perda do tempo já empregado devido à interrupção, ou seja, as tarefas interrompidas reiniciam a suas execuções no ponto que foram interrompidas.

### 2. O critério de programação (GRAVES 1970, RODAMMER & WHITE 1988 E MACCARTHY & LIU, 1993)

O critério indica a medida sobre a qual as programações, sob qualquer conjunto de premissas, são avaliadas. Neste sentido, duas classes de problemas podem ser identificadas:

- *Problemas de único critério*: as formulações tradicionais de programação da produção,

geralmente especificam um único critério, usualmente associados com custos ou desempenhos das programações. Critérios associados aos custos incluem custos de permanência de estoques, produção variável e custo de atrasos etc. Medidas comuns do desempenho da programação estão relacionados com a utilização eficiente dos níveis dos recursos de produção (makespan,  $C_{max}$ ), rápida resposta à demanda (tempo médio de processamento  $C$ , tempo médio de espera  $W$ ) e cumprimento de datas limites (atraso médio  $T$ , atraso máximo  $T_{max}$ , número de produtos atrasados  $N_T$ ).

- *Múltiplos critérios*: ambientes atuais de produção abrangem múltiplas, conflitantes e algumas vezes não comensuráveis restrições e objetivos de desempenho, como minimizar stresses operacionais, melhorar a estabilidade da programação, redução da ociosidade de máquinas para diminuir filas e estoques ou para assegurar a confiabilidade.

### 3. A geração de solicitações (GRAVES 1970)

- *open shop*: todas as ordens de produção são solicitações dos clientes e não há estoques finais
- *closed shop*: todas as solicitações dos clientes são atendidas pelos estoques e as tarefas de produção são geralmente, resultados de decisões de reposição de estoques. Este problema é mais conhecido como *problema de tamanho de lote*.

Outros nomes empregados para esta divisão são: sistemas *Make-to-Order* e *Make-to-Stock* respectivamente (HENDRY & KINGSMAN, 1989).



4. O ambiente de programação  
(RODAMMER & WHITE 1988;  
GRAVES 1970; BELLMAN *et al.* 1982)

- **Determinístico:** o problema de programação é definido com respeito a um conjunto finito de solicitações totalmente especificadas, isto é, tempos de processamentos, tempos de liberação e datas de entrega são determinísticos. Produtos, máquinas, mão-de-obra e recursos materiais estão disponíveis para todos ao longo do processo.
- **Estocásticos:** o problema estocástico é definido levando em consideração eventos e distúrbios aleatórios, tais como: quebras de máquinas, indisponibilidade de operador e de material, tempos variáveis de processamento, de liberação e de entrega.

5. A natureza da chegada do produto  
(DAY & HOTTENSTEIN 1970)

- **Caso estático:** todos os produtos são simultaneamente iniciados.
- **Caso dinâmico:** os produtos estão constantemente entrando e saindo da fila, de acordo com algum processo estocástico

6. A complexidade de processamento  
(GRAVES 1970, MACCARTHY & LIU 1993)

A complexidade de processamento está relacionada com o número de passo associados com cada tarefa de produção

- **Um estágio com um processador:** todas as tarefas requerem um passo de processamento que deve ser executado em um elemento de produção. este problema é

comumente denominado de *problema de uma máquina*.

- **Um estágio com processadores paralelos:** as tarefas podem ser executadas em  $k$  processadores idênticos<sup>3</sup> ou não idênticos num único estágio. Cada produto necessita uma, e somente uma destas máquinas
- **Múltiplos estágios, flow shop:** para um problema de múltiplos estágios, cada tarefa requer ser processada num conjunto de máquinas distintas. Nos problemas *flow shop*, cada produto tem um padrão de fluxo idêntico. Um problema *flow shop* no qual a ordem de processamento dos produtos em todas as máquinas é restrito de forma a ser a mesma é denominado de *flow shop de permutação*.
- **Múltiplos estágios, job shop:** aqui cada produto tem o seu próprio padrão de fluxo ou rota específica através das máquinas. Isto quer dizer que não há restrição no passos de processamento para as tarefas, e que rotas alternativas para os produtos são permitidas.
- **Múltiplos estágios, flow shop com máquinas paralelas:** é um problema *flow shop* onde há  $k_i$  máquinas idênticas ou não idênticas, em um ou em todos os estágios ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), e qualquer produto requerendo este estágio deve ser processado em uma, e somente uma, destas máquinas.
- **Múltiplos estágios, job shop com máquinas paralelas:** é um problema *job shop* onde há  $k_i$  máquinas idênticas ou não idênticas, em um ou em todos os estágios ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), e qualquer produto requerendo este estágio deve ser processado em uma, e somente uma, destas máquinas. A situação mais geral é o problema *job shop* em máquinas paralelas não idênticas.



Como resumo do esquema proposto para a categorização dos problemas de programação da produção, alguns trabalhos são listados nas figuras 2 à 5. Deve ser observado que a presença de

restrições adicionais foram omitidas dada a grande variedade de problemas. As referências citadas tem a intenção de ser exemplos e não são necessariamente exaustivas.

Principais Objetivos Usados Para Medir O Desempenho Da Programação	
$C_j$	Tempo de processamento
$\bar{C}$	Tempo médio de processamento
$\sum w_j C_j$	Soma ponderada do tempo de processamento
$C_{max}$	Tempo máximo de processamento (makespan)
$F_j$	Tempo de fluxo
$\sum w_j F_j$	Soma ponderada do tempo de fluxo
$\bar{F}$	Tempo de fluxo médio
$\sum w_j \bar{F}$	Soma ponderada do tempo médio de fluxo
$W_j$	Tempo de espera
$\bar{W}$	Tempo médio de espera
$\sum w_j W_j$	Soma ponderada do tempo de espera
$T_j$	Tardeza
$\bar{T}$	Tardeza média
$T_{max}$	Tardeza máxima
$\sum w_j T_j$	Soma ponderada de tardeza
$L_j$	Atraso
$\bar{L}$	Atraso médio
$L_{max}$	Atraso máximo
$\sum w_j L_j$	Soma ponderada de atraso
$N_r$	Número de produtos atrasados
$\sum w_j N_r$	Soma ponderada de produtos atrasados
$E_j / T_j$	Cedo e Tarde
$SI_j$	Tempo de início
$\sum w_j E_j / w_j T_j$	Soma ponderada de cedos e tardias
VAR	Variação do tempo de processamento
COVAR	Coefficiente de variação
BICRET	Tempo médio de processamento e variação do tempo de processamento
FV	Variação do tempo de fluxo
CTV	Variação média do tempo de processamento
NPV	Valor presente da rede
MWAD	Desvio absoluto ponderado do tempo de processamento de data de realização
$f_{max}$	Custo máximo (ou total)
$p_{max}$	Lucro máximo

Nota: Ver King e Spechtis (1980) para equivalências importantes entre medidas de desempenho comumente utilizadas.

Função Objetivo	Método	Referência	Observações <sup>†</sup>
$C_j$	ótimo ótimo ótimo ótimo e heurística	Smith, 1956, (veja MacCarthy e Liu 1993) Glazebrook, 1976 (veja Forst, 1984) Szwarc et al. 1988 Chandru et al. 1993	Tempo de processamento estocástico Batch processing machine
$w_j C_j$	ótimo	Held e Karp, 1962 (veja MacCarthy e Liu, 1993)	
$w_j C_j$ e $F_j$	ótimo	Cheng, 1991	
$C$		Rothkopf, 1966 (veja Forst, 1984)	Tempo de processamento estocástico
$C_{max}$	ótimo heurística ótimo  ótimo	Dauzere-Peres, 1993 Alidaee, 1990 Glazebrook, 1992  Chu, 1992	Tempo de processamento estocástico, interrupção e não interrupção datas de liberação desiguais
$C_{max}$ e $N_T$	ótimo	Kiran e Unal, 1991	Múltiplos critérios
$C_{max}$ e desvio da programação	heurística	Wu et al. 1993	Múltiplos critérios. Permite descontinuidade na máquina.
$\sum w_j C_j$	ótimo ótimo ótimo heurística heurística	Smith, 1956, (veja MacCarthy e Liu, 1993) Horn, 1972 (veja King e Spachis, 1980) Sidney, 1975: 1977 (veja King e Spachis, 1980) Morton & Dharan, 1978 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Weiss, 1981 (veja MacCarthy e Liu, 1993)	
CTV	heurística - genetic algorithms ótimo	Gupta et al. 1993  De et al. 1992	
$L_{max}$ ou $T_{max}$	ótimo	Jackson, 1955 (veja MacCarthy e Liu, 1993)	
$L_{max}$	ótimo heurística ótimo	Lawler, 1973 (veja King e Spachis, 1980) Lee, 1991 Leon e Wu, 1992	
$L_{max}$ , $T_{max}$		Crabill e Maxwell, 1969 (veja Forst, 1984)	Tempo de processamento estocástico e "due dates".
$T_{max}$	ótimo  ótimo ótimo heurística ótimo	Banerjee, 1965 (veja Forst, 1984) Hodgson, 1977 (veja Forst, 1984) Sen e Borah, 1991. Potts e Van Wassenhover, 1992 Holsenbank e Russel, 1992 Chu, 1992	Tempo de processamento estocástico. Tempo de processamento estocástico. Interrupção e não interrupção nos produtos. Datas de liberação desiguais

Figura 2: Problemas de Um Estágio com Um Processador

Função Objetivo	Método	Referência	Observações <sup>†</sup>
$\bar{T}$	heurística heurística heurística	Wilkinson & Irwin, 1971 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Frey et al. 1971 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Panwalkar et al. 1993	
$N_T$	ótimo ótimo ótimo	Moore, 1968 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Balut, 1973 (veja Forst, 1984) Adiri et al. 1991	Tempo de processamento estocástico. Interrupção devido a quebra de máquina.
$w_j N_T$	ótimo	Potts e Wassenhove, 1988	
$w_j T_j$	ótimo ótimo ótimo heurística ótimo	Lawler, 1964 (veja King e Spachis, 1980) Blau, 1973 (veja Forst, 1984) Shwimer, 1972 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Chambers et al. 1991 Szwarc e Liu, 1993	Tempos de chegada diferentes. Tempo de processamento estocástico e "due dates".
$\bar{F}$	ótimo heurística	Conway, 1967 (veja MacCarthy e Liu, 1993) Liu e MacCarthy, 1990	
$w_j \bar{F}$	ótimo	Mason e Anderson, 1991	
$FV$	heurística	Gupta et al. 1990	
$VAR, COVAR, BICRIT$	heurística - simulated annealing	Mittenthal et al. 1993	Programação ótima de forma V.
$E_j / T_j$	ótimo ótimo ótimo	Hall et al. 1991 Davis e Kanet, 1993 Szwarc, 1993	
$E_{j1}/T_j$ e $ST_j$	heurística	Sung e Joo, 1992	Produtos com tempos dinâmicos.
$E_j/T_j$ e custo de entrega de produtos atrasados	ótimo	Herrmann e Lee, 1992	
$w_j E_j / w_j T_j$	ótimo	Hall e Posner, 1991	
$T_{max}$ e $SUP_j$	heurística - Tabu Search	Laguna, et al. 1991, (veja Barnes e Laguna, 1993)	
$f_{max}$	ótimo	Gordon, 1993	Interrupção.
$P_{max}$	ótimo	De et al. 1993	Tempo de processamento aleatório e "deadline".
Min: produção esperada e custo de deslocamento	heurística	Leachman e Gascon, 1988	Closed shop - demanda estocástica.
Min: custo médio de preparação, deslocamento e fora de estoque	controle ótimo	Gallego, 1990	Closed shop - demanda aleatória.
Min: custo de produção	ótimo	Ibrahim e Thomas, 1991	Closed shop.
Min: custo total	ótimo	Zheng et al. 1993	
NPV	heurística	Lawrence, 1991	
MWAD	heurística	Nandkeolyar et al. 1993	Chegada estocástica de produtos

<sup>†</sup> A menos que seja indicado o contrário, assume-se que os problemas sejam determinísticos, não interrompíveis, único objetivo, open shop e caso estóico

Figura 2: continuação...

Função Objetivo	Método	Referência	Observações <sup>2</sup>
$w_i F_i, \bar{F}$	Ótimo	McNaughton, 1959 (in: Graves, 1981)	
$w_i \bar{F}_i$	Ótimo	Eastman et al. 1954 (in: Graves, 1981)	
	Heurística	Baker e Merten, 1973 (in: Graves, 1981)	
	Ótimo E Heurística	Dobson e Karmarkar, 1989	
	Heurística	Webster, 1993	
	Ótimo	Webster, 1992	
	Heurística - Tabu Search	Barnes e Laguna, 1992 (in: Barnes e Laguna, 1993)	
$\bar{F}$	Ótimo	Hom, 1973 (in: Graves, 1981)	Processadores não idênticos.1
$w_i \bar{F}$	Heurística	Herrbach e Laung, 1990	Com interrupção.
$w_i T_i$	Ótimo	Roet, 1965; Barnes e Brennan, 1977; Nunnikhoven e Emmons, 1977; (in: Graves, 1981)	
	Ótimo	Elmaghraby e Park, 1974	
	Heurística	Arkin e Roundy, 1991	
	Heurística - Neural Network	Lee e Kim, 1993	
$w_i E_i$	Heurística - Tabu Search	Laguna e Gonzalez-Velarde, 1991 (in: Barnes e Laguna, 1993)	
$C_j$	Ótimo	Conway et al., 1967; Coffman e Graham, 1972; Baker, 1974; (in: King e Spachis, 1980)	
$w_i C_j$	Ótimo	Lawler, 1964 (in: King e Spachis, 1980)	
$C_{max}$	Heurística	Barker, 1974, (in: MacCarthy e Liu, 1993)	
	Ótimo	Gonzalez e Sahni, 1978 (in: King e Spachis, 1980)	Com interrupção.
	Ótimo	Dobson, et al. 1989	Máquinas heterogêneas.
	Ótimo	Hu, 1961 (in: MacCarthy e Liu, 1993)	
	Heurística	Kulkarni e Chimento Jr., 1992	Tempo de processamento estocástico, processadores sujeitos a falhas e reparações (interrupção).
	Ótimo	Van de Vel e Shijie, 1991	Máquinas uniformes operando com diferentes velocidades.
	Heurística	Rajgopal e Bidanda, 1991	
	Heurística	Blocher e Chand, 1991	
$C_{max}$ ou $\bar{C}$	Heurística	Guinet, 1993	
$C_{max}$	Heurística	França et al. 1994	
$C_{max}, F, L_{max}$	Ótimo	Su e Sevcik, 1978	Interrupção, caso dinâmico.
$C_{max}$ e $L_j$ e $C_{max}$ do segundo processador de maior tempo de execução	Ótimo	Epstein et al. 1992	Múltiplos objetivos.
$L_{max}$	Ótimo	Bratley et al. 1975 (in: King e Spachis, 1980)	
$N_r$	Ótimo e Heurística	Süer e Baez, 1993	
$T$	Heurística	Ho e Chang, 1991	
Min: a) custo total de processamento mais $F$ , b) custo total de processamento mais $w_i E_j$ e $w_i T_j$	Ótimo	Alidaee e Ahmadian, 1993	Máquinas não idênticas e tempos de processamento variáveis.
Min: custo de combinação	Ótimo	Dondelli e Emmons, 1992	Processadores não idênticos.
Max: rotomo total	Heurística	So, 1990	
programação viável para satisfazer a demanda	Simulated Annealing	Jeffcoat e Buffin, 1993.	Restrição de recursos.
Min: produção média e custo de estoques	Heurística	Carreno, 1990	Closed shop.

<sup>1</sup> A menos que seja indicado o contrario, assume-se que os problemas sejam determinísticos, não interrompíveis, único objetivo, open shop e caso estático

Figura 3: Problema Um Estágio - Processadores Paralelos

Função Objetivo	Método	Referência	Observações <sup>†</sup>
$C_{max}$	Ótimo	Johnson, 1954; Gilmore e Gomory, 1964; Reddi e Ramamoorthy, 1972 (in: King e Spachis, 1980)	Flow shop de permutação.  Tempo de processamento estocático.  Uso de batches de transferência. Flow shop de permutação. Tempos de processamento incertos. Flow shop tipo linha de montagem. Flow shop de permutação.  Flow shop de permutação, tempos de processamento controláveis.  Tempos de processamento estocásticos. Flow shop de permutação.  Flow shop de permutação.
	Ótimo	Wagner, 1959; Kusiak, 1988; Chow, 1989 (in: MacCarthy e Liu, 1993)	
	Ótimo	Smith e Dudek, 1967; Lageweg et al., 1978; Swarc, 1973; Srikar e Ghosh, 1986; Stafford, 1988; (in: MacCarthy e Liu, 1993)	
	Ótimo	Ignal e Schrage, 1965; Lomnicki, 1965; McMahon e Burton, 1967; Ashour, 1970; Gupta, 1971; Swarc, 1971 (In: Graves 1981)	
	Ótimo	Makino's, 1965; Talwar, 1967; Cunningham e Dutta, 1973; Mittal e Bagga, 1977; Prasad, 1981 (in: Frost, 1984)	
	Ótimo	Vickson e Alfredson, 1992	
	Ótimo	Karabati et al. 1992	
	Ótimo	Tsujimura et al. 1993	
	Ótimo e heuristics	Lee et al. 1993	
	Ótimo	Wagneur e Srikandarajah, 1993	
	Ótimo	Nowicki, 1993	
	Heurística	Campbell et al. 1970; Dannenbring, 1977 (in: Graves, 1981)	
	Heurística	Palmer, 1965; Ashour, 1970; Gupta, 1971; Bonney e Gundry, 1976; (in: MacCarthy e Liu, 1993)	
	Heurística	Pinedo, 1982 (in: Forst, 1984)	
Heurística - Tabu Search	Widmer e Hertz, 1989		
Heurística	Proust et al. 1991		
Heurística - variants of Simulated Annealing e Tabu Search	Cao e Bedworth, 1992		
Heurística - Genetic Algorithm	Werner, 1993.		
		Vempati et al. 1993	
$C_{max}$ Tempo de preparação esperado	Ótimo	Bagga, 1970 (in: Frost, 1981)	Tempos de processamento estocásticos.
$C_{max} \oplus F$	Ótimo	Rajendran, 1992	Bi-critérios.
$F$	Ótimo	Cadambi e Sathé, 1993	
$C_i$ $T$	Ótimo	Karabati e Kouvelis, 1993	Flow shop de permutação.
	Ótimo	Kim, 1993	
Achar requerimentos de demanda ao mínima custo	Ótimo	Zangwill, 1969; Love, 1972 (in: Graves, 1981)	Closed shop.
	Heurística	Lambrecht e Vander Eecken, 1978 (in: Graves, 1981)	Demanda variável.
Min: custo total esperado		Forst, 1983	Tempos de processamento estocásticos.

<sup>†</sup> A menos que seja indicado o contrario, assume-se que os problemas sejam determinísticos, não interrompíveis, único objetivo, open shop e caso estocático

Figura 4: Problemas Múltiplos Estágios - Flow Shop

Objetivo Função	Método	Referência	Observações <sup>†</sup>
$C_{max}$	Ótimo Ótimo Ótimo  Ótimo Ótimo Ótimo Ótimo Heurística  Heurística  Heurística - Tabu Search Heurística - Tabu Search Heurística - Simulated Annealing Heurística - Simulated Annealing Heurística - Algoritmos Genéticos Heurística - Algoritmos Genéticos Heurística - Tabu Search Heurística	Jonhson, 1954; Ashour e Hiremath, 1973; Barker, 1985; (in: MacCarthy e Liu, 1993) Jackson, 1956; Szwark, 1960; Giffer e Thompson, 1960; Brooks e White, 1965; Greenberg, 1968; Balas, 1969; Scharage, 1970; Charlton e Death, 1970; Florian, 1971; Ashour et al., 1974; Lageweg et al. 1977 (in: Graves, 1981) Cartier e Pinson, 1989 Applegate e Cook, 1990 Liao e You, 1992 Dauzere-Peres e Lasserre, 1993 Ashour, 1967; Ashour e Hiremath, 1973; (in: MacCarthy e Liu, 1993) Pinedo, 1981 (in: Forst, 1984)  Adams et al. 1988 Taillard, 1989; (in: Barnes e Laguna, 1993)  Widmer, 1991  Matsuo et al. 1988; (in: Dell'Amico e Trubian, 1993) Storer et al. 1992 Van Laarhoven et al. 1992  Biegel e Davern, 1990  Nakano e Yamada, 1991  Dauzere-Peres e Lasserre, 1993 Dell'Amico e Trubian, 1993  Gupta e Tunc, 1991	Lot streaming.  tempo de processamento estocástico de Máquinas paralelas.
$L_{max}$	Ótimo Ótimo  Heurística	Townsend, 1977 (in: King e Spachis, 1980) Veitnot, 1969 (in: Graves, 1981)  McLaren, 1976; McLaren e Whybark, 1976; Biggs et al. 1977; Blackburn e Millen, 1979; Graves, 1981 (in: Graves, 1981)	Closed shop, demanda variável. Closed shop, demanda variável.
$w_i, T_i$	Ótimo	Fisher, 1973 (in: Graves, 1981)	
$T_{max}$	Ótimo	Chu et al. 1992	
Achar requerimentos de due date, max. utilização de máquinas	Heurística	Doctor et al. 1993	Linha de montagem job-shop (inclui operações seriais e paralelas).
Min: custo total	Ótimo	Crowston et al. 1973; Schwarz e Schrage, 1975 (in: Graves, 1981)	Closed shop.

<sup>†</sup> Caso não seja indicado o contrário, assume-se que os problemas sejam determinísticos, não interrompíveis, único objetivo, open shop e caso estático

Figura 5: Problemas Múltiplos Estágios - Job Shop

## Conclusão

O campo da programação da produção é muito dinâmico e reconhecidamente, começou no início dos anos 50 com o trabalho pioneiro de Johnson (1954) e desde então a literatura tem crescido explosivamente. O trabalho propõe um esquema para a classificação dos problemas

de programação baseado nas características gerais dos problemas e as hipóteses usuais feitas sobre os produtos, máquinas e tempos de processamento. Este esquema, que pode ser considerada como uma macro-divisão dos problemas de programação da produção, objetiva estabelecer o sentido, direção e perspectiva de pesquisas conduzidas na área.

---

## Notas

1. *Regras de dispatching e sequenciamento* fornecem uma solução para o problema de programação empregando regras locais para a seleção de tarefas (Matsuura *et al.*, 1993, Chryssolouris *et al.*, 1992), enquanto que nos *sistemas especialistas*, as regras aplicadas pelo homem para atribuir as tarefas aos recursos, são codificada numa base de regras a qual é invocada toda vez que uma decisão de atribuição necessita ser feita (Chryssolouris *et al.*, 1992).

2. Cada iteração começa de um *estado de solução* (que representa o *conjunto de soluções*). É daqui que as candidatas devem ser determinadas e avaliadas de forma que o estado de solução da próxima iteração (ou próximas iterações) possa ser escolhido. O *conjunto de candidatas* é denominado a *vizinhança* do estado (Müller-Merbach, 1981).

3. *Máquina idêntica* é um equipamento alternativo num dado estágio que permite executar certa operação com tempo de processamento idêntico e, ainda, características e demanda de recursos iguais.

## Referências Bibliográficas

ADAMS, J., BALAS, E. e ZAWACK, D. The Shifting Bottleneck Procedure For Job Shop Scheduling. *Management Science*. v.34, n.3, p. 391-401. 1988.

ADIRI, I., FROSTIG, E. e RINNOOY KAN, A.H.G. Scheduling On A Single Machine With A Single Breakdown To Minimize Stochastically The Number Of Tardy Jobs. *Naval Research Logistics*, v. 38, p. 261-271. 1991.

ALIDAEI, B. A Heuristic Solution Procedure To Minimize Makespan On A Single Machine With Non-Linear Cost Functions. *Journal of Operational Research Society*, v. 41, n.11, p. 1065-1068. 1990.

ALIDAEI, B. e AHMADIAN, A. Two Parallel Machine Sequencing Problems Involving Controllable Job Processing Times. *European Journal of Operational Research*, v. 70, p. 335-341. 1993.

APPLEGATE, D. e COOK, W. A Computational Study Of The Job-Shop Scheduling Problem. *ORSA Journal of Computation*. v. 3, p. 149-156. 1990.

ARKIN, E.M. e ROUNDY, R.O. Weighted-Tardiness Scheduling On Parallel Machines With Proportional Weights. *Operations Research*, v. 39, n. 1, p. 64 - 81. 1991.

BAKER, K. e SCUDDER, G.D. Sequencing With Earliness And Tardiness Penalties: A Review. *Operations Research*. v. 38, p. 22-36. 1990.

BAKSHI, M.S. e ARORA, S.R. The Sequencing Problem. *Management Science*. v. 16, p. B247-B263. 1969.

BARNES, J.W. e LAGUNA. M. A Tabu Search Experience In Production Scheduling. *Annals of Operations Research*. v. 41, p. 141-156. 1993.

BELLMAN, R., ESOGBUE, A.O. e NABESHIMA, I. *Mathematical Aspects Of Scheduling And Applications*. Pergamon Press. 1982.

BIEGEL, J.E. e DAVERN, J.J. Genetic Algorithms And The Job Shop Scheduling. *Computers and Industrial Engineering*. v. 19, n. 1 e 4, p. 81-91. 1990.

BLOCHER, J.D. e CHAND, S. Scheduling Of Parallel Processors: A Posterior Bound On LPT Sequencing And A Two-Step Algorithm. *Naval Research Logistics*. v. 38, p. 273-287. 1991.

BUXEY, G. Production Scheduling: Practice And Theory. *European Journal of Operational Research*. v. 39, p. 17-31. 1989.

CADAMBI, B.V. e SATHE, Y.S. Two-Machine Flowshop Scheduling To Minimize Mean Flow Time. *Opsearch*. v. 30, n. 1, p. 34-41. 1993.

CAO, J. e BEDWORTH, D.D. Flow Shop Scheduling In Serial Multi-Product Processes With Transfer And Set-Up



Times. *International Journal of Production Research*, v. 30, n. 8, p. 1819-1830. 1992.

CARRIER, J. e PINSON, E. An Algorithm For Solving The Job-Shop Problem. *Management Science*. v. 35, n. 2, p. 164-176. 1989.

CARRENO, J.J. Economic Lot Scheduling For Multiple Products On Parallel Identical Processors. *Management Science*. v. 36, n. 3, p. 348-358. 1990.

CHAMBERS, R.J., CARRAWAY, R.L., LOWE, T.J e MORIN, T.L. Dominance And Decomposition Heuristics For Single Machine Scheduling. *Operations Research*. v. 39, n. 4, p. 639 - 648. 1991.

CHANDRU, V., LEE, C.-Y. e UZSOY, R. Minimizing Total Completion Time On Batch Processing Machines. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 9, p. 2097-2121. 1993.

CHRYSSOLOURIS, G., DICKE, K. e LEE, M. On The Resource Allocation Problem. *International Journal of Production Research*. v.31, n.12, p. 2773-2795. 1992.

CHENG, C. e BULFIN R.L. Complexity Of Single Machine, Multi-Criteria Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 115-125. 1993.

CHU, C. A Branch-And-Bound Algorithm To Minimize Total Flow Time With Unequal Release Dates. *Naval*

*Research Logistics*. v. 39, p. 859-875. 1992a.

CHU, C. A Branch-And-Bound Algorithm To Minimize Total Tardiness With Different Release Dates. *Naval Research Logistics*. v. 39, p. 265-283. 1992.

CHU, C., PORTMANN, M.C. e PROTH, J.M. A Splitting-Up Approach To Simplify Job-Shop Scheduling Problems. *International Journal of Production Research*. v. 30, n. 4, p. 859-870. 1992.

COFFMAN, JR. E.G. Introduction To Deterministic Scheduling Theory. In: *Computer And Job-Shop Scheduling Theory*. Coffman, Jr.E.G. John Wiley & Sons. 1976.

DAUZERE-PERES, S. The One-Machine Sequencing Problem With Dependent Jobs. *Computer and Industrial Engineering*., v. 25, n. 1/44, p. 235-238. 1993.

DAUZERE-PERES, S. e LASSERRE, J-B. An Iterative Procedure For Lot Streaming In Job-Shop Scheduling. *Computers and Industrial Engineering*. v. 25, n. 1/4, p. 231-234. 1993a.

DAUZERE-PERES, S. e LASSERRE, J-B. A Modified Shifting Bottleneck Procedure For Job-Shop Scheduling. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 4, p. 923-932. 1993.

DAVIS, J.S. e KANET, J.J. Single-Machine Scheduling With Early And Tardy Completion Costs. *Naval Research Logistics*. v. 40, p. 85-101. 1993.

- DAY, J.E e HOTTENSTEIN, M.P. Review Of Sequencing Research. *Naval Research Logistics Quarterly*. v. 17, p. 11-40. 1970.
- DE, P., GHOSH, J.B. e WELLS, C.E. On The Minimization Of Time Variance With Bicriteria Extension. *Operations Research*. v. 40, n. 6, p. 1148-1155. 1992.
- DE, P., GHOSH, J.B. e WELLS, C.E. Job Selection And Sequencing On A Single Machine In A Random Environment. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 425-431. 1993.
- DELL'AMICO, M. e TRUBIAN, M. Applying Tabu Search To The Job-Shop Scheduling Problem. *Annals of Operations Research*. v. 41, p. 231-252. 1993.
- DOBSON, G. e KARMARKAR, U.S. Simultaneous Resource Scheduling To Minimize Weighted Flow Times. *Operations Research*. v. 37, n. 4, p. 592-600. 1989.
- DOBSON, G., KARMARKAR, U.S. e RUMMEL, J.L. Batching To Minimize Flow Times On Parallel Heterogeneous Machines. *Management Science*. v. 35, n. 5, p. 607-613. 1989.
- DOCTOR, S.R., CAVALIER, T.M. e EGBE:U, P.J. Scheduling For Machining And Assembly In A Job-Shop Environment. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 6, p. 1275-1297. 1993.
- DONDETI, V.T. e EMMONS, H. Fixed Job Scheduling With Two Types Of Processors. *Operations Research*. v. 40, supp.1, p. S76. 1992.
- ELMAGHRABY, S.E. The Machine Sequencing Problem - Review And Extensions. *Naval Research Logistics Quarterly*. v. 15, p. 205-232. 1968.
- EPSTEIN, S., WILAMOWSKY, Y. e DICKMAN, B. Deterministic Multiprocessor Scheduling With Multiple Objectives. *Computers Operations Research*. v. 19, n. 8, p. 743-749. 1992.
- FORST, F.G. Minimizing Total Expected Costs In The Two-Machine, Stochastic Flow Shop. *Operations Research Letters*. v. 2, p. 58-61. 1983.
- FORST, F.G. A Review Of The Static, Stochastic Job Sequencing Literature. *Opsearch*. v. 21, p. 127-144. 1984.
- FRANÇA, P.M., GENDREAU, M., LAPORTE, G. e MÜLLER, F.M. A Composite Heuristic For The Identical Parallel Machine Scheduling Problem With Minimum Makespan Objective. *Computer Operations Research*. v. 21, n. 2, p. 205-210. 1994.
- GALLEGO, G. Scheduling The Production Of Several Items With Random Demands In A Single Facility. *Management Science*. v. 36, n. 12, p. 1579-1592. 1990.
- GAREY, M.R., JOHNSON, D.S. e SETHI, R. The Complexity Of Flowshop And Jobshop Scheduling, *Mathematics of Operations Research*. v. 1, p. 117-129. 1976.

GLAZEBROOK, K.D. Single-Machine Scheduling Of Stochastic Jobs Subject To Deterioration Or Delay. *Naval Research Logistics*. v. 39, p. 613-633. 1992.

GODIN, V.B. Interactive Scheduling: Historical Survey And State Of The Art. *AIIE Trans*. v. 10, p. 331-337. 1978.

GOYAL, S.K. e SRISKANDARAJAH, C. No-Wait Shop Scheduling: Computational Complexity And Approximate Algorithms. *Opsearch*. v. 25, p. 220-244. 1988.

GORDON, V.S. A Note On Optimal Assignment Of Slack Due-Dates In Single-Machine Scheduling. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 311-315. 1993.

GRAHAM, R.L., LAWLER, E.L., LENSTRA, J.K. e RINNOOY KAN, A.H.G. Optimization And Approximation In Deterministic Sequencing And Scheduling: A Survey. *Annals of Discrete Mathematics*. v. 5, p. 287-326. 1979.

GRAVES, S.G. A Review Of Production Scheduling. *Operations Research*. v. 29, p. 646-675. 1981.

GUINET, A. Scheduling Sequence-Dependent Jobs On Identical Parallel Machines To Minimize Completion Time Criteria. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 7, p. 1579-1594. 1993.

GUPTA, J.N.D. e TUNC, E.A. Scheduling For A Two-Stage Hybrid

Flowshop With Parallel Machines At The Second Stage. *International Journal of Production Research*. v. 29, n. 7, 1489-1502. 1991.

GUPTA, M.C., GUPTA, Y.P. e BECTOR, C.R. Minimizing The Flow-Time Variance In Single-Machine Systems. *Journal of Operational Research Society*. v. 41, n. 8, p. 767-779. 1990.

GUPTA, M.C., GUPTA, Y.P. e KUMAR, A. Minimizing Flow Time Variance In A Single Machine System Using Genetic Algorithms. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 289-303. 1993.

HALL, N.G. e POSNER, M.E. Earliness-Tardiness Scheduling Problems, I: Weighted Deviation Of Completion Times About A Common Due Date. *Operations Research*. v. 39, n. 5, 836-846. 1991.

HALL, N.G., KUBIAK, W e SETHI, S.P. Earliness-Tardiness Scheduling Problems, II: Deviation Of Completion Times About A Restrictive Common Due Date. *Operations Research*. v. 39, n. 5, p. 836-847. 1991.

HENDRY, L.C. e KINGSMAN, B.G. Production Planning Systems And Their Applicability To Make-To-Order Companies. *European Journal of Operational Research*. v. 40, p.1-15. 1989.

HERRBACH, L.A. e LEUNG, J.Y.-T. Preemptive Scheduling Of Equal Length Jobs On Two Machine To Minimize Mean

Flow Time. *Operations Research*. v. 38, n. 3), 487-494. 1990.

HERRMANN, J.W. e LEE, C. On Scheduling To Minimize Earliness-Tardiness And Batch Delivery Costs With A Common Due Date. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 272-288. 1992.

HO, J.C., e CHANG, Y.-L. Heuristic For Minimizing Mean Tardiness For  $M$  Parallel Machines. *Naval Research Logistics*. v. 38, p. 367-381. 1991.

HOLSENBACK, J.E. e RUSELL, R.M. A Heuristic Algorithm For The Sequencing On One Machine To Minimize Total Tardiness. *Journal of Operational Research Society*. v. 43, n. 1, p. 53-62. 1991.

IBARAKI, T. Combinatorial Optimization Problems And Their Complexity, In: Enumerative Approaches To Combinatorial Optimization - Part I. *Annals of Operations Research*, v. 10. 1987.

IBRAHIM, A. e THOMAS, L.C. A Two-Product, Single-Machine, Storage-Constrained Production Problem. *Journal of Operational Research Society*. v. 42, n. 9, p. 785-791. 1991.

JEFFCOAT, D.E. e BULFIN, R.L. Simulated Annealing For Resource-Constrained Scheduling. *European Journal of Operational Research*. v. 70. p. 43-51. 1993.

KAMOUN, H. e SRISKANDARAJAH, C. The Complexity Of Scheduling Jobs In Repetitive Manufacturing Systems. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 350-364. 1993.

KARABATI, S., KOUVELIS, P. e KIRAN, A.S. Games, Critical Paths And Assignment Problems In Permutation Flow Shops And Cyclic Scheduling Flow Line Environments. *Journal of the Operational Research Society*. v. 43, n. 3, p. 241-258. 1992.

KARABATI, S., KOUVELIS, P. Completion Times Performance Criterion. *Naval Research Logistics*. v. 40, p. 843-862. 1993.

KIM, Y.D. A New Branch And Bound Algorithm For Minimizing Mean Tardiness In Two-Machine Flowshops. *Computers Operations Research*. v. 20, n. 4, p. 391-401. 1993.

KING, J.R. e SPACHIS, A.S. Scheduling: Bibliography & Review. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*. v. 10, n. 3, p. 105-132. 1980.

KIRAN, A.S. e UNAL, A.T. A Single-Machine Problem With Multiple Criteria. *Naval Research Logistics*. v. 38, p. 721-727. 1991.

KULKARNI, V.G. e CHIMENTO Jr., P.F. Optimal Scheduling Of Exponential Task With In-Tree Precedence Constraints On Two Parallel Processors Subject To Failure And Repair. *Operations Research*. v. 40, supp. n. 2, p. S263. 1992.

LAWRENCE, S.R. Scheduling A Single Machine To Maximize Net Present Value. *International Journal of Production Research*. v. 29, n. 6, p. 1141-1160. 1991.

LEACHMAN, R.C. e GASCON, A. A Heuristic Scheduling Policy For Multi-Item, Single-Machine Production Systems With Time-Varying, Stochastic Demands. *Management Science*. v. 34, n. 3, p. 377- 390. 1988.

LEE, I. A Worst-Case Performance Of The Shortest-Processing-Time Heuristic For Single Machine Scheduling. *Journal of The Operational Research Society*. v. 42, n. 10, p. 895-901. 1991.

LEE, Y.H. e KIM, S. Neural Network Application For Scheduling Jobs On Parallel Machines. *Computer and Industrial Engineering*. v. 25, n.1/4, p. 227-230. 1993.

LEE, C.Y., CHENG, T.C.E. e LIN, B.M.T. Minimizing The Makespan In The 3-Machine Assembly-Type Flowshop Scheduling Problem. *Management Science*. v. 39, n. 5, p. 616-625. 1993.

LEON, V.J. e WU S.D. On Scheduling With Ready-Times, Due-Dates And Vacations. *Naval Research Logistics*. v. 39, p. 53-65. 1992.

LENSTRA, J.K. *Sequencing By Enumerative Methods*. Mathematical Centre Tracts 69, Amsterdam. 1977.

LENSTRA, J.K. e RINNOOY KAN, A.H.G. Complexity Of Scheduling Under Precedence Constraints, *Operations Research*. v. 26, n. 1, p. 22-35. 1978

LENSTRA, J.K., RINNOOY KAN, A.H.G., e BRUCKER, P. Complexity Of Machine Scheduling Problems, *Annals of Discrete Mathematics*. v. 1, p. 343-362. 1977

LIAO, C.J. e YOU, C.T. An Improved Formulation For The Job-Shop Scheduling Problem. *Journal of the Operational Research*. v. 43, n. 11, p. 1047-1054. 1992.

LIU, J. e MacCARTHY, B.L. Effective Heuristics For The Single Machine Sequencing Problem With Ready Times. *International Journal of Production Research*. v. 29, n. 8, p. 1521-1533. 1990.

MACCARTHY B.L e LIU J. Addressing The Gap In Scheduling Research: A Review Of Optimization And Heuristic Methods In Production Scheduling. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 1, p. 59-79. 1993.

MASON, A.J. e ANDERSON, E.J. Minimizing Flow Time On A Single Machine With Job Classes Setup Times. *Naval Research Logistics*. v. 38, p. 333-350. 1991.

MATSSURA, H., TSUBONE, H. e KANEZASHI, M. Sequencing, Dispatching, And Switching In A Dynamic Manufacturing Environment. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 7, p. 1671-1688. 1993

MÜLLER-MERBACH, H. Heuristic And Their Design: A Survey. *European Journal of Operational Research*. v. 8, p. 1-23. 1981.

MITTENTHAL, J., RAGHAVACHARI, M. e RANAS, A. A Hybrid Simulated Annealing Approach For Single Machine Scheduling Problems With Non-Regular Penalty Functions. *Computer Operational Research*. v. 20, n. 2, p. 103-111. 1993.

MONMA C.L. e POTTS C.N. On The Complexity Of Scheduling Batch Setup Times. *Operations Research*. v. 37, p. 798-804. 1989.

NAKANO, R. e YAMADA, T. Conventional Genetic Algorithm For Job Shop Problems. *Proc. 4th. Int. Conf. on Genetic Algorithms*, San Diego, CA. p. 474-479. 1991.

NANDKEOLYAR, U., AHMED, M.U. e SUNDARARAGHAVEN, P.S. Dynamic Single-Machine-Weighted Absolute Deviation Problem: Predictive Heuristics And Evaluation. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 6, p. 1453-1466. 1993.

NOWICKI, E. An Approximation Algorithm For The M-Machine Permutation Flow Shop Scheduling With Controllable Processing Times. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 342-349. 1993.

PANWALKER, S.S. e ISKANDER, W. A Survey Of Scheduling Rules. *Operations Research*. v. 25, p. 45-61. 1977.

PANWALKER, S.S., SMITH, M.L. e KOULAMAS, C.P. A Heuristic For Single Machine Tardiness Problem. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 304-310. 1993.

POTTS, C.N. e VAN WASSENHOVE, L.N.. Algorithms For Scheduling A Single Machine For Minimizing The Weighted Number Of Late Jobs. *Management Science*. v. 34, n. 7, p. 843-858. 1988

POTTS, C.N. e VAN WASSENHOVE, L.N. Single Machine Scheduling To Minimize Total Late Work. *Operations Research*. v. 40, n. 3, p. 586-595. 1992.

PROUST, C., GUPTA, J.N.D. e DESCHAMPS, V. Flowshop Scheduling With Set-Up, Processing And Removal Times Separated. *International Journal of Production Research*. v. 29, n. 3, p. 479-493. 1991.

RAJENDRAN, C. Two-Stage Flowshop Scheduling Problem With Bicriteria. *Journal of the Operational Research Society*. v. 43, n. 9, p. 871-884. 1992.

RAJGOPAL, J. e BIDANDA, B. On Scheduling Parallel Machines With Two Setup Classes. *International Journal of Production Research*. v. 29, n. 12, p. 2243-2458. 1991.

RINNOY KAN, H.H.G. *Machine Scheduling Problems: Classification, Complexity And Computations*. The Hague: Nijhoff. 1976.

RODAMMER, F.A. e WHITE, Jr. K.P. A Recent Survey Of Production Scheduling. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*. v. 18, n. 6, p. 841-851. 1988.

- SEN, T. e BORAH, B.N. On The Single-Machine Scheduling Problem With Tardiness Penalties. *Journal of Operations Research Society*. v. 42, n. 8, p. 695-702. 1991.
- SO, K.C. Some Heuristics For Scheduling Jobs On Parallel Machines With Setups. *Management Science*. v. 36, n. 4, p. 467 - 475. 1990.
- STORER, H.R., WU, S.W. e VACCARI, R. New Search Spaces For Sequencing Problems With Application To Job Shop Scheduling. *Management Science*. v. 38, n. 10, p. 1495-1509. 1992.
- SU, Z.S. e SEVCIK, K.C. A Combinatorial Approach To Dynamic Scheduling Problems. *Operations Research*. v. 26, n. 5, p. 836-844. 1978.
- SÜER, G.A. e BÁEZ. Minimizing The Number Of Tardy Jobs In Identical Machine Scheduling. *Computer and Industrial Engineering*. v. 25, n. 1/4, p. 243-246. 1993.
- SUNG, C.S. e JOO, U.G. A Single Machine Scheduling Problem With Earliness/Tardiness And Starting Time Penalties Under A Common Due Date. *Computers and Operational Research*. v. 19, n. 8, p. 757-766. 1992.
- SZWARC, W. Adjacent Orderings In Single-Machine Scheduling With Earliness And Tardiness Penalties. *Naval Research Logistics*. v. 40, p. 229-243. 1993.
- SZWARC, W., POSNER, M.E. e LIU, J.L. The Single Machine Problem With A Quadratic Cost Function Of Completion Time. *Management Science*. v. 34, n. 12, p. 1480-1488. 1988.
- SZWARC, W. e LIU, J.J. Weighted Tardiness Single Machine Scheduling With Proportional Weights. *Management Science*. v. 39, n. 5, p. 626-632. 1993.
- TSUJIMURA, Y., PARK, S.H., CHANG, I.S. e GEN, M. An Effective Method For Solving Flow Shop Scheduling Problems With Fuzzy Processing Times. *Computers and Industrial Engineering*. v. 25, n. 1/4, p. 239-242. 1993.
- ULLMAN, J.D., NP-Complete Scheduling Problems. *Journal of Computing System Science*. v. 10, p. 384-393. 1975
- VAN DE VEL, H. e SHIJIE, S. An Application Of The Bin-Packing Technique To Job Scheduling On Uniform Processors. *Journal of The Operational Research Society*. v. 42, n. 2, p. 169-172. 1991.
- VAN LAARHOVEN, P.J.M., AARTS, E.H.L. e LENSTRA, J.K. Job Shop Scheduling By Simulated Annealing. *Operations Research*. v. 40, n. 1, p. 113-125. 1992.
- VEMPATI, V.S., CHEN, C.-L. e BULLINGTON, S.F. An Effective Heuristic For Flow Shop Problems With Total Flow Time As Criterion. *Computers and Industrial Engineering*. v. 5, n. 1/4, p. 219-222. 1993.

VICKSON, R.G. e ALFREDSSON, B.E. Two And Three Machine Flow Shop Scheduling Problems With Equal Sized Transfer Batches. *International Journal of Production Research*, v. 30, n. 7, p. 1551-1574. 1992.

WAGNEUR, E. e SRISKANDARAJAH, C. The Two-Machine Permutation Flow Shop With State-Dependent Processing Times. *Naval Research Logistics*. v. 40, p. 697-717. 1993.

WEBSTER, S. New Bounds For The Identical Parallel Processor Weighted Flow Time Problem. *Management Science*. v. 38, n. 1, p. 124-136. 1992.

WEBSTER, S.T. A Priority Rule For Minimizing Weighted Flow Time In A Class Of Parallel Machine Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*. v. 70, p. 327-334. 1993.

WERNER, F. On The Heuristic Solution Of The Permutation Flow Shop Problem By Path Algorithms. *Computers Operations Research*. v. 20, n. 7, p. 707-722. 1993.

WIDMER, M. Job Shop Scheduling With Tooling Constraints: A Tabu Search Approach. *Journal of the Operational Research Society*. v. 42, n. 1, p. 75-82. 1991.

WIDMER, M. e HERTZ, A. A New Method For The Flow Sequencing Problem. *European Journal of Operational Research*. v. 41, p. 186-193. 1989.

WU, S.D., STORES, R.H. and CHANG, P. One-Machine Rescheduling Heuristic With Efficiency And Stability As Criteria. *Computer Operational Research*. v. 20, n. 1, p. 1-14. 1993.

ZHENG, W.-X., NAGASAWA, H. e NISHIYAMA, N. Single-Machine Scheduling For Minimizing Total Cost With Identical, Asymmetrical Earliness And Tardiness Penalties. *International Journal of Production Research*. v. 31, n. 7, p. 1611-1620. 1993.