



PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM *FLOW SHOP* PERMUTACIONAL COM RESTRIÇÕES ADICIONAIS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE *FLOW TIME* E *MAKESPAN*: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Me. Thays Josyane Perassoli Boiko TIDE, Engenharia de Produção Agroindustrial, Fecilcam, thaysperassoli@bol.com.br

1. Introdução

Neste artigo apresenta-se parte de uma Pesquisa vinculada à um Projeto de Tempo Integral e Dedicção Exclusiva (TIDE), intitulado Programação da Produção (PP) em *Flow Shop* Permutacional (F) com restrições adicionais e bicritério de *Makespan* (C_{MAX}) e *Flow Time* (f_j) Médio. A pesquisa integra o Grupo de Estudos Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da FECILCAM.

O objetivo geral da pesquisa é investigar o Problema de PP em F com m máquinas (Fm), com restrições adicionais e bicritério de C_{MAX} e f_j Médio.

Desta forma, neste artigo, apresenta-se a revisão de literatura das pesquisas realizadas em PP em F, envolvendo restrições adicionais e critérios de desempenho de f_j e C_{MAX} .

A pesquisa engloba 2 das 10 Áreas de Conhecimento de Engenharia de Produção, que são listadas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2009): Engenharia de Operações e Processos da Produção (EOPP); Pesquisa Operacional.

Na Área de EOPP, a pesquisa se enquadra na Sub-área Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP).

O PPCP, denominado por vários autores de apenas Planejamento e Controle da Produção, é o a função administrativa responsável pelo planejamento, programação, execução e controle das atividades do sistema de produção, ou seja, pela operacionalização do sistema, determinando “o que” vai ser produzido, “em qual quantidade” vai ser produzido, “como” e “onde” vai ser produzido, “quem” vai produzir e “quando” vai ser produzido. Desta forma, o PPCP, engloba as atividades de Planejamento Agregado, Planejamento Mestre da Produção (PMP), Programação da Produção (PP) e Controle da Produção (LUSTOSA et al., 2008).

A atividade de PP é o foco desta pesquisa. A PP pode ser definida como a alocação de recursos através do tempo para a realização de tarefas (MACCARTHY; LIU, 1993), planejadas pelo PMP, para melhor satisfazer um grupo de critérios pré-definidos (YANG; LIAO, 1999). Então, é possível perceber que, a PP é uma função de tomada de decisão,



sendo que, a Área de Conhecimento da Engenharia de Produção que estuda, analisa e propõe métodos de solução para a tomada de decisão é a Pesquisa Operacional.

Assim, o objeto de estudo desta pesquisa é o Problema de PP (PPP) em F com m máquinas, com restrições adicionais e bicritério de bicritério de C_{MAX} e f_j Médio, do ponto de vista da Pesquisa Operacional.

A parte da pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica.

O artigo está estruturado em 5 partes. Após a introdução, que contextualiza a pesquisa, apresenta seu objetivo e a parte da pesquisa relatada neste artigo, o referencial teórico é brevemente exposto, destacando-se exemplos de restrições adicionais. Na parte 3, os trabalhos encontrados na revisão de literatura realizada são expostos. Depois os resultados são comentados. Por fim, têm-se as considerações a que se chegou com a revisão de literatura aqui apresentada.

2. Referencial Teórico

Para a Pesquisa Operacional, de forma geral, um Problema de Programação da Produção (PPP) é entendido, conforme Taillard (1993), como um problema de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$ que devem ser processadas em m máquinas $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$ que estão disponíveis. O processamento de uma tarefa J_j numa máquina M_k é chamado uma operação, designada de op_{kj} . Para cada operação op_{kj} existe um tempo de processamento p_{kj} associado.

Um PPP é especificado, conforme MacCarthy; Liu (1993), em função tipo de sistema de produção, por posicionamento do processo de produção, onde as tarefas devem ser realizadas e dos critérios de desempenho da PP. O tipo de sistema de produção, por posicionamento do processo de produção, considerado nesta pesquisa é o *Flow Shop* Permutacional (F), pois este é encontrado nos mais diversos tipos de organizações. Os critérios de desempenho adotados são o *Makespan* e o *Flow Time*. O primeiro, pois leva à eficiente utilização dos recursos e o último por melhorar a resposta da produção às exigências da demanda.

O porte de um PPP é determinado pelo número de tarefas n e pelo número de máquinas m considerado.

Os PPP podem ser resolvidos por método de solução ótima e por métodos heurísticos, que levam a boas soluções, em tempo de solução aceitável.



A complexidade de um PPP pode ser aumentada, tornando-o um problema não básico, quando restrições adicionais são acrescentadas ao problema tradicional. Pode-se citar alguns exemplos de possíveis restrições adicionais:

- i) Tempo de remoção: em inglês *removal* ou *teardown time*, corresponde ao tempo gasto pelas atividades realizadas após o processamento da tarefa na máquina, tais como, desengate de ferramentas, liberação de uma tarefa dos acessórios, retirada de ferramentas e de acessórios, inspeção e aferimento de ferramentas, retorno das ferramentas para a área de depósito e limpeza das máquinas e áreas adjacentes, ou seja, engloba as atividades necessárias para restaurar o estado inicial da máquina;
- ii) Tempo de *lag*: do inglês para o português, tempo de defasagem;
- iii) *Release dates*: do inglês para o português, data de liberação, a partir da qual a tarefa pode ser executada. No PPP tradicional, considera-se que todas as tarefas têm data de liberação igual a zero;
- iv) Tempos de transferência: em inglês, *transfer time*, podem corresponder a três parcelas, o tempo de retirar uma tarefa de uma máquina e colocá-la no 'veículo de transporte', o tempo de levar a tarefa até a próxima máquina, tempo este denominado de "tempo de viagem", mais o tempo de retirar a tarefa do 'veículo de transporte' e colocá-la na próxima máquina ou na linha de espera, ou seja, corresponde ao tempo de transferir uma tarefa de uma máquina para outra;
- v) *Blocking*: uma tarefa em conclusão de seu processamento numa máquina bloqueia a máquina, se a máquina seguinte estiver ocupada processando outra tarefa;
- vi) *Deadlines*: do inglês para o português, prazo de entrega final de uma tarefa que, se for atingido, anula o processamento já realizado;
- vii) *Robotic Flow Shop: Flow Shop* onde existem células automáticas de manufatura com robôs de transporte controlados por computador;
- viii) *Breakdowns*: do inglês para o português quebra de máquina, que podem ocorrer, resumidamente, enquanto as máquinas estão em operação, durante a realização do *setup* da máquina para uma tarefa e quando uma tarefa está sendo removida;
- ix) *Buffer*: do inglês para o português, espaço para estocagem;
- x) Reprogramações: revisar e refazer uma programação já realizada quando uma nova tarefa chega ao sistema de programação, uma tarefa é concluída e/ou máquinas quebram;
- xi) Gargalo: máquina do sistema de que limita o fluxo de itens no sistema;
- xii) Operador único: em inglês, *single server*, quando um único operador opera todas as m máquinas.



A consideração de restrições adicionais aproxima os métodos de solução para o PPP da realidade da produção das organizações.

3. Trabalhos em Programação da Produção em *Flow Shop* Permutacional (F) com Restrições Adicionais

Os trabalhos encontrados estão separados em *Flow Shop* Permutacional com duas (F2), três (F3) e m máquinas (F m) e conforme os critérios de desempenho de *Flow Time* (f_j) e *Makespan* (C_{max}).

3.1. *Flow Shop* com duas Máquinas (F2)

3.1.1. *Flow Time* (F_j)

Os trabalhos encontrados em *Flow Shop* Permutacional (F) com duas máquinas (F2), com restrições adicionais e critério de *Flow Time* (f_j) estão listados no Quadro 1.

AUTOR(S) E REFERÊNCIAS	RESTRIÇÕES ADICIONAIS CONSIDERADAS
Bagga; Khurana (1986)	- Tempos de <i>setup</i> .
Allahverdi (2000)	- Tempos de <i>setup</i> .
Al-Anzi; Allahverdi (2001)	- Tempos de <i>setup</i> .
Allahverdi; Aldowaisan (2002)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.

Quadro 1. Resumo das Pesquisas em F2, com restrições adicionais e critério de desempenho de f_j

Bagga; Khurana (1986) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) fornecem um método de solução ótima para F2, com a restrição adicional de tempos de *setup* independentes da seqüência, consideram como medida o *Completion Time* Médio, que é equivalente ao *Flow Time* Médio ($\sum f_j/n$, sendo $j = 1, 2, \dots, n$), quando as tarefas estão liberadas na data zero.

Allahverdi (2000), trata do mesmo problema de Bagga; Khurana (1986), desenvolvendo, a partir das considerações sobre o problema estabelecida por estes, um método de solução ótima para dois casos especiais de *Flow Shop* – *Flow Shop Semi-Ordered* (F onde existe, de alguma maneira, relações entre os tempos de processamento nas diversas máquinas) do Tipo A (a somatória dos tempos de *setup*, remoção e processamento das tarefas na primeira máquina é maior que tal soma na segunda máquina) e do Tipo B (o contrário do Tipo A). Três métodos heurísticos também são propostas para encontrarem soluções aproximadas para problemas de maior porte.



Al-Anzi; Allahverdi (2001) Apud Allahverdi et al. (2008) mostram que o problema de conectividade de *internet* em um banco de dados cliente-servidor, de três níveis, é equivalente ao problema de programação de operações em *Flow Shop* com duas máquinas, e restrição adicional de tempo de *setup*, com critério de minimização do *Flow Time* Médio ($\sum f_j$, sendo $j = 1, 2, \dots, n$). Nesse caso, uma máquina representa o servidor aplicativo e a outra o servidor do banco de dados. Assim, eles propõem nove heurísticas que apresentam melhor desempenho, ao resolver o problema, do que as propostas por Allahverdi (2000).

O mesmo problema tratado por Al-Anzi; Allahverdi (2001) é considerado por Allahverdi; Aldowaisan (2002) Apud Allahverdi et al. (2008), que consideram também o tempo de remoção. Eles apresentam métodos de solução ótima para alguns casos específicos e métodos heurísticos para problemas de maior porte.

3.1.2. *Makespan* (C_{max})

Um resumo dos trabalhos em *Flow Shop* Permutacional (F) com duas máquinas (F2), com restrições adicionais e critério de minimização do *Makespan* (C_{max}) pode ser encontrado no Quadro 2.

AUTOR(S) E REFERÊNCIAS	RESTRICÇÕES ADICIONAIS CONSIDERADAS
Yoshida; Hitomi (1979)	- Tempos de <i>setup</i> .
Sule (1982)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Sule; Huang (1983)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Szwarc (1983)	- Tempos de <i>setup</i> ; - <i>Release dates</i> ; - Tempos de <i>lags</i> .
Nabeshima; Maruyama (1984)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de <i>lags</i> ; - Tempos de remoção; - Tempos de transferência.
Khurana; Bagga (1984)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de <i>lags</i> .
Khurana; Bagga (1985)	- Tempos de <i>setup</i> ; - <i>Deadlines</i> para grupos de tarefas.
Szwarc (1986)	- Tempos de <i>setup</i> .
Logendran; Sriskandarjah (1993)	- Tempos de <i>setup</i> ; - <i>Blocking</i> na primeira máquina.
Allahverdi (1995)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção; - <i>Breakdowns</i> estocásticos.
Levner; Korgan; Maimon (1995)	- Tempos de <i>setup</i> .
Allahverdi (1997)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção; - <i>Breakdowns</i> aleatórios.
Kognan; Levner (1998)	- Tempos de <i>setup</i> .
Cheng; Wang; Sriskandarjah (1999)	- Tempos de <i>setup</i> ;



	- Tempos de remoção; - Um único operador realiza as operações de <i>setup</i> e remoção.
Glass; Shafransky; Strusevich (2000)	- Tempos de <i>setup</i> .

Quadro 2. Resumo das Pesquisas em F2, com restrições adicionais e critério de desempenho de C_{max}

Yoshida; Hitomi (1979) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999), Yang; Liao (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) desenvolvem uma extensão do Algoritmo de Johnson (1954), com restrição adicional de tempo de *setup*. O método por eles criado leva à solução ótima.

O Método de Yoshida; Hitomi (1979) é estendido por Sule (1982) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Yang; Liao (1999) e por Sule; Huang (1983) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Yang; Liao (1999). Além dos tempos de *setup* é considerada também a restrição de os tempos de remoção. Eles apresentam métodos de solução ótima para o problema. Sule; Huang (1983) também consideram o problema de *Flow Shop* com 3 máquinas.

Szwarc (1983) considera as restrições adicionais de tempo de *setup*, *release dates* e tempos de *lag* ao desenvolverem um método de solução ótimo.

O problema considerado por Szwarc (1983) é estendido por Nabeshima; Maruyama (1984) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000), que consideram, também, como restrições adicionais os tempos de remoção e os tempos de transferência.

Khurana; Bagga (1984) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) fornecem um método ótimo, considerando tempos de *setup* e tempos de *lag*.

Khurana; Bagga (1985) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) obtêm solução ótima ao resolver o problema de Yoshida; Hitomi (1979) sujeito à restrição de *deadlines* para um grupo de tarefas.

Szwarc (1986) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) usa a fórmula por ele desenvolvida anteriormente (Szwarc, 1983) para encontrar uma solução ótima para o problema sem as restrições adicionais de tempos de *lag* e *release dates*.

Logendran; Sriskandarjah (1993) tratam o problema de programação de N grupos de tarefas como um problema de programação de *n* tarefas, ou seja, cada grupo de tarefas é tratado como uma tarefa, existindo N grupos de tarefas a serem processadas nas duas máquinas do *Flow Shop*. São consideradas as restrições adicionais de tempos de *setup* e *blocking* na primeira máquina.



Allahverdi (1995) mostra que o algoritmo de Yoshida; Hitomi (1979), para problemas determinísticos, minimiza o *Makespan* quando *breakdowns* estocásticos estão presentes e os tempos de *setup* são considerados.

Levner; Korgan; Maimon (1995) Apud Allahverdi et al. (2008) e Kogan; Levner (1998) se dedicam ao *Robotic Flow Shop* com tempos de *setup*. Eles criam uma extensão do Algoritmo de Johnson (1954) para resolver tal problema.

Para o mesmo caso tratado por Sule; Huang (1983), Allahverdi (1997) prova que o algoritmo de Yoshida; Hitomi (1979), para problemas estocásticos, minimiza o *Makespan* sobre certas condições de *breakdowns* aleatórios.

Cheng; Wang; Sriskandarjah (1999) Apud Cheng; Gupta; Wang (2000) analisam o problema de *Flow Shop* com duas máquinas e um operador que realiza os *setups* e as operações de desmontagens em ambas as máquinas. Dois métodos heurísticos são propostos.

O mesmo problema de Cheng; Wang; Sriskandarjah (1999) é estudado por Glass; Shafransky; Strusevich (2000), que provam que, sem a restrição adicional de tempos de remoção, o problema é NP *hard*.

3.1.3. Bicritério: *Flow Time Total* ($\sum F_j$) e *Makespan* (C_{MAX})

O problema de *Flow Shop* estático com duas máquinas, com restrição adicional de tempos de *setup*, é estendido para o ambiente dinâmico, ou seja, tem como restrição adicional a ocorrência de reprogramações, por Su; Chou (2000), através do bicritério de *Flow Time Total* ($\sum f_j$, sendo $j = 1, 2, \dots, n$) e *Makespan* (C_{max}). O bicritério tem por objetivo, minimizar a soma dos pesos do *Flow Time Total* e do *Makespan*. Um método de solução ótima e um método heurístico são apresentados.

3.2. *Flow Shop* com 3 Máquinas (F3)

3.2.1. *Makespan* (C_{MAX})

O Quadro 3 resume os trabalhos encontrados em *Flow Shop* Permutacional (F) com 3 máquinas (F3), restrições adicionais e critério de *MAKESPAN* (C_{MAX}).

AUTOR(S) E REFERÊNCIAS	RESTRIÇÕES ADICIONAIS CONSIDERADAS
Sule; Huang (1983)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempo de remoção.
Nabeshima; Maruyama (1984)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempo de remoção;

	- Tempos de <i>lags</i> .
--	---------------------------

Quadro 3. Resumo das Pesquisas em F3, com restrições adicionais e critério de desempenho de C_{max}

Sule; Huang (1983) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999), Yang; Liao (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) ao considerarem o problema de *Flow Shop* com duas máquinas, também fornecem dois métodos heurísticos para o problema com três máquinas, considerando os tempos de *setup* e remoção como restrições adicionais.

De maneira adicional ao problema de *Flow Shop* com duas máquinas, tratado por Szwarc (1983), Nabeshima; Maruyama (1984) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) consideram o problema de três máquinas, sobre certas condições de tempo de *setup*, tempo de remoção e de tempo de *lag*.

3.3. Flow Shop com m Máquinas (Fm)

3.3.1. *Makespan* (C_{MAX})

No *Flow Shop* Permutacional (F) com m máquinas (Fm), com restrições adicionais e critério de minimização do *Makespan* (C_{max}), são encontrados vários trabalhos, conforme resume o Quadro 4.

AUTOR(S) E REFERÊNCIAS	RESTRIÇÕES ADICIONAIS
Gupta (1972)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de <i>lags</i> .
Szwarc (1986)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Szwarc; Gupta (1987)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Park; Steudel (1991)	- Tempos de <i>setup</i> ; - <i>Buffer</i> limitado; - movimentações de materiais peça-por-peça.
Proust; Gupta; Deschamps (1991)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Cao; Bedworth (1992)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de transferência diferente de zero.
Han; Dejax (1994)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Rajendran; Ziegler (1997)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Tempos de remoção.
Brucker; Knust; Wang (2005)	- Tempos de <i>setup</i> ; - Operador único para operar as m máquinas.

Quadro 4. Resumo das Pesquisas em FM, com restrições adicionais e critério de C_{max}

Gupta (1972) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999), Yang; Liao (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) descreve método de solução ótima para a minimização do *Makespan* que, com restrições adicionais de tempos de *setup* e tempos de *lags*.



Szwarc (1986) Apud Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) no mesmo artigo que considera o problema de *Flow Shop* com duas máquinas fornece uma solução aproximada para o problema de m máquinas. As restrições adicionais consideradas são o tempo de *setup* e o tempo de remoção.

Szwarc; Gupta (1987) consideram um problema especial de *Flow Shop* com a restrição adicional de *setup* dependentes da seqüência, chamado de modelo de *setup* aditivo. Eles consideram também o tempo de remoção como restrição adicional.

Park; Steudel (1991) tratam do problema de programação em células de trabalho, com fluxos em linha, estruturadas segundo a Tecnologia de Grupo. No problema são consideradas as seguintes restrições adicionais: tempos de *setup*; *buffer* limitado entre máquinas; movimentações de materiais peça-por-peça. Quatro métodos heurísticos existentes e três novos métodos são apresentadas e avaliados em relação a pequenos e grandes problemas do “mundo real”.

Proust; Gupta; Deschamps (1991) adaptam métodos ótimos e heurísticos para os problemas de Programação da Produção em *Flow Shop* tradicional para os casos em que existem as restrições adicionais de tempos de *setup* e de remoção.

Cao; Bedworth (1992) apresentam o problema de *Flow Shop* com m máquinas com uma política de armazenagem entre estágios, tempos de transferência e de *setup* diferentes de zero. Um método heurístico é apresentado.

Han; Dejax (1994) Apud Yang; Liao (1999) e Cheng; Gupta; Wang (2000) estendem um dos métodos de Proust; Gupta; Deschamps (1991) para gerar melhores programações ao considerarem cada estágio, ou seja, cada máquina, como um gargalo.

Rajendran; Ziegler (1997) desenvolvem três métodos heurísticos para a Programação em *Flow Shop* com m máquinas, com restrições adicionais de tempos de *setup* e remoção.

Brucker; Knust; Wang (2005) consideram como restrições adicionais o tempo de *setup* e que existe um único operador para operar as m máquinas do *Flow Shop*. Eles consideram, também, outros critérios de desempenho, além do *Makespan* (C_{max}).

4. Resultados

O Quadro 5, que relata a quantidade de trabalhos encontrados por *Flow Shop* Permutacional com 2 máquinas (F2), com 3 máquinas (F3) e com m máquinas (FM) e por critério de desempenho.



FLOW SHOP PERMUTACIONAL				
CRITÉRIO DE DESEMPENHO	F2	F3	F_m	TOTAL
C_{max}	15	2	9	26
f_j	4	--	--	4
Bicritério: Σf_j e C_{max}	1	--	--	1
TOTAL	20	2	9	31

Quadro 5. Quantidade de trabalhos encontrados por *Flow Shop* e critério de desempenho

Na revisão de literatura foram encontrados 31 trabalhos, destes 20 consideram o *Flow Shop* Permutacional com duas máquinas (F2), apenas 2 o com três máquinas (F3) e 9 consideram o *Flow Shop* Permutacional com *m* máquinas (F_m).

É possível perceber que dos trabalhos encontrados que tratam do *Flow Shop* Permutacional com restrições adicionais, aproximadamente 64,51% considera o com duas máquinas (F2). Dos 20 trabalhos encontrados no F2, 15 consideram como critérios de desempenho o *Makespan* (C_{max}), 4 o *Flow Time* (f_j) e 1 trabalho o bicritério de o *Flow Time* Total (Σf_j) e *Makespan* (C_{max}).

Os trabalhos encontrados em F3 correspondem à aproximadamente 6,45% do total de trabalhos encontrados. Ambos têm o *Makespan* (C_{max}) como critério de desempenho.

Enquanto que, os trabalhos encontrados em F_m correspondem à apenas 29,03%, aproximadamente, dos trabalhos encontrados considera este *Flow Shop*. Todos os 9 trabalhos considera o *Makespan* (C_{max}) como critério de desempenho.

Quanto ao critério de desempenho adotado, é possível perceber que o mais adotado é o *Makespan*, sendo considerado em 26 trabalhos (aproximadamente 83,87 % dos trabalhos encontrados), sendo que apenas 4 trabalhos considera o o *Flow Time* (f_j) e 1 trabalho o bicritério de o *Flow Time* Total (Σf_j) e *Makespan* (C_{max}).

É possível observar também que, nos casos de *Flow Shop* Permutacional com 2 e 3 máquinas, mesmo que as restrições adicionais tornem o Problema de Programação da Produção complexo, é mais comum encontrar métodos de solução ótima, pois o que determina o porte do problema, nestes casos, é o número de tarefas, uma vez que o número de máquinas é fixo.

Os resultados mostram, também, que as restrições adicionais mais consideradas são, em primeiro lugar, o tempo de *setup* e, em x segundo, o tempo de remoção. Isto pode ser explicado pelo fato de estes tempos existirem na produção da maioria das organizações.



5. Considerações Finais

Após o término do trabalho, é possível perceber que, mesmo sendo a presença de restrições adicionais uma realidade na produção da maioria das organizações, este assunto, tem sido pouco tratado na literatura, uma vez que, a maioria dos pesquisadores da área, para efeitos de simplificação, considera apenas o problema de Programação da Produção em *Flow Shop* Permutacional, denominado Tradicional, ou seja, sem restrições adicionais (BOIKO, 2008).

É importante destacar também que, embora, na maioria das organizações que utilizam o *Flow Shop* Permutacional, o número de máquinas seja maior que 3, o que caracteriza o *Flow Shop* Permutacional com m máquinas (F_m), este *Flow Shop* tem sido pouco tratado na literatura, como demonstrado neste artigo.

Os resultados mostraram ainda, a importância do critério de desempenho de *Makespan* e que, embora o critério de *Flow Time*, seja muito importante, tem sido pouco considerado, no caso de existirem restrições adicionais ao problema. O bicritério *Flow Time* e *Makespan* foi apenas considerado em um trabalho no *Flow Shop* Permutacional com 3 máquinas, o que torna a pesquisa vinculada ao Projeto de Tempo Integral de Dedicção Exclusiva (TIDE), citada na Introdução, inédita.

6. Referências

ABEPRO. Áreas e Sub-áreas de Engenharia de Produção. 2009. Disponível em <http://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362&m=424&s=1>. Acesso em agosto de 2009 às 10 hs.

ALLAHVERDI, A.; et al. A survey of scheduling problems with setup times or costs. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 187, n. 3, p. 985-1032, jun 2008.

ALLAHVERDI, A. Minimizing mean flowtime in a two-machine flowshop with sequence-independent setup times. **Computers & Operations Research**, Oxford, v. 27, n. 2, p. 111-127, 2000.

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

ALLAHVERDI, A. Scheduling in stochastic flowshop with independent setup, processing and removal times. **Computers & Operations Research**, Oxford, v. 24, n. 10, p. 955-960, 1997.



BRUCKER, P.; KNUST, S.; WANG, G. Complexity results for flow-shop problems with a single-server. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 165, n. 2, p. 398-407, sep. 2005.

CAO, J.; BEDWORTH, D. D. Flow shop scheduling in serial multi-product process with transfer and set-up times. **International Journal of Production Research**, London, v. 30, n. 8, p. 1819-1830, 1992.

CHENG, T. C. E.; GUPTA, J. N. D.; WANG, G. A review of flowshop scheduling research with setup times. **Production and Operations Management**. Munich, v. 9, n. 3, p. 262-282, 2000.

GLASS, C. A.; SHAFRANSKY, Y. M.; STRUSEVICH, V. A. Scheduling for parallel dedicated machines with a single server. **Naval Research Logistics**, v. 47, n. 4, 304-328, 2000.

KOGAN, K.; LEVNER, E.; A polynomial algorithm for scheduling small-scale manufacturing cell served by multiple robots. **Computers and Operations Research**, v. 25, p. 53-62, 1998.

LOGENDRAN, R.; SRISKANDARAJAH, C. Two-machine group scheduling problem with blocking and anticipatory setups. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 467-481, 1993.

LUSTOSA, L. J. Et. Al. **Planejamento e Controle da Produção (PCP)**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

JOHNSON, S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. **Naval Research Logistics Quarterly**, Hoboken, v. 1, p. 61-68, 1954.

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.

PARK, T.; STEUDEL, H. J. Analysis of heuristics for job sequencing in manufacturing flow line work-cells. **Computer & Industrial Engineering**. Exeter, v. 20, n. 1, p. 129-140, 1991.

PROUST, C.; GUPTA, J. N. D.; DESCHAMPS, V. Flowshops scheduling with set-up, processing and removal times separated. **International Journal of Production Research**, London, v. 29, n. 3, p. 479-493, 1991.

RAJENDRAN, C.; ZIEGLER, H. Heuristics for scheduling in a flowshop with setup, processing and removal times separated. **Production Planning & Control**. Abington, v. 8, n. 6, p. 568-576, 1997.

SÁ MOTTA, I. Planejamento e Controle da Produção. In: MACHLINE, C. et al. **Manual de Administração da Produção**. Rio de Janeiro: FGV, 1972. v. 1.

SU, Ling-Huey; CHOU, Fuh-Der Heuristic for scheduling in a two-machine bicriteria dynamic flowshop with setup and processing times separated. **Production Planning & Control**. Abington, v. 11, n. 8, p. 806-819, 2000.

SZWARC, W. Flow shop problems with time lags. **Management Science**, Rhode Island, v. 29, Iss. 4, p. 477-480, 1983.



SZWARC, W.; GUPTA, J. N. D. A flow-Shop problem with sequence-dependent additive setup times. **Naval Research Logistics**. v. 34, p. 619-627, 1987.

TAILLARD, E. Benchmarks for basic scheduling problems. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 64, p. 278-285, 1993.

YANG, Wen-Hwa; LIAO, Ching-Jong. Survey of scheduling research involving setup times. **International Journal of Systems Science**, Abington, v. 30, n. 2, p. 143-155, 1999.