



Programação da Produção em Sistemas *Flow Shop* com Tempos de *Setup* Dependentes da Seqüência: Uma Análise do Estado da Arte no Brasil

Patricia Castoldi Cantiere¹ (PIBIC-FECILCAM/Cnpq, EPA, DEP, FECILCAM, GEPPGO)
patriciacantieri@hotmail.com

Joice Kelli Menegarde² (PIBIC-FECILCAM/Cnpq, EPA, DEP, FECILCAM, GEPPGO)
joicemenegarde@hotmail.com

Fernando W. R. Varolo³ (PIBIC-FECILCAM/Fundação Araucária, EPA, DEP, FECILCAM, GEPPGO)
fernandovarolo@hotmail.com

Lucas T. de A. Tsujiguchi⁴ (PIBIC-FECILCAM/Fundação Araucária, EPA, DEP, FECILCAM, GEPPGO) l.tsujiguchi@hotmail.com

Thays Josyane Perassoli Boyko⁵ (DEP/FECILCAM/GEPPGO) thaysperassoli@bol.com.br

Resumo: Esta pesquisa integra estudos realizados pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional, do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da FECILCAM. A teoria de Programação da Produção (PP), foco deste estudo, vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, todavia, alguns sistemas de produção, bem como pesquisas envolvendo considerações de tempos de *setup* (preparação das máquinas), têm sido pouco explorados. Neste contexto, esta pesquisa objetiva identificar e analisar o conteúdo dos trabalhos disponíveis na literatura especializada, no Brasil, que tratam dos problemas de Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* (*Flow Shop* tradicional, *Flow Shop* Permutacional e *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas), que consideram os tempos de *setup* separado dos tempos de processamento e dependentes da seqüência de execução das tarefas. Constatou-se neste estudo que quando os tempos de *setup* são tratados separadamente dos tempos de processamento, independente do tipo de sistema de produção, o número de trabalhos

¹ Graduanda em Engenharia de Produção Agroindustrial pela FECILCAM. Acadêmica participante do PIBIC-FECILCAM, com bolsa financiada pelo Cnpq. Pesquisadora do GEPPGO, Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção.

² Graduanda em Engenharia de Produção Agroindustrial pela FECILCAM. Acadêmica participante do PIBIC-FECILCAM, com bolsa financiada pelo Cnpq. Pesquisadora do GEPPGO, Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção.

³ Graduando em Engenharia de Produção Agroindustrial pela FECILCAM. Acadêmico participante do PIBIC-FECILCAM, com bolsa financiada pela Fundação Araucária. Pesquisador do GEPPGO, Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção.

⁴ Graduando em Engenharia de Produção Agroindustrial pela FECILCAM. Acadêmico participante do PIBIC-FECILCAM, com bolsa financiada pela Fundação Araucária. Pesquisador do GEPPGO, Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção.

⁵ Graduada em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo – EESC/USP. Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial da FECILCAM. Pesquisadora do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção. Áreas de atuação: Pesquisa Operacional; PPCP; Programação da Produção; Engenharia do Produto, e; Educação em Engenharia de Produção.



existentes na literatura é bastante reduzido, fato que mostra a deficiência de material publicado no Brasil, em português, que sirva de referencial teórico conceitual para o desenvolvimento de pesquisas e para a utilização em empresas.

Palavras-chave: Programação da Produção; Flow Shop; Setup Dependente.

1. Introdução

A teoria de Programação da Produção (PP) vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, sendo incontáveis os trabalhos orientados para essa área de pesquisa. Arenales *et al.* (2007) ressalta que a literatura nesta área é extensa devido à enorme variedade de sistemas de produção, quanto ao posicionamento do processo de produção, das características dos produtos e dos critérios de desempenho de programas de produção. Embora exista pouca literatura publicada em português no Brasil (BOIKO *et al.*, 2009).

Todavia, alguns sistemas de produção, bem como pesquisas envolvendo considerações de tempos de *setup* (preparação das máquinas), têm sido pouco explorados (BOIKO, 2008).

Ainda em relação às pesquisas realizadas na área de PP, Allahverdi *et al.* (1999), ressalta que grande parte das pesquisas considera os tempos de *setup* como não relevantes ou de pequena variação e, geralmente, os incluem nos tempos de processamento das tarefas.

No entanto, para os casos em que os tempos de *setup* apresentam razão significativa diante dos tempos de processamento, há necessidade de tratá-los diferenciadamente, uma vez que eles têm relação direta com a disponibilidade de equipamentos e acarretam custos específicos, como a necessidade de pessoal especializado para sua execução.

A PP em ambientes *Flow Shop* pode assumir características variadas, uma vez que, o ambiente *Flow Shop* pode ser subdividido em: *Flow Shop* Tradicional; *Flow Shop* Permutacional, e; *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas (Máquinas Paralelas e *Flow Shop* Tradicional), também conhecido como *Flow Shop* Híbrido. Diante disto, pesquisas realizadas para cada tipo específico devem ter seus desempenhos comparados entre si.

Este estudo permitirá o conhecimento das pesquisas que estão sendo realizadas no campo da PP, bem como os resultados alcançados em sistemas de produção *Flow Shop*, realizados no Brasil. A presente pesquisa poderá nortear pesquisas futuras, que sejam de cunho teórico por meio do desenvolvimento de novos métodos de programação, ou de cunho prático, por meio da aplicação dos métodos investigados em empresas que adotam este tipo de sistema de produção.

Esta pesquisa tem por objetivo identificar os trabalhos disponíveis na literatura especializada, no Brasil, que tratam dos problemas de Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* (*Flow Shop* tradicional, *Flow Shop* Permutacional e *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas), que consideram o *setup* separado dos tempos de processamento e dependentes da sequência de execução das tarefas.

Esta pesquisa faz parte dos estudos realizados pelo Grupo de Estudo e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), Linha de Pesquisa em Pesquisa Operacional Aplicada aos Sistemas de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da FECILCAM. O principal tema de pesquisa do Grupo, nesta Linha, é o estudo, desenvolvimento e aplicação de modelos, métodos e técnicas de Pesquisa Operacional para apoiar decisões em sistemas de produção Intermitentes.



2. Fundamentação Teórica

2.1 Programação da Produção

A Programação da Produção (PP) constitui uma das atividades do Planejamento Programação e Controle da Produção (PPCP), definido segundo Tubino (2000) como a função organizacional que tem por objetivo desenvolver os planos que irão orientar a produção, bem como realizar o controle da produção, com base nestes planos.

A proposta PP é desagregar o Plano Mestre da Produção (PMP), elaborado pelo Planejamento Mestre da Produção, em atividades numa seqüência temporal, ou seja, especificar em termos precisos a carga de trabalho planejada no processo de produção para o curto prazo (DAVIS; AQUILINO; CHASE, 2001).

Segundo Moreira (2008), a partir do PMP, que determina o que será feito – quais produtos e quanto de cada um deles – inicia-se o Problema de Programação da Produção (PPP), que constitui uma atividade marcadamente operacional.

Uma PP é uma distribuição temporal utilizada para distribuir atividades, utilizando recursos ou alocando instalações. Segundo Moccellini (2005), a PP refere-se à ordenação de tarefas a serem executadas, em uma ou diversas máquinas, considerando-se uma base de tempo, ou seja, determinando-se principalmente, as datas de início e fim de cada tarefa. Ou seja, a PP pode ser definida como a determinação de quando e onde cada operação necessária para a fabricação de um produto deve ser realizada. As tarefas são conhecidas, determinadas e devem ser executadas. Cada tarefa corresponde a um dado conjunto de operações que tem uma seqüência a ser seguida para a execução completa.

Um PPP segundo Moccellini (2005), pode ser definido 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 em uma máquina M_k é denominado operação (op_{kj}). Existe um tempo de processamento p_{kj} associado a cada operação. Cada tarefa J_j possui uma data de liberação l_j (*release date*), a partir da qual a tarefa pode ser executada, e uma data de entrega d_j (*due date*), referente à data em que a tarefa deve estar concluída. Assim, a programação, corresponde à designação de tarefas nas máquinas, em um determinado período de tempo.

Um PPP é especificado, segundo Maccarthy e Liu (1993), em termos da classificação dos sistemas de produção quanto ao posicionamento do processo de produção, dos critérios de desempenho adotados e das hipóteses do problema.

2.1.1 Classificação dos Sistemas de Produção Quanto ao Posicionamento do Processo de Produção

A classificação dos sistemas de produção, quanto ao posicionamento do processo de produção, corresponde ao padrão do fluxo dos produtos nas máquinas. Neste contexto, Morais e Boiko (2009) apresentaram uma classificação dos Sistemas de Produção quanto ao posicionamento do processo, conforme segue:

a) Máquina Única: sistema de produção onde existe apenas um estágio de produção com uma única máquina disponível;

b) Máquinas Paralelas: sistema de produção onde existe mais de uma máquina disponível em um único estágio de produção, onde cada tarefa (ou grupo de tarefas) necessita de apenas uma destas máquinas;

c) *Flow Shop*: sistema de produção onde as tarefas (ou grupo de tarefas) têm um idêntico fluxo padrão, ou seja, as tarefas possuem o mesmo roteiro de produção em todos os



estágios de produção e o número de máquinas em cada estágio de produção é igual a um. Se uma tarefa (ou grupo de tarefas) não possuir uma operação, considera-se que os seus tempos neste estágio são iguais a zero. Os Sistemas de Produção *Flow Shop* podem ser de três tipos:

- *Flow Shop* Tradicional: *Flow Shop* em que o número de máquinas em todos os estágio de produção k é igual a 1 ($M_k = 1$ e $k = M$) e que a ordem de processamento dos produtos pode variar de uma máquina para outra;

- *Flow Shop* Permutacional: *Flow Shop* em que o número de máquinas em todos os estágio de produção k é igual a 1 ($M_k = 1$ e $k = M$) e que a ordem de processamento dos produtos não pode variar, devendo ser a mesma, de uma máquina para outra;

- *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas: Também denominado, na literatura especializada, de *Flow Shop* Híbrido, Flexível ou com Máquinas em Paralelo. Este pode ser considerado uma generalização do *Flow Shop* Tradicional, em que, em pelo menos um dos estágios de produção k o número de máquinas é maior que 1 ($k < m$), sendo que cada produto é processamento em apenas uma das máquinas em cada estágio de produção.

d) *Job Shop*: sistema de produção onde as tarefas (ou grupo de tarefas) têm um fluxo individual ou um roteiro de produção específico nos estágios de produção, existindo apenas uma máquina em cada estágio. Se uma tarefa (ou grupo de tarefas) não possuir uma operação, considera-se que os seus tempos neste estágio são iguais a zero. Os sistemas de produção *Job Shop* podem ser de dois tipos:

- *Job Shop* Tradicional: *Job Shop* em que o número de máquinas em todos os estágio de produção k é igual a 1 ($M_k = 1$ e $k = M$);

- *Job Shop* com Máquinas Múltiplas: Este pode ser considerado uma generalização do *Job Shop* Tradicional, em que, em pelo menos um dos estágios de produção k o número de máquinas é maior que 1 ($k < m$), sendo que cada produto é processamento em apenas uma das máquinas em cada estágio de produção. .

h) *Open Shop*: sistema de produção onde não existe fluxo padrão especificado para nenhuma tarefa (ou grupo de tarefas);

i) Por Projeto: sistemas de produção que atendem a uma necessidade específica de um cliente.

De acordo com Boiko e Morais (2009) o fluxo de produção, nestes sistemas, determina as restrições tecnológicas do Problema de Programação da Produção.

2.1.2 Objetivos da Programação da Produção e Critérios de Desempenho

A Programação da Produção (PP) é sempre realizada buscando atingir um critério, ou conjunto de critérios de desempenho, que caracterizam a natureza do Problema.

Com base em Davis; Aquilano; Chase (2001), Chase; Jacobs; Aquilano (2006) e Moreira (2008) os objetivos da PP, potencialmente conflitante entre si, encontra-se a seguir relacionados: atender as datas de entrega dos clientes; minimizar o tempo de fluxo ou tempo de processamento; minimizar o estoque em processo; minimizar o tempo ocioso das máquinas e dos trabalhadores; minimizar os *lead times*; minimizar os tempos e/ou custos de *setup*. Conforme salienta Mesquita *et al.* in Lustosa *et al.* (2008) uma programação bem feita deve buscar um equilíbrio entre os principais objetivos da programação.

Aos objetivos da PP estão associados os critérios de desempenho, que visam avaliar a qualidade da programação, em relação a um objetivo predeterminado, uma vez que em cada um dos sistemas de produção, a PP pode ser realizada buscando atingir um critério de desempenho diferente, que caracterizam a natureza do Problema de PP (PPP). Deste modo,



todo o trabalho de seqüenciamento das atividades a serem processadas é definido levando em consideração prioridades dadas às tarefas, de acordo com regras pré-estabelecidas que atendam as necessidades da indústria.

Os critérios de desempenho da PP estão relacionados com os objetivos de desempenho da produção – qualidade, flexibilidade, rapidez, confiabilidade e custo (SLACK *et al*, 2002).

Os principais critérios de desempenho, apresentados por Maccarthy e Liu (1993) e explicadas segundo French (1982) Bedworth e Bailey (1987) são:

- Tempo de Espera (w_{kj}): tempo de espera da operação op_{kj} , após ter sido completada a operação anterior $op_{(k-1)j}$. Quando $k=1$ (máquina M_I), w_{1j} é o tempo de espera a partir da data de liberação l_j para executar a primeira operação da tarefa J_j ;

- Tempo Total de Espera (W_j): somatória dos tempos de espera da tarefa J_j desde a primeira operação até a última;

- Data de término da tarefa J_j ou, em inglês, *Completion Time* (C_j): corresponde ao período desde o início da programação na data zero até ao momento em que a tarefa J_j é finalizada;

- Tempo de Fluxo da tarefa J_j ou, em inglês, *Flow Time* (f_j): é o tempo entre o momento que a tarefa está disponível para ser processada e o momento em que ela é completada, correspondendo, então, ao tempo que a tarefa J_j permanece no centro de trabalho;

- *Lateness* (L_j): corresponde ao desvio entre o *Completion Time* da tarefa e sua *due date*. Uma tarefa pode ter um *lateness* positivo se for completada depois da *due date* e um *lateness* negativo se for completada antes;

- *Tardiness* (T_j): corresponde ao atraso na execução da tarefa, em relação à sua *due date*;

Estes diferentes critérios de desempenho relacionam-se a três tipos de tomada de decisão que, segundo Baker (1974), normalmente prevalecem na programação: i) utilização eficiente dos recursos; ii) resposta rápida à demanda; iii) adaptação à prescritos *deadlines*, que correspondem ao prazo de entrega final de uma tarefa que, se for atingido, anula o processamento já realizado.

Assim, o Máximo *Completion Time*, também designado de *Makespan*, está relacionado à eficiente utilização dos recursos. O *Completion Time* Médio, o Tempo Médio de Fluxo e o Tempo Médio de Espera, estão relacionados à rápida resposta à demanda. Enquanto que, o *Tardiness* Médio, o Máximo *Tardiness* e o número de tarefas em atraso (NT) estão relacionados com a adaptação aos *deadlines*.

2.1.3 Tempos de Setup

Tempo de *setup* é o tempo requerido para preparar uma máquina ou um processo para processar uma tarefa. Isto inclui, de acordo com Cao e Bedworth (1992), obter ferramentas, posicionar o trabalho no processo de materiais, limpeza, recolocação de ferramental, posicionamento de acessórios, ajuste de ferramentas e inspeção de materiais.

Para casos em que o tempo de *setup* é tratado separado dos tempos de processamento das tarefas, existem dois tipos de problemas: tempos *setup* dependentes da sequência de execução das tarefas; tempos de *setup* independentes da sequência de execução das tarefas. Este conceitos, com base em Cheng; Gupta; Wang (2000), são a seguir descritos:



- **Tempos de *setup* dependentes da sequência:** o tempo de *setup* depende de ambos, da tarefa a ser processada e da tarefa anterior, sendo denominado dependente da sequência de execução das tarefas;

- **Tempos de *setup* independentes da sequência:** o tempo de *setup* depende somente da tarefa a ser processada. Nesse caso ele é denominado independente da sequência de execução das tarefas.

Para Baker (1974), *setups* dependentes da sequência são comumente encontrados onde uma só instalação produz muitos tipos diferentes de itens, ou onde máquinas de múltiplos propósitos realizam uma variedade de tarefas.

De acordo com Flynn (1987) *apud* Barros e Mocellin (2004), o tempo necessário para o *setup* tem relação direta com o grau de similaridade entre duas tarefas processadas sucessivamente em uma mesma máquina. Portanto, se duas tarefas a serem processadas em sequência são similares, o tempo requerido para o *setup* é relativamente pequeno. Entretanto, se forem completamente diferentes, o tempo será proporcionalmente maior. A assimetria ocorre quando o tempo de *setup* da tarefa *j* para a tarefa *i* é diferente do tempo de *setup* da máquina na sequência inversa, ou seja, da tarefa *i* para a tarefa *j*.

Para os casos em que os tempos de *setup* apresentam razão significativa diante dos tempos de processamento, há necessidade de tratá-los diferenciadamente, uma vez que eles têm relação direta com a disponibilidade de equipamentos e acarretam custos específicos, como a necessidade de pessoal especializado para sua execução. De acordo com Barros e Mocellin (2004), o tratamento em separado dos tempos de *setup* pode levar, com a otimização do critério de desempenho adotado, a melhorias no atendimento à demanda e à facilidade no gerenciamento do sistema de produção.

3 Metodologia

A pesquisa aqui relatada classifica-se, quanto aos fins, como descritiva e, quanto aos meios, como bibliográfica. O método de abordagem adotado foi o quantitativo-qualitativo.

Assim, realizou-se uma pesquisa, com os objetivos de identificar os trabalhos publicados no Brasil, que tratam de Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* com tempos de *setup* dependentes da sequência de execução das tarefas e analisar o conteúdo tratado nestes trabalhos.

A busca por trabalhos foi realizada no Portal da Capes, no Scielo, nos anais do ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção) e do SIMPEP (Simpósio de Engenharia de Produção), na Biblioteca Digital da Unicamp, no Portal Livre e na Rede Universia, considerando os sistemas de produção, *Flow Shop* Tradicional, *Flow Shop* Permutacional e *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas.

A análise de conteúdo dos trabalhos encontrados foi estruturada conforme o sistema de produção e o critério de desempenho adotado.

4 Programação da Produção em Sistemas de Produção *Flow Shop* e Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência

Esta seção está orientada para a identificação, descrição e análise de conteúdo dos trabalhos que tem sido realizados a nível de Brasil, em sistemas de produção *Flow Shop* com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento e dependentes da sequência de execução das tarefas.

Diversos trabalhos têm sido reportados na literatura referentes à programação da produção em sistemas de produção *Flow Shop* com tempos de *setup* incluídos nos tempos de



processamento das tarefas. Entretanto, quando tais tempos são tratados separadamente dos tempos de processamento, o número de trabalhos existentes na literatura é bastante reduzido, conforme enfatiza Morais (2008).

3.1 *Flow Shop* Tradicional e Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência

Esta seção apresenta os trabalhos que consideram o Sistema de Produção *Flow Shop* Tradicional com tempo de *setup* dependentes da sequência, sendo encontrado apenas o trabalho de Belo Filho; Santos; Meneses (2007).

Belo Filho; Santos; Meneses (2007) investigaram um problema que ocorre no nível tático/operacional da indústria, que possui m máquinas para produzir n produtos. O objetivo é dimensionar e sequenciar os lotes dos produtos para atendimento da demanda sem atrasos. O dimensionamento e o sequenciamento são integrados no projeto, o problema considera restrições de capacidade de estoque, capacidade de produção e de *setup*. Os objetivos para resolução dos problemas são: minimização do *makespan*; minimização de custo com estoque; e minimização do uso de horas-extras. Para a continuação do trabalho, propõem-se o desenvolvimento de novas heurísticas baseadas nas utilizadas no decorrer do trabalho.

3.2 *Flow Shop* Permutacional e Tempos de *Setup* Dependentes da Sequência

Esta seção apresenta os trabalhos encontrados em sistemas de produção *Flow Shop* Permutacional com tempos de *setup* dependentes da sequência, foram encontrados os trabalhos de Barros e Mocellin (2003) e Mocellin e Nagano (2007).

Barros e Mocellin (2004) desenvolveram um método heurístico *Simulated Annealing* aplicado a programação da produção em *Flow Shop* Permutacional com tempos de *setup* dependentes da sequência, denominado Metaheurística *Simulated Annealing* de Busca do Gargalo Flutuante (BGaFSA). O objetivo do algoritmo BGaFSA é minimizar o *makespan* através da otimização de sua máquina gargalo, analisando possíveis mudanças no gargalo do sistema como consequência das ordens de tarefas, em que para um conjunto de tarefas e uma sequência denominada genérica a máquina gargalo será aquela com a maior carga.

Os resultados indicaram relevância na análise de flutuação do gargalo para a programação em *Flow Shop* Permutacional com *setup* dependente. O método BGaFSA foi avaliado comparando seu desempenho com o algoritmo TOTAL de Simons Jr. (1992), por este ser bem referenciado na literatura. A comparação mostrou bom desempenho para problemas de pequeno porte.

Mocellin; Nagano (2007), apresentaram uma propriedade estrutural do Problema de Programação da Produção em *Flow Shop* Permutacional com tempos de *setup* separados dos tempos de processamento das tarefas, podendo ser dependentes ou independentes da sequência de operação das mesmas, a partir de investigações realizadas sobre as características do problema. A propriedade identificada oferece um limitante superior do tempo de máquina parada, entre a sua preparação e o início de execução das tarefas. Utilizando essa propriedade o problema original de programação da produção com critério de minimização do *makespan* pode ser resolvido de maneira heurística por meio de uma analogia com o problema assimétrico do caixeiro-viajante. Com o objetivo de avaliar a analogia foi efetuada uma experimentação computacional sobre uma amostra de problemas.



3.3 *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas e Tempos De Preparação Dependentes da Sequência

Esta seção apresenta os trabalhos encontrados em sistemas de produção *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas com tempos de *setup* dependentes da sequência, foram encontrados os trabalhos de Moccellini e Silva (2005), Fuchigami (2005) e Moraes (2008).

Moccellini e Silva (2005) abordam o problema de Programação da Produção em sistemas de produção *Flow Shop* Híbrido onde um dos estágios de produção apresenta Máquina Única, esse estágio é denominado estágio dominante, os tempos de *setup* são considerados dependentes da sequência de operação das tarefas. O estágio dominante é considerado tecnologicamente flexível possibilitando alternativas de projeto do arranjo físico do sistema de produção. O objetivo do trabalho é avaliar a influência da posição do estágio dominante para o critério de desempenho de *makespan*. Nos resultados os estágios de máquina única no início do processo, conduz a programação a uma duração total maior, quando localizadas no final do processo essa influência diminui.

Fuchigami (2005) propõe quatro métodos heurísticos construtivos para programação em ambiente *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas e tempos de preparação das máquinas assimétricos e dependentes da sequência de operação das tarefas, com o objetivo de minimização do *makespan*. Trata de *Flow Shop* composto por múltiplos estágios de processamento $K \geq 2$, onde em cada estágio existe múltiplas máquinas paralelas idênticas $M_k \geq 2$. Os métodos basearam-se nos já existentes na literatura que tratam de problemas em *Flow Shop* Permutacional e Máquinas Paralelas com *setups* dependentes. A programação das tarefas foi feita estágio a estágio como solução iterativa de K problemas relacionados. No primeiro estágio as tarefas estão todas disponíveis para processamento e nos demais a data de liberação corresponde a data em que a tarefa é liberada no estágio anterior. Os algoritmos propostos são compostos por duas regras de prioridade, a LPT (*Longest Processing Time*) e a TOTAL - método baseado no algoritmo TOTAL de Simons Jr. (1992) - e as regras de alocação SCP (*Shortest Completion Time*) e LPST (*Longest Processing-Setup Time*). Como não havia até o momento na literatura métodos de solução para o sistema estudado, os algoritmos construídos foram comparados entre si estudando-se a relação das ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método.

Moraes (2008) desenvolveu quatro métodos heurísticos construtivos com base em métodos reportados na literatura para problemas de *Flow Shop* Permutacional e Máquinas Paralelas com *setup* dependentes, para a programação da produção em ambientes *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas com tempos de *setup* assimétricos e dependentes da sequência e critério de desempenho de tempo médio de fluxo (*Mean Flow Time*). O problema tratado consiste em *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas composto por múltiplos estágios, $K \geq 2$, onde em cada estágio existe múltiplas máquinas paralelas idênticas, $M_k \geq 2$. Como não foram encontrados na literatura métodos de solução para o ambiente estudado, os algoritmos propostos foram comparados entre si, focando o estudo da relação entre as ordens de grandeza dos tempos de processamento e de *setup* em cada método. O método foi denominado (*MM-FlowTime_x*, com $x=1, \dots, 4$), onde os dois primeiros métodos enfocam a programação estágio a estágio e os dois últimos, tarefa a tarefa. Os métodos 1 e 3 estabelecem uma ordenação inicial de acordo com a regra TSTP (*Total Shortest Processing Time*) enquanto os métodos 2 e 4 determinam a ordenação inicial com base na regra TLPT (*Total Longest Processing Time*). Ainda, os métodos 1 e 2 além das regras de prioridade mencionadas acima utilizam a regra de prioridade SRD (*Shortest Release Date*) para programação sucessiva das tarefas em cada estágio. Além disso, os quatro métodos propostos utilizam a regra de alocação SCT (*Shortest Completion Time*), baseada no algoritmo de Weng, Lu e Ren (2001).



5 Resultados

No total foram encontrados 6 artigos relacionado, em uma proporção de 16,6% dos trabalhos abordando o Sistema de Produção *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas com Critério de desempenho *Mean Flow Time*, 16,6% dos trabalhos tratando o Sistema de Produção *Flow Shop* Tradicional com Critério de desempenho Multi-Critério e encontramos com uma proporção de 66,6% dos trabalhos abordando o Sistema de Produção *Flow Shop* Permutacional e o *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas com Critério de desempenho *Makespan*, como pode é apresentado na tabela 1.

TABELA 1 – Quantificação Total por Sistema de Produção e Critérios de Desempenho.

CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	SISTEMAS DE PRODUÇÃO <i>FLOW SHOP</i>			TOTAL	%
	TRADICIONAL	PERMUTACIONAL	COM MÁQUINAS MÚLTIPLAS		
<i>MEAN FLOW TIME</i>	0	0	1	1	16,6
MULTI-CRITÉRIO	1	0		1	16,6
<i>MAKESPAN</i>	0	2	2	4	66,6

É importante ressaltar a ausência de trabalhos que abordam os Sistemas de Produção *Flow Shop* Tradicional e Permutacional, ambos com critério de desempenho orientado ao *Flow Time*, também Sistemas de Produção *Flow Shop* Permutacional e com Máquinas Múltiplas ambos com Critério de desempenho Multi-Critério, assim como também se observa a ausência de trabalhos que tratem do Sistema de Produção *Flow Shop* Tradicional com Critério de Desempenho *Makespan*.

6 Considerações Finais

Com a pesquisa pode-se perceber a pequena quantidade de trabalhos disponíveis na literatura especializada, no Brasil, que tratam dos problemas de Programação da Produção em sistemas *Flow Shop* (*Flow Shop* tradicional, *Flow Shop* Permutacional e *Flow Shop* com Máquinas Múltiplas), que consideram o *setup* separado dos tempos de processamento e dependentes da sequência de execução das tarefas.

Isto mostra a deficiência de material publicado no Brasil, em português, que sirva de referencial teórico conceitual para o desenvolvimento de pesquisas e para a utilização em empresas.

Referências

- 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.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. *Pesquisa Operacional*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- BAKER, K. R. *Introduction to sequencing and scheduling*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1974.
- BARROS, A. D.; MOCCELLIN, J. V.. *Programação flowshop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da seqüência por meio da análise da flutuação do gargalo*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XXXV SBPO), 35, 2003, Natal. Anais do XXXV SBPO, 2003. p. 1570-1577.



_____; MOCCELIN, J. V. *Análise da flutuação do gargalo em flowShop permutacional com tempos de setup assimétricos e dependentes da seqüência*. *Gestão & Produção*, v.11, p.101- 108, jan.-abr.2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2004000100009> Acesso em: 17/10/2009.

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

BELO FILHO, M. A. F. ; SANTOS, M. O. ; MENESES, C. N. . *Métodos Heurísticos para Resolução do Problema de Dimensionamento e Seqüenciamento de Lotes em um Ambiente Flow Shop com Restrição de Capacidade*. CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTAÇÃO (XXX CNMAC), 30, 2007, Florianópolis. *Anais do XXX CNMAC*, 2007.

BOIKO, T. J. P. *Métodos heurísticos para a programação em Flow Shop Permutacional com tempos de setup separados dos tempos de processamento e independentes da seqüência de tarefas*. 2008. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2008.

_____; 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. Aceito para publicação.

_____. *A atividade de programação da produção sobre a ótica da Pesquisa Operacional: uma abordagem teórico conceitual*. ENCONTRO TECNOLÓGICO (VI ENTEC), 7, 2009. Campo Mourão, PR. Aceito para publicação.

CAO, J.; BEDWORTH, D. D. (1992) *Flow Shop scheduling in serial multi- product process with transfer and set-up times*. *International Journal of Production Research*. London, vol. 30, no. 8, p. 1819-1830.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. *Administração da Produção para a Vantagem Competitiva*. 10. ed. São Paulo: Bookman. 2006.

CHENG, T. C. E.; GUPTA, J. N. D.; WANG, G. (2000). *A review of flowshop scheduling research with setup times*. *Production and Operations Management*. USA, vol.9, no.3, p.262-282.

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

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*. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

MACCARTHY, B. L.; LIU, J. Y. *Adressing 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.

MESQUITA, M.; et. al. *Programação detalhada da produção*. In: LUSTOSA, L. J. et. al. *Planejamento e Controle da Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier. 2008.

MOCCELLIN, J. V. *Técnicas de Seqüenciamento e Programação de Operações em Máquinas*. 74p. Publicação Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

_____; SILVA, P. P.. *Estágios dominantes flexíveis em sistemas de produção flow shop híbridos*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (XXXVII SBPO), 37, 2005, Gramado, RS. *Anais do XXXVII SBPO*, 2005.

_____; NAGANO, M. S. *Uma propriedade estrutural do problema de programação da produção Flow Shop Permutacional com tempos de setup*. *Pesquisa Operacional (on-line)*, v.27, n.3, p.487-515, Setembro a Dezembro de 2007.

MORAIS, M. F. *Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes de Produção Flow Shop Híbridos com Tempos de Setup Dependentes da Seqüência*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.



_____; BOIKO, T. J. P.. *Classificação de sistemas de produção quanto ao posicionamento do processo: uma abordagem de Engenharia da Produção*. ENCONTRO TECNOLÓGICO (VI ENTEC), 7, 2009. Campo Mourão, PR. Aceito para publicação.

MOREIRA, D.A. *Administração da Produção e Operações*. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas. 2002.

TUBINO, D. F. *Manual de Planejamento e Controle da Produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000.