



## **Programação da Produção em Sistemas de Produção *Flow Shop* com restrições e critérios de *Flow Time* e *Makespan*: uma análise dos trabalhos publicados no Brasil**

Thays J. Perassoli Boiko<sup>1</sup> (GEPPGO, DEP, FECILCAM) – thaysperassoli@bol.com.br

Márcia de Fátima Morais<sup>2</sup> (GEPPGO, DEP, FECILCAM) - marciafmorais@yahoo.com.br

Fernando W. R. Varolo<sup>3</sup> (EPA, GEPPGO, FECILCAM) - fernandovarolo@hotmail.com

Lucas T. de A. Tsujiguchi<sup>4</sup>(EPA, GEPPGO, FECILCAM) - l.tsujiguchi@hotmail.com

*Resumo: Esta pesquisa visa analisar os trabalhos, publicados no Brasil, cujos objetivos são propor e experimentar computacionalmente novos métodos de solução para a Programação da Produção (PP) em sistemas Flow Shop (FS) com critério de Flow Time, de Makespan e com bi-critério de Flow time e Makespan, ambos com e sem restrições, além de trabalhos que propõem propriedades estruturais deste problema. A revisão de literatura contemplou todos os tipos de FS. Os trabalhos foram analisados em função do tipo de FS considerado, de considerarem ou não restrições nas hipóteses do problema, do critério de desempenho e da classificação do método de solução proposto. Os resultados das análises foram comparados em termos de porcentagem, com um total de 278 trabalhos encontrados na revisão de literatura, realizada pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO). Tal pesquisa foi realizada pelo GEPPGO com o objetivo geral de identificar e analisar a PP na literatura publicada no Brasil. O objetivo desta comparação foi determinar a situação, no Brasil, das pesquisas em PP de tarefas em sistema de produção FS Permutacional. Metodologicamente, esta pesquisa classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e explicativa e, quanto aos meios, como bibliográfica.*

*Palavras-chave: Métodos de Solução; Revisão de Literatura; Bi-critério.*

### **1. Introdução**

A Engenharia de Produção (EP) é a engenharia cujo foco de atuação está nos sistemas de produção e nos bens e/ou serviços gerados por estes sistemas (Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, 2001).

Entre as dez Áreas de Conhecimento de EP descritas pela ABEPRO, a Área

---

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial (EPA) pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM/UEPR). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da UEPR. Pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional (PO). Áreas de atuação: PO; PPCP; Programação da Produção; Engenharia do Produto, e; Educação em Engenharia de Produção.

<sup>2</sup> Graduada em EPA pela FECILCAM/UEPR. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Auxiliar do DEP da FECILCAM. Pesquisadora do GEPPGO, Linha de Pesquisa em (PO). Áreas de atuação: PO; PPCP; Programação da Produção; Engenharia do Produto, e; Educação em Engenharia de Produção.

<sup>3</sup> Graduando em EPA pela FECILCAM/UEPR. Pesquisador GEPPGO, Linha de Pesquisa em PO o. Áreas de atuação: PO; PPCP; Programação da Produção; Engenharia da Qualidade.

<sup>4</sup> Graduando em EPA pela FECILCAM/UEPR. Pesquisador GEPPGO, Linha de Pesquisa em PO. Áreas de atuação: PO; PPCP; Programação da Produção.



Engenharia de Operações e Processos da Produção é a responsável pelos projetos, operações e melhorias dos sistemas que criam e entregam os bens ou serviços primários das empresas, esta possui seis Sub-áreas de Conhecimento (ABEPRO, 2008).

A operacionalização das operações nestes sistemas é de responsabilidade da Sub-Área Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP).

As atividades do PPCP são desempenhadas dentro de uma hierarquia de planejamento da produção (HAX; CANDEA, 1975, GAITHER; FRAZIER, 2002, CORRÊA; CORRÊA, 2004 e NANCI *et al.* In LUSTOSA *et al.*, 2008).

No nível de planejamento de itens (tarefas e/ou lotes de tarefas) individuais ocorre a Programação da Produção (PP), responsável por decidir a alocação de recursos através do tempo para a realização de itens, buscando melhor satisfazer um grupo de critérios pré-definidos (BAKER, 1974, MACCARTHY; LIU, 1993 e YANG; LIAO, 1999). Desta forma, as funções da PP, envolvem duas decisões: i) decisões de alocação de recursos; ii) decisões de sequenciamento de itens individuais (BAKER, 1974 e CORRÊA; GIANESI; CAON, 2001). Estas decisões a serem tomadas pela PP envolvem muitas variáveis do sistema de produção.

A Pesquisa Operacional (PO) é a Área de Conhecimento de EP, que fornece modelos matemáticos, normalmente processados computacionalmente, para a resolução de problemas reais que envolvem situações de tomada de decisão (ABEPRO, 2008). A tomada de decisão é tratada pela PO como um problema a ser resolvido matematicamente. Assim, ao se utilizar a PO na tomada de decisão pela PP, estas devem consideradas com um problema, o Problema de PP (PPP).

A Linha de Pesquisa em PO, Sub-Linha de Pesquisa em PO aplicada à PP, do Grupo de Estudos e Pesquisas em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), tem como principal objeto de pesquisa o PPP em sistemas de produção *Flow Shop*, *make-to-stock* com fluxo intermitente. O GEPPGO tem realizado pesquisas com o objetivo de estudar, desenvolver e aplicar modelos e técnicas de PO para apoiar decisões em PP.

Recentemente o GEPPGO desenvolveu uma pesquisa global, em duas fases, com o objetivo geral de identificar e analisar a PP na literatura publicada no Brasil: i) na primeira fase, foram revisados os conteúdos de 24 livros, publicados no Brasil, em português, que de alguma forma tratam de PP (BOIKO *et al.*, 2009); e ii) na segunda, realizou-se uma revisão de literatura em nível de Brasil. Ao todo foram encontrados 278 trabalhos, classificados em pesquisas do tipo estudo de caso, pesquisa bibliográfica (os trabalhos com objetivo de apresentar revisão de literatura), teóricas/conceituais, metodológicas/experimentais (os trabalhos com objetivo de propor e experimentar computacionalmente novos métodos para a PP) e experimentais (os trabalhos com objetivo de experimentar computacionalmente métodos existentes para a PP).

A análise realizada na primeira fase mostrou que a PP tem sido um assunto tratado de forma bastante simplista nestes livros e que não existe, no Brasil, como existe nos Estados Unidos da América, livros que tratem especificamente de PP.

Os resultados da segunda fase, mostraram que o PPP em sistemas de produção *Flow Shop* envolvendo hipóteses de que restrições estão envolvidas no sistema de produção tem sido pouco tratado na literatura, embora esta não seja a realidade industrial em que tantas restrições estão envolvidas. Os resultados desta fase, mostraram, também, que, o bi-critério de *Flow Time* e *Makespan* tem sido pouco considerado no desenvolvimento de métodos.



Neste contexto, o GEPPGO está desenvolvendo duas pesquisas. Uma cujo objetivo é desenvolver novos métodos heurísticos para a PP de tarefas em *Flow Shop* Permutacional, *make-to-stock* e fluxo intermitente com restrições e bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*, focando-se na realidade industrial brasileira (BOIKO *et al.*, 2010), denominada aqui de Pesquisa 1. A outra (Pesquisa 2), cujo objetivo é desenvolver novos métodos heurísticos para a PP de tarefas em *Flow Shop* Híbrido, *make-to-stock* e fluxo intermitente com restrição de tempo de *setup* e bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*.

Ambas, as pesquisas classificam-se, quanto aos fins, como descritivas, explicativas e metodológicas e, quanto aos meios, como bibliográfica e experimental (computacional). A Pesquisa 1 classifica-se, também, quanto aos meios, como estudo multi-caso.

Este artigo apresenta resultados da Pesquisa 1, desenvolvida em três fases: i) na primeira, foram analisados os trabalhos, publicados no Brasil, cujos objetivos são propor e experimentar computacionalmente novos métodos de solução para a PP em *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, de *Makespan* e com bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*, ambos com e sem restrições. Foram analisados ainda os trabalhos que propõem propriedades estruturais deste Problema. Os resultados desta fase estão sendo usados também pela Pesquisa 2; ii) na segunda, o objetivo é realizar um estudo multi-caso em indústrias que adotam o sistema de produção *Flow Shop* Permutacional, para identificar as restrições envolvidas; e iii) na terceira fase, o objetivo é desenvolver métodos de solução para o PPP considerado.

Neste artigo relatam-se os resultados da primeira fase da Pesquisa 1, que, juntamente, com os resultados da segunda, serão utilizados na determinação das restrições a serem consideradas no desenvolvimento de novos métodos. Os resultados da primeira fase mostram as restrições que estão sendo negligenciadas na literatura e os resultados da segunda, mostrarão as restrições que mais ocorrem nos sistemas de produção das indústrias brasileiras.

O artigo está estruturado em 6 partes. Após a contextualização e ambientalização da pesquisa, o referencial teórico-conceitual referente a PPP é brevemente exposto. Em seguida, a metodologia é apresentada. Na quarta parte, a análise dos trabalhos é detalhada. Na quinta parte tem-se os resultados das análises. Por fim, tem-se as considerações finais.

## **2. Problema de Programação da Produção**

Uma definição de Problema de Programação da Produção (PPP) é apresentada de forma bastante completa por Taillard (1993). Um PPP pode ser especificado, em termos de sua classificação, dos critérios de desempenho adotados (MACCARTHY; LIU, 1993) e das hipóteses do problema (BOIKO; MORAIS, 2009).

Os PPP são classificados de acordo com os sistemas de produção, por tipo de posicionamento do processo de produção, onde ocorrem (BOIKO e MORAIS, 2009). Assim, podem ser classificados em: a) Máquina Única; b) Máquinas Paralelas; c) *Flow Shop*; d) *Flow Shop* Permutacional (FSP); e) *Flow Shop* Híbrido; f) *No-Wait Flow Shop*; g) *Job Shop*; h) *Job Shop* com máquinas múltiplas; h) *Open Shop*; i) Por Projeto.

Os critérios de desempenho adotados caracterizam a natureza do PPP, pois estão relacionados com os objetivos de desempenho da produção. Critérios de desempenho são listados por Maccarthy e Liu (1993) e explicados por French (1982) e Bedworth e Bailey (1987). Os critérios de desempenho adotados são o *Flow Time* e *Makespan*, que, respectivamente, estão relacionados a resposta rápida a demanda e redução do estoque em processamento e a eficiente utilização dos recursos, metas de produção tão almejadas pelas indústrias. (BOIKO, 2008 e MORAIS, 2008).



As hipóteses dizem respeito à dinâmica de funcionamento do sistema de produção e as restrições envolvidas nestes sistemas. Estas, segundo Gupta e Stafford Jr. (2006), podem ser divididas em hipóteses sobre tarefas, sobre máquinas e sobre políticas de operações.

Muitos métodos têm sido desenvolvidos para resolver os PPP, podendo ser basicamente de dois tipos: métodos de solução ótima, e; métodos heurísticos, que dividem-se em construtivos e melhorativos (FUCHIGAMI, 2005).

### 3. Metodologia

O método de abordagem utilizado na análise dos trabalhos foi qualitativo-quantitativo. A análise classifica-se, quanto aos meios, como pesquisa bibliográfica e digital, e quanto aos fins, como descritiva.

A revisão de literatura foi realizada em nível nacional, sendo consideradas revistas, periódicos, teses, dissertações e anais de eventos. Esta foi delimitada, em função da busca por trabalhos: i) que propõem e experimentam computacionalmente novos métodos de solução para a Programação da Produção em sistema de produção *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, de *Makespan* e com bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*, ambos com e sem restrições; e ii) que propõem propriedades estruturais deste Problema.

Foram considerados trabalhos realizados em todos os tipos de *Flow Shop*. Não foi estabelecida uma limitação temporal na revisão de literatura. Na busca por trabalhos utilizou-se os seguintes termos chaves: Programação da Produção (em inglês, *Production Scheduling*, termo bastante usado em português); *Flow Shop*; restrições; *Flow Time*; *Makespan*.

Os trabalhos encontrados na literatura foram analisados em função: a) do tipo de *Flow Shop* considerado; b) de considerarem que restrições estão ou não envolvidas nas hipóteses do problema; e c) da classificação do método de solução proposto: i) métodos heurísticos; ii) métodos de solução ótima.

No caso dos trabalhos com critério de desempenho de *Flow Time*, estes foram analisados também em relação ao tipo de *Flow Time* considerado: i) *Flow Time*; ii) *Flow Time* Médio; iii) *Flow Time* Total.

Nos trabalhos que consideram que restrições estão envolvidas nas hipóteses do problema, analisou-se quais são as restrições consideradas. As análises dos trabalhos foi estruturada de acordo com o critério de desempenho adotado.

Os resultados da análises foram comparados estatisticamente, em termos de porcentagem, em relação a dois pontos. No primeiro ponto, em relação ao total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com os critério de *Makespan* e *Flow Time*. No segundo ponto, em relação ao total de 278 trabalhos encontrados na revisão de literatura, realizada pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), com o objetivo de levantar os trabalhos de Programação da Produção (PP) publicados no Brasil. O objetivo desta comparação foi determinar a situação, no Brasil, das pesquisas em PP de tarefas em sistema de produção *Flow Shop* Permutacional, *make-to-stock* e fluxo intermitente com restrições e bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*, Problema de PP considerado na pesquisa em desenvolvimento pelo GEPPGO (BOIKO *et al.*, 2010).

### 4. Análise dos Trabalhos em Programação da Produção em *Flow Shop* com critérios de desempenho de *Flow Time* e *Makespan*

A seguir são apresentadas a legenda de siglas e abreviaturas utilizada nos Quadros 1 a 11: FS: *Flow Shop* Tradicional; FSP: *Flow Shop* Permutacional; FSH: *Flow Shop* Híbrido;

NW: *No-Wait Flow Shop*; FT: *Flow Time*; FTM: *Flow Time Médio*; FTT: *Flow Time Total*; S: Sim; N: Não; MH: Método Heurístico; MSO: Método de Solução Ótimo; e PP: Programação da Produção.

Os Quadros 1 a 11 apresentam as análises dos trabalhos.

#### 4.1 Análise dos trabalhos com critério de *Flow Time*

##### 4.1.1 Análise quanto ao tipo de *Flow Shop*, tipo de *Flow Time* e restrições envolvidas

O Quadro 1 apresenta a análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto ao tipo de *Flow Shop* considerado, tipo de *Flow Time* e quanto a considerarem ou não que restrições estão envolvidas nas hipóteses do problema considerado e, em caso afirmativo, quais são as restrições consideradas.

Trabalho	TIPO DE <i>FLOW SHOP</i>				TIPO DE FT			RESTRICÇÃO		
	FS	FSP	FSH	NW	FT	FTM	FTT	S	N	Descrição
Nagano; Moccellini; Lorena (2005)		x				x			x	-----
Scardoelli (2006)				x			x		x	-----
Fabrcio; Cabral; Subramanian (2007)			x		x			x		Tamanho de lote variável
Ribeiro Filho; Nagano; Lorena (2007)		x					x		x	-----
Ferreira; Moberito; Rangel (2008)	x				x			x		Setup dependente da sequência
Morais (2008)			x			x		x		Setup dependente da sequência
Morais; Moccellini (2010)			x			x				Setup dependente da sequência

QUADRO 1 - Análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto ao tipo de *Flow Shop*, tipo de *Flow Time* e restrições

##### 4.1.2 Análise quanto à classificação do método de solução proposto

No Quadro 2 apresenta-se a análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto a classificação do método de solução proposto.

Trabalho	Tipo	Classificação do Método Heurístico
Nagano; Moccellini; Lorena (2005)	MH	Melhorativo
Scardoelli (2006)	MH	Contrutivo
Fabrcio; Cabral; Subramanian (2007)	MSO	-----
Ribeiro Filho; Nagano; Lorena (2007)	MH	Melhorativo
Ferreira; Moberito; Rangel (2008)	MSO	-----
Morais (2008)	MH	Construtivo
Morais; Moccellini (2010 <i>in press</i> )	MH	Construtivo

QUADRO 2 - Análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto à classificação do método de solução

## 4.2 Análise dos trabalhos com critério de *Makespan*

### 4.2.1 Análise quanto ao tipo de *Flow Shop* e restrições envolvidas

No Quadro 3 a análise dos trabalhos com critério de *Makespan* é apresentada, quanto ao tipo de *Flow Shop* considerado e quanto a considerarem ou não que restrições estão envolvidas nas hipóteses do problema considerado e, em caso afirmativo, quais são as restrições consideradas.

Trabalho	TIPO DE FLOW SHOP				RESTRICÇÃO		Descrição
	FS	FSP	FSH	NW	S	N	
Buzzo; Moccellin (2000)		x				x	-----
Muller; Limberger (2000)	x					x	-----
Nagano; Moccellin (2002)			x		x		FSH com duas máquinas não relacionadas em cada estágio de produção funciona com 2 FS em paralelo
Barros; Moccellin (2004)		x			x		Setup assimétricos e dependentes da seqüência
Branco (2006)				x		x	-----
Branco; Nagano; Moccellin (2006)				x		x	-----
Leite; Arroyo (2006)		x				x	-----
Scardoelli; Nagano; Moccellin (2006)				x		x	-----
Fuchigami; Moccellin (2007)			x		x		Tempos de <i>setup</i> independentes; Antecipabilidade ou não dos <i>setups</i> estabelecidas de acordo com uma probabilidade
Moccellin; Nagano (2007)		x			x		Tempos de <i>setup</i> dependentes e independentes
Nagano; Branco; Moccellin (2007)		x				x	-----
Boiko (2008)		x			x		Tempos de <i>setup</i> independentes
Silva; Morabito; Yanasse (2009 <i>in press</i> )			x		x		Restrições de Adjacência; Prazos de das tarefas determinados; Prazos de entrega das tarefas determinados; Restrições de tecnologia (o posto de trabalho onde a tarefa deve ser executada é pré-determinado); Relações de precedência entre as tarefas.
Boiko; Moccellin (2010)		x			x		Setup Independente

QUADRO 3 - Análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto ao tipo de *Flow Shop* e restrições

### 4.2.2 Análise quanto à classificação do método de solução proposto

No Quadro 4 apresenta-se a análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto a classificação do método de solução proposto.

Trabalho	Tipo	Classificação do Método Heurístico
Buzzo; Moccellin (2000)	MH	Melhorativo
Muller; Limberger (2000)	MH	Melhorativo
Nagano; Moccellin (2002)	MH	Melhorativo
Barros; Moccellin (2004)	MH	Construtivo
Branco (2006)	MH	Construtivo
Branco; Nagano; Moccellin (2006)	MH	Melhorativo
Leite; Arroyo (2006)	MH	Construtivo
Scardoelli; Nagano; Moccellin (2006)	MH	Melhorativo
Fuchigami; Moccellin (2007)	MH	Construtivo
Moccellin; Nagano (2007)	---	APRESENTANDO UMA PROPRIEDADE ESTRUTURAL DO PROBLEMA
Nagano; Branco; Moccellin (2007)	MH	Construtivo
Boiko (2008)	MH	1 Construtivo e 1 Melhorativo
Silva; Morabito; Yanasse (2009 <i>in press</i> )	MSO	-----
Boiko; Moccellin (2010 <i>in press</i> )	MH	1 Construtivo e 1 Melhorativo

QUADRO 4 - Análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto à classificação do método de solução

## 5. Resultados das análises

### 5.1 Resultados das análises dos trabalhos com critério de *Flow Time*

Na revisão de literatura realizada foram encontrados ao todo 7 trabalhos em sistemas de produção *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, conforme é possível visualizar no Quadro 5.

TIPO DE <i>FLOW SHOP</i>	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL DE 278 TRABALHOS DE PP PUBLICADOS NO BRASIL (APROXIMADA)
<b>FS</b>	1	14,29	0,36
<b>FSP</b>	2	28,57	0,72
<b>FSH</b>	3	42,86	1,08
<b>NW</b>	1	14,29	0,36
<b>TOTAL</b>	7	100	2,52

QUADRO 5 – Resultados das análises dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto ao tipo de *Flow Shop*

Encontrou-se apenas 1 trabalho em *Flow Shop* Tradicional e um trabalho em *No-Wait Flow Shop* com critério de *Flow Time*, o que representa aproximadamente 14,29% dos trabalhos encontrados. O tipo de *Flow Shop* com o maior número de trabalhos encontrados foi o *Flow Shop* Híbrido, o que representa aproximadamente 42,86% dos trabalhos em *Flow Shop* com o critério de *Flow Time*.

A análise em relação ao total de 278 trabalhos encontrados na revisão de literatura, realizada GEPPGO, com o objetivo de levantar os trabalhos de Programação da Produção (PP) publicados no Brasil, mostra que os trabalhos em *Flow Shop* com critério de *Flow Time* representam apenas 2,52%, aproximadamente, dos trabalhos publicados no Brasil. Quanto ao *Flow Shop* Permutacional com critério de *Flow Time*, Problema de PP (PPP) considerado na



pesquisa em desenvolvimento pelo GEPPGO (BOIKO *et al.*, 2010 *in press*), os trabalhos representam menos de 1% das pesquisas publicadas no Brasil.

O Quadro 6, apresenta os resultados das análises dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto à apresentarem ou não restrições nas hipóteses do PPP.

RESTRICÇÕES	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL DE 278 TRABALHOS DE PP PUBLICADOS NO BRASIL (APROXIMADA)
NÃO	3	42,86	1,08
SIM	4	57,14	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100</b>	<b>2,52</b>

QUADRO 6 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto às restrições

Do total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, aproximadamente 57,14% dos trabalhos consideram restrições nas hipóteses do PPP, no entanto, em relação ao total de trabalhos publicados no Brasil em PP, como é possível constatar no Quadro 7, isto representa apenas, 1,44% aproximadamente.

Em relação aos trabalhos em *Flow Shop* Permutacional com critério de *Flow Time*, PPP não foi encontrado nenhum trabalho com restrições.

Quanto as restrições consideradas, 75% dos trabalhos consideram a restrição de *setup* dependentes da sequência e apenas um trabalho considerou a restrição de tamanho de lote variável.

O Quadro 7, apresenta os resultados das análises dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto ao tipo de *Flow Time* considerado.

TIPO DE FT	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)
FT	2	28,57
FTM	3	42,86
FTT	2	28,57
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100</b>

QUADRO 7 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto ao tipo de *Flow Time*

Do total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, a maioria dos trabalhos considera o *Flow Time* Médio, aproximadamente 42,86%.

O Quadro 89, apresenta os resultados das análises dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto à classificação do método de solução proposto.

CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)
MSO	2	28,57
MH	5	71,43
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100</b>

QUADRO 8 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Flow Time* quanto à classificação do método





Do total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com critério de *Flow Time*, a maioria dos trabalhos propõem métodos heurísticos, aproximadamente 71,43%, destes 60% propõem métodos construtivos e 40% métodos melhorativos.

## 5.2 Resultados das análises dos trabalhos com critério de *Makespan*

Na revisão de literatura realizada foram encontrados ao todo 14 trabalhos em sistemas de produção *Flow Shop* com critério de *Makespan*, conforme é possível visualizar no Quadro 9.

TIPO DE <i>FLOW SHOP</i>	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL DE 278 TRABALHOS DE PP PUBLICADOS NO BRASIL (APROXIMADA)
FS	1	7,14	0,36
FSP	7	50	2,52
FSH	3	21,43	1,08
NW	3	21,43	1,08
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>5,04</b>

QUADRO 9 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto ao tipo de *Flow Shop*

Encontrou-se apenas 1 trabalho em *Flow Shop* Tradicional, o que representa, aproximadamente, 7,14% dos trabalhos encontrados. O tipo de *Flow Shop* com o maior número de trabalhos encontrados foi o *Flow Shop* Híbrido, o que representa 50% dos trabalhos em *Flow Shop* com o critério de *Makespan*.

A análise em relação ao total de 278 trabalhos encontrados na revisão de literatura, realizada pelo GEPPGO, mostra que os trabalhos em *Flow Shop* com critério de *Makespan* representam apenas 5,04%, aproximadamente, dos trabalhos publicados no Brasil. Quanto ao *Flow Shop* Permutacional com critério de *Makespan*, os trabalhos representam aproximadamente 2,52% das pesquisas publicadas no Brasil.

O Quadro 10, apresenta os resultados das análises dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto à apresentarem ou não restrições nas hipóteses do Problema de Programação da Produção (PPP).

RESTRICÇÕES	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL DE 278 TRABALHOS DE PP PUBLICADOS NO BRASIL (APROXIMADA)
NÃO	7	50	2,52
SIM	7	50	2,52
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100</b>	<b>5,04</b>

QUADRO 10 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto às restrições

Do total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com critério de *Makespan*, aproximadamente metade dos trabalhos consideram restrições nas hipóteses do PPP, no entanto, como é mostrado no Quadro 10, isto representa apenas 2,52% aproximadamente.

Em relação aos trabalhos em *Flow Shop* Permutacional com critério de *Makespan*, um total de 4 trabalhos considera restrições, o que representa, aproximadamente, 28,57% dos trabalhos encontrados e apenas 1,44%, aproximadamente, do total de trabalhos publicados no Brasil.



Quanto as restrições consideradas, 71,43% dos trabalhos consideram tempos de *setup*. Em apenas um dos trabalhos que consideram restrições, mais de uma restrição é considerada.

O Quadro 11 apresenta os resultados das análises dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto à classificação do método de solução proposto.

CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE SOLUÇÃO	TOTAL DE TRABALHOS	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AOS TRABALHOS EM FS COM CRITÉRIO DE FT (APROXIMADA)
MSO	1	7,14
MH	12	85,72
Não apresenta métodos	1	7,14
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100</b>

QUADRO 11 – Resultados das análise dos trabalhos com critério de *Makespan* quanto à classificação do método

Do total de trabalhos encontrados em *Flow Shop* com critério de *Makespan*, aproximadamente 85,72% dos trabalhos propõem métodos heurísticos, destes, 41,67%, aproximadamente, propõem métodos construtivos e a mesma porcentagem propõem métodos melhorativos e, aproximadamente, 16,67% propõem tanto métodos contrutivos quanto melhorativos.

Em um dos trabalhos encontrados (MOCCELLIN; NAGANO, 2007) o objetivo do trabalho foi apenas apresentar uma propriedade estrutural PPP considerado. Em dois trabalhos (BOIKO, 2008 e BOIKO; MOCCELLIN, 2010 *in press*), além de métodos são apresentadas também propriedades estruturais do PPP considerado.

## 6. Considerações Finais

As análises dos trabalhos mostram que não foi encontrado nenhum trabalho, na revisão de literatura realizada, Programação da Produção (PP) de tarefas em sistema de produção *Flow Shop* Permutacional (FSP) e bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*, Problema de PP considerado na pesquisa em desenvolvimento pelo GEPPGO.

É importante destacar que, em relação ao total de trabalhos publicados no Brasil em PP, é insignificante o número de trabalhos em FSP com ambos os critério de *Flow Time* e *Makespan*, que um número ainda destes trabalhos considera restrições e que a variedade de restrições consideradas é bastante pequena. Quanto ao tipo de métodos de solução propostos, a maioria dos trabalhos se dedica a propor métodos heurísticos.

Por fim, pode-se concluir a importância da pesquisa em desenvolvimento pelo GEPPGO, apresentada na Introdução deste Artigo.

## Referências

ABEPRO. *Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção*. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>>. Acesso em: 15 jun. 2009, 13:15:40.

\_\_\_\_\_. *Engenharia de Produção: Grande área e diretrizes curriculares*. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/Ref\\_curriculares\\_ABEPRO.pdf](http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/Ref_curriculares_ABEPRO.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2009, 20:00.

BAKER, K. R. *Introduction to sequencing and scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1974.

BARROS, A. D.; MOCCELLIN, J. V. Análise da Flutuação do Gargalo em Flow Shop Permutacional com Tempos de Setup Assimétricos e Dependentes da Seqüência. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 11, n.1, p. 101-108, jan./abr. 2004.



BEDWORTH, D. D.; BAILEY, J. E. *Integrated Production Control Systems: management, analysis, design*. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987.

BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M. F. A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: uma abordagem teórico conceitual. ENCONTRO TECNOLÓGICO DA UTFPR – CAMPUS DE CAMPO MOURÃO (VI ENTEC), 6, 2009, Campo Mourão. *Anais...* Campo Mourão, 2009.

BOIKO, T. J. P.; MORAIS; M. de F.; VAROLO, F. W. R.; CANTIERE, P. C.; MENEGARDE, J. K. Programação da produção: uma análise de conteúdo dos livros publicados em português no Brasil. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XVI SIMPEP), 16, 2009, Bauru-SP. *Anais...* Bauru: 2009.

BOIKO, T. P. J. *Métodos heurísticos para a programação em Flow Shop Permutacional com tempos de setup separados dos tempos de processamento e independentes da seqüência de tarefas*. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BOIKO, T. J. P.; MOCCELLIN, J. V. Métodos Heurísticos para a Programação da Produção em *Flow Shop* Permutacional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento e independentes da seqüência de tarefas. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XLII SBPO), 42, 2010. Bento Gonçalves, RS. *Anais...*

BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M. de F.; VAROLO, F. W. R.; TSUJIGUCHI, L. T. de A. Programação da Produção em Sistemas de Produção *Flow Shop* Permutacional com restrições e bi-critério de *Flow Time* e *Makespan*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XLII SBPO), 42, 2010. Bento Gonçalves, RS. *Anais...*

BRANCO, F. J. C. *Avaliação dos Métodos Heurísticos para o problema no-wait Flow Shop com o critério de minimização da duração total da programação*. 457 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BRANCO, F. J. C.; NAGANO, M. S.; MOCCELIN, J. V. Minimização da duração total da programação em sistemas de produção flowshop sem interrupção na execução das tarefas. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVI ENEGEP), 26, 2006. Fortaleza, CE. *Anais...*

BUZZO, W. R.; MOCCELLIN, J. V. Programação da Produção em Sistemas Flow Shop Utilizando um Método Heurístico Híbrido Algoritmo Genético-Simulated Annealing. *Revista Gestão & Produção*. São Carlos, v. 7, n. 3. p. 364-377, abr. 2000.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações: manufatura e serviços*. São Paulo: Atlas, 2004.

FABRÍCIO, A. DE S. F.; CABRAL, L. DOS A. F.; SUBRAMANIAN, A. Problema de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção: um estudo de caso em uma indústria de bebidas. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVII ENEGEP), 27, 2007. Foz do Iguaçu, PR. *Anais...*

FERREIRA, D.; MORABITO, R.; RANGEL, S. Um modelo de otimização inteira mista e heurísticas relax and fix para a programação da produção de fábricas de refrigerantes de pequeno porte. *Produção*. São Paulo, 18, 1, 76-88, 2008.

FRENCH, S. *Sequencing and Scheduling: an introduction to the mathematics of the job-shop*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1982.

FUCHIGAMI, H.Y. *Métodos heurísticos construtivos para o problema de programação da produção em sistemas flow shop híbridos com tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da seqüência*. 2005 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FUCHIGAMI, H. Y. ; MOCCELLIN, J. V. Análise de Desempenho de Regras De Prioridade para Programação em Flowshop com Múltiplas Máquinas e Tempos de Setup Independentes da Seqüência. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVII ENEGEP), 27, 2007. Foz do Iguaçu, PR. *Anais...*

GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da Produção e Operações*. 8 ed. São Paulo: Thomson Learning, 2002.



- GUPTA, J.N.D.; STAFFORD JR., E. F. Flowshop scheduling research after five decades. *European Journal of Operational Research*. n. 169, p. 699-711, 2006.
- HAX, A. C.; CANDEA, D. *Production and inventory management*. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
- LEITE, M.; ARROYO, J. L. C. Algoritmo busca tabu para a minimização do tempo de processamento e atrasos de entrega em sistemas de produção flowshop permutacional. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVI ENEGEP), 26, 2006. Fortaleza, CE. *Anais...*
- 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*, London, v. 31, n. 1, p. 59-79, 1993.
- MOCCELLIN, J. V.; NAGANO, M. S. Uma propriedade estrutural do problema de programação da produção flow shop permutacional com tempos de setup. *Pesquisa Operacional[online]*, Rio de Janeiro, v.27, n.3, p.487-515, Setembro-Dezembro de 2007.
- MORAIS, M. D. F. Métodos heurísticos construtivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção Flow Shop híbridos com tempos de setup dependentes da seqüência. 300 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- MORAIS, M. D. F.; MOCCELLIN, J. V. Métodos heurísticos construtivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção Flow Shop híbridos com tempos de setup dependentes da seqüência. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2010.
- MULLER, F. M.; LIMBERGER, S. J. Uma heurística de trocas para o problema de seqüenciamento de tarefas em processadores uniformes. *Pesquisa Operacional [online]*. Rio de Janeiro, v.20, n.1, p. 31-42. Jun. 2000.
- NAGANO, M. S.; BRANCO, F. J. C.; MOCCELLIN, J. V. Soluções de Alto Desempenho para a Programação da Produção Flow Shop. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XIV SIMPEP), 14, 2007. Bauru, SP. *Anais...* Bauru: 2007.
- NAGANO, M. S.; MOCCELLIN, J. V. Flow shops paralelos com processadores não-relacionados. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXII ENEGEP), 22, 2002. Curitiba, PR. *Anais...*
- NAGANO, M. S.; MOCCELLIN, J. V.; LORENA, L. A. N. Programação da produção Flow Shop permutacional com minimização do tempo médio de fluxo. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XXVI SBPO), 36, 2004. São José Del-Rei, MG. *Anais...*
- NANCI, L. C. *et al.* O PCP no Contexto Estratégico. In: LUSTOSA, L. *et al.* *Planejamento e Controle da Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- PORTMANN, M. C. Scheduling methodology: optimization and compu-search approaches I. In: ARTIBA, A.; ELMAGHRABY, S. E. *The planning and scheduling of production systems: methodologies and applications*. London: Chapman & Hall, 1997.
- RIBEIRO FILHO, G.; NAGANO, M. S.; LORENA, L. A. N. Heurística evolutiva para a redução do estoque em processamento em sistemas de produção Flow Shop permutacional. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVII ENEGEP), 27, 2007. Foz do Iguaçu, PR. *Anais...*
- SCARDOELLI, L. Y, NAGANO, M. S; MOCCELIN, J. V. Um novo método heurístico para redução do estoque em processamento em sistemas de produção flow shop sem interrupção na execução das tarefas. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XXVI ENEGEP), 26, 2006. Fortaleza, CE. *Anais...*
- SCARDOELLI, L. Y. Novos métodos heurísticos para a programação de operações no-wait Flow Shop com critérios de minimização do tempo total de fluxo. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- SILVA, B. J. V., MORABITO, R. & YANASSE, H. H. Programação da Produção de Gabaritos de Montagem com Restrições de Adjacência na Indústria Aeronáutica. *Produção*, 2009 (*in press*).
- TAILLARD, E. Benchmarks for basic scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, Amsterdam, v. 64, p. 278-285, 1993.
- YANG, W.; LIAO, C. Survey of scheduling research involving setup times. *International Journal of Systems Science*, Abington, v. 30, n. 2, p. 143-155, 1999.