



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM SISTEMAS COM MÁQUINAS PARALELAS COM TEMPOS DE *SETUP* SEPARADOS DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO

CANTIERE, Patricia Castoldi (IC/CNPq), Engenharia de Produção Agroindustrial, Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM),
patriciacantieri@hotmail.com

BOIKO, Thays Josyanne Perassoli (OR), Engenharia de Produção Agroindustrial, Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM), thaysperassoli@bol.com.br

RESUMO: Esta pesquisa integra uma Linha de Pesquisa do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), do Departamento de Engenharia de Produção da FECILCAM. Teve como propósito fazer uma análise dos Métodos de Solução encontrados na literatura para o Problema de Programação da Produção em Máquinas Paralelas com Tempos de Setup separados dos tempos de processamento das tarefas e Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Conclusão e Tempos de Fluxo das tarefas. Para isso, inicialmente estudaram-se as características do Sistema de Produção com Máquinas Paralelas e as formas de tratamento dos Tempos de Setup em Problemas de Programação da Produção. Posteriormente analisaram-se os trabalhos encontrados para o problema em função, do Método a de solução proposto, do Critério de Desempenho adotado e do tipo de tratamento aos Tempos de Setup, a fim de identificar o atual estado da arte nas pesquisas no Sistema de Produção estudado. Os resultados demonstraram que poucos trabalhos tratam de Máquinas Paralelas Uniformes, Métodos de Solução Heurísticos e Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Fluxo, sendo que a maioria tratam de Máquinas Paralelas Não Relacionadas, Setup Dependentes, Métodos de Solução Ótimos e Critérios de Desempenho de Makespan.

Palavras-chave: Métodos de Solução. Máquinas Paralelas. *Setup*.

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Esta é integrante de uma Linha de Pesquisa do Grupo de Estudos e Pesquisa em Processos e Gestão de Operações (GEPPGO), do Departamento de Engenharia de Produção (DEP), da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM), denominada “Pesquisa Operacional e Sub-linha, Pesquisa Operacional Aplicada à Programação da Produção”.

Este trabalho tinha como objeto de estudo o Problema de Programação da Produção em Sistemas de Produção Máquinas Paralelas, com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento e Critérios de Desempenho de *Makespan* e Tempo de Fluxo



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

(*Flow Time*), porém, devido a pequena quantidade de trabalhos encontrados com estes Critérios de Desempenho, expandiu-se a pesquisa para os trabalhos com Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Conclusão das Tarefas e aos Tempos de Fluxo das Tarefas. A pesquisa tem como foco principal a análise dos Métodos de Solução encontrados na literatura para este problema.

Logo, o objetivo geral da pesquisa é analisar os Métodos de Solução encontrados na literatura para a solução de Problemas de Programação da Produção em Máquinas Paralelas com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento e Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Conclusão das Tarefas e os Tempos de Fluxo das Tarefas. Os objetivos específicos são: estudar os Sistemas de Produção Máquinas Paralelas; estudar as formas de tratamento dos Tempos de *Setup* em Problemas de Programação da Produção; realizar um levantamento bibliográfico acerca dos trabalhos de programação em Máquinas Paralelas, com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento e com Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Conclusão e aos Tempos de Fluxo das Tarefas; classificar os métodos reportados na literatura, para Programação da Produção em Sistemas Máquinas Paralelas, de acordo com a forma de tratamento dos Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamentos; identificar o atual estado da arte nas pesquisas em Programação da Produção em sistemas Máquinas Paralelas com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento.

Esta pesquisa justifica-se, pois na área de Programação da Produção são produzidos inúmeros trabalhos nos mais diversos ambientes de produção e com os mais diferentes objetivos de desempenho. Neste contexto uma pesquisa do tipo *survey* é de extrema importância para se identificar os avanços que estão sendo obtidos na referida área para um determinado período de tempo e poderá nortear pesquisas futuras, que sejam de cunho teórico por meio do desenvolvimento de novos métodos de programação ou que sejam de cunho prático, por meio da aplicação dos métodos investigados em empresas que adotam o Sistema de Produção Máquinas Paralelas.

Além disso, Allahverdi *et al.* (1999) ressalta que grande parte das pesquisas consideram os Tempos de *Setup* como não relevantes ou de pequena variação e, geralmente, os incluem nos tempos de processamento das tarefas. Esta hipótese simplifica a análise, porém afeta a qualidade da solução em muitas aplicações de programação que requerem tratamento explicitado dos Tempos de *Setup*. (ALLAHVERDI; CHENG; KOVALYOV, 2008).



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

O relatório aqui apresentado encontra-se estruturado da seguinte maneira: na Primeira Seção, é apresentada a contextualização, o Objeto e Problemática, os Objetivos e a Justificativa da pesquisa; a Seção Dois trás a Metodologia da pesquisa; a Seção Três o Referencial Teórico; a Seção Quatro trás o Relato da Pesquisa e a discussão dos resultados; e por último a Seção Cinco apresenta as Considerações Finais da pesquisa.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa aqui proposta classifica-se quanto aos fins como descritiva e explicativa e, quanto aos meios, como bibliográfica. Caracteriza-se como uma pesquisa do tipo *survey* ou de levantamento, utilizada quando se trata de um problema, ao qual se pretende descrever a situação atual de uma população.

A Revisão de Literatura foi feita a nível nacional e internacional. A nível nacional considerou-se revistas, periódicos, teses e anais de eventos da área de Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional, tais como: Revista Produção; Revista Produção *On-line*; Gestão e Produção; Revista Pesquisa e Desenvolvimento; Sistemas e Gestão; Gestão Industrial; Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação; Revista Eletrônica Produção & Engenharia; GEPROS Gestão da Produção, Operações e Sistemas; Revista Pesquisa Operacional. Os eventos considerados foram: Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP); Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP); Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). As teses e dissertações foram levantadas no Portal Capes e nas bibliotecas digitais das principais universidades brasileiras, tais como USP, Unicamp, UFSC, entre outras.

A nível internacional considerou-se periódicos das áreas de Gestão da Produção, Engenharia de Produção e Pesquisa Operacional, tais como: *International Journal of Production Research*, *The International Journal of Management Science*, *European Journal of Operational Research* e *Production and Operations Management*.

Os métodos encontrados na literatura foram analisados em função: i) do Método Heurístico de solução proposto; ii) do Critério de Desempenho adotado; iii) do tipo de tratamento dado aos Tempos de *Setup* separado dos tempos de processamento.

Para a Revisão de Literatura a nível nacional não se estabeleceu limite de tempo, porém, a nível internacional abrangeu-se os trabalhos realizados a partir de 2008, devido a

disponibilidade de *surveys* que tratam do assunto realizados em períodos anteriores, disponíveis em: Yang; Liao (1999); Allahverdi; Gupta; Aldowaisan (2000); Cheng; Gupta; Wang (2000); e Allahverdi; Cheng; Kovalyov (2008).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MÁQUINAS PARALELAS

Em Sistemas de Produção Máquinas Paralelas são disponíveis mais de uma máquina, idênticas ou não, para as mesmas operações, em um único estágio de produção, onde cada tarefa necessita de apenas uma destas máquinas (MORAIS; MENEGARDE; CANTIERE, 2009). Segundo Wobeto (2008) o objetivo nesses sistemas é alocar as tarefas às máquinas de maneira que otimize um determinado critério de desempenho.

A Figura 1 a seguir ilustra um sistema genérico de Máquinas Paralelas.

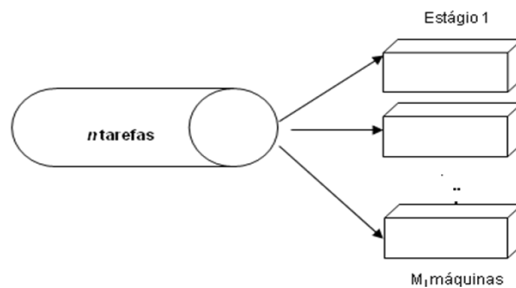


Figura 1 - Sistema de Produção Máquinas Paralelas.

Os Sistemas de Produção Máquinas Paralelas podem ser classificados de acordo com a velocidade de processamento das máquinas, sendo identificadas três categorias distintas: i) Máquinas Paralelas Idênticas: todas as máquinas possuem a mesma velocidade de processamento; ii) Máquinas Paralelas Uniformes: as velocidades de processamento das máquinas diferem em forma constante; iii) Máquinas Paralelas Não Relacionadas: as velocidades de processamento dependem diretamente da tarefa a ser executada (WOBETO, 2008).



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

3.2 PROBLEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM MÁQUINAS PARALELAS

Em Sistemas de Produção Máquinas Paralelas o problema de programação consiste em sequenciar um conjunto de n tarefas $\{J_1, J_2, \dots, J_j, \dots, J_n\}$ que devem ser processadas em m Máquinas Paralelas $\{M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_m\}$ que estão disponíveis (PAULA, 2008).

Ainda segundo Paula (2008) diferentes características podem ser associadas às tarefas, tais como, datas de disponibilidade, tempos de preparação, preempção, restrições de precedência, quebras de máquinas, restrições de elegibilidade, permutações, bloqueios, recirculação, entre outros.

Entre as variáveis existentes nos problemas de programação da produção estão os Tempos de *Setup*, os Critérios de Desempenho e os Métodos de Solução.

3.3 TEMPOS DE *SETUP*

Os Tempos de *Setup* compreendem o tempo que leva para se preparar uma máquina para processar a tarefa seguinte da sequência, tal como, reunir as ferramentas necessárias, fazer a limpeza da máquina, entre outras situações (GILIO, 2007).

Os tempos de *setup* podem ser dependentes ou independentes da sequência de execução das tarefas e assimétricos. Quando o *setup* depende apenas da tarefa que espera por processamento, ele é considerado independente, quando o *setup* também depende da tarefa que foi processada anteriormente na máquina, é então considerado dependente. A assimetria ocorre quando o *setup* da tarefa i para a j é diferente do *setup* da tarefa j para i (FUCHIGAMI; MOCCELLIN, 2009).

Gilio (2007), também classifica os *setups* como: i) Antecipados (também chamados separáveis ou *detached*): quando os ajustes podem ser feitos antes da chegada da tarefa na máquina, se esta estiver ociosa, ou; ii) Não-antecipados (não-separáveis ou *attached*): quando é necessário que a tarefa esteja fisicamente na máquina enquanto os ajustes são feitos. Allahverdi *et al.* (1999) *apud* Wobeto (2008) também classifica os *setups* em: i) *setup* para tarefas individuais (*non-batch setup*): quando envolve o tempo de troca entre diferentes tarefas; e ii) *setup* para lotes de tarefas (*batch setup*): quando existe tempo de troca entre



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

diferentes agrupamentos de tarefas. Nesse caso, as tarefas que requerem processamentos semelhantes são agrupadas em famílias.

3.4 OBJETIVOS DA PROGRAMAÇÃO E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Segundo Lustosa *et al.* (2008) de forma geral, classificam-se os objetivos da programação da produção em três classes relacionadas ao tipo de tomada de decisão: cumprimento de prazos, velocidade de fluxo e utilização dos recursos.

Relacionados aos objetivos de uma programação, estão as Medidas ou Critérios de Desempenho, que avaliam a eficiência de uma programação. Os principais critérios de desempenho adotados nos métodos para programação da produção, segundo Arenalles *et al.* (2007) e MacCarthy; Liu (1993), são: Duração Total da Programação; Tempo de Espera; Tempo Total de Espera; Data de Término da Tarefa; Tempo de Fluxo da Tarefa; Pontualidade na Conclusão da Tarefa e; Atraso na Execução da Tarefa. Uma descrição detalhada destas medidas de desempenho pode ser encontrada em Moraes; Menegarde; Cantiere (2009).

3.5 MÉTODOS DE SOLUÇÃO

De acordo com Moraes (2008) os Métodos de Solução para Problemas de Programação da Produção podem ser de dois tipos: i) Métodos de Solução Ótima: geram uma programação ótima de acordo com o critério de desempenho adotado, tais como técnicas de enumeração do tipo *Branch-and-Bound* e Programação Linear Inteira; ii) Métodos Heurísticos: buscam o melhor caminho dentre os caminhos existentes, sem precisar testar todas as opções possíveis ou chegar a solução ótima, exigindo um tempo computacional menor, tais como *Metaheurísticas* Busca Tabu, *Simulated Annealing* e Algoritmo Genético. São classificados em Construtivos ou Melhorativos (SOUZA; MOCCELLIN, 2000).

4 RELATO DA PESQUISA

4.1 REVISÃO DE LITERATURA: TRABALHOS EM MÁQUINAS PARALELAS COM



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

TEMPOS DE *SETUP* SEPARADOS DOS TEMOS DE PROCESSAMENTO

Nesta seção são apresentados os trabalhos encontrados na literatura, que tratam do Problema de Programação em Sistemas Máquinas Paralelas com Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Conclusão e aos Tempos de Fluxo das tarefas.

4.1.1 Máquinas Paralelas Idênticas

A nível nacional somente um trabalho foi encontrado para o Problema de Programação em Máquinas Paralelas Idênticas, disponível em Wobeto (2008).

A nível internacional foram encontrados 9 trabalhos, publicados a partir de 2008, conforme segue: Turker e Sel (2011); Behnamian *et al.* (2011); Montoya-Torres *et al.* (2010); Behnamian *et al.* (2009); Gacias *et al.* (2009); Wang e Cheng (2009); Eren (2009); Arnaout e Kulbashian (2008); e Yu *et al.* (2008).

4.1.2 Máquinas Paralelas Uniformes

Para o Problema de Programação da Produção em Máquinas Paralelas Uniformes, foi encontrado apenas um trabalho, disponível em Mora e Mosheiov (2012).

4.1.3 Máquinas Paralelas Não Relacionadas

Para o Problema de Programação em Máquinas Paralelas Não Relacionadas somente 1 trabalho foi encontrado a nível nacional, disponível em Paula (2008).

A nível internacional foram encontrados 13 trabalhos, publicados a partir de 2008, para programação em máquinas paralelas não relacionadas, conforme segue: Chang e Chen (2011); Hsu *et al.* (2011); Kuo *et al.* (2011); Liu *et al.* (2011); Senthil Kumar *et al.* (2011); Vallada e Ruiz (2011); Arnaout *et al.* (2010); Chang *et al.* (2010); Parthanade e Buddhakulsomsiri (2010); Gharehgozli *et al.* (2009); Tavakkoli-Moghaddam *et al.* (2009); Shuaib (2009); Rocha *et al.* (2008).

VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

4.2 ANÁLISE DOS TRABALHOS EM MÁQUINAS PARALELAS COM TEMPOS DE *SETUP* SEPARADOS DOS TEMOS DE PROCESSAMENTO

4.2.1 Máquinas Paralelas Idênticas

A Tabela 1 apresenta a classificação dos trabalhos encontrados para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Idênticas, quanto ao Método de Solução utilizado.

Tabela 1 – Classificação dos trabalhos quanto aos Métodos de Solução.

Referência	Método Ótimo	Heurístico	Metaheurística
Turker e Sel (2011)	-		- Algoritmo Genético
Behnamian <i>et al.</i> (2011)	-		- <i>Metaheurística</i> Híbrida
Montoya-Torres <i>et al.</i> (2010)	-	- Construtivo	-
Behnamian <i>et al.</i> (2009)	-		- <i>Metaheurística</i> Híbrida
Eren (2009)	-	- Construtivo	-
Gacias <i>et al.</i> (2009)	- <i>Branch-and-bound</i>		-
Wang e Cheng (2009)		- Construtivo	-
Arnaout e Kulbashian (2008)	-	- Construtivo	-
Wobeto (2008)	-	-	- <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> (GRASP)
Yu <i>et al.</i> (2008)	- Programação Inteira Mista	-	-

A Tabela 2 apresenta a classificação quanto ao Critério de Desempenho e os Tempos de *Setup*, para os trabalhos encontrados para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Idênticas.



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Tabela 2 – Classificação dos Métodos de Solução quanto ao Critério de Desempenho adotado e quanto aos Tempos de *Setup*.

Referência	Critério de Desempenho	Tempos de <i>Setup</i>
Turker e Sel (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Behnamian <i>et al.</i> (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Montoya-Torres <i>et al.</i> (2010)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Behnamian <i>et al.</i> (2009)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Eren (2009)	- Soma dos Tempos de Conclusão Ponderada	- Independentes
Gacias <i>et al.</i> (2009)	- Soma dos Tempos de Conclusão	- Dependentes
Wang e Cheng (2009)	- Soma dos Tempos de Conclusão Ponderada	- Dependentes em Lotes
Arnaout e Kulbashian (2008)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Wobeto (2008)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes em Lotes
Yu <i>et al.</i> (2008)	- Tempo de Conclusão Total	- Dependentes

4.2.2 Máquinas Paralelas Uniformes

A Tabela 3 apresenta a classificação do Método de Solução do trabalho encontrado para Programação em Máquinas Paralelas Uniformes.

Tabela 3 – Classificação dos trabalhos quanto aos Métodos de Solução.

Referência	Método Ótimo	Heurístico	Metaheurística
Mor e Mosheiov (2012)	- Otimização Não Linear	-	-

A Tabela 4 apresenta a classificação do Método de Solução para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Uniformes, quanto aos Tempos de *Setup* e Critérios de Desempenho.



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Tabela 4 – Classificação dos Métodos de Solução quanto ao Critério de Desempenho adotado e quanto aos Tempos de *Setup*.

Referência	Critério de Desempenho	Tempos de <i>Setup</i>
Mor e Mosheiov (2012)	- Tempo de Fluxo	- Dependentes

4.2.3 Máquinas Paralelas Não Relacionadas

A Tabela 3 apresenta a classificação dos Métodos de Solução dos trabalhos encontrados para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Não Relacionadas.

Tabela 5 – Classificação dos trabalhos quanto aos métodos de solução.

Referência	Método Ótimo	Heurístico	Metaheurística
Paula (2008)	-	-	- <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> (GRASP); - <i>Variable Neighborhood Search</i> (VNS); - GRASP híbrida.
Chang e Chen (2011)	-	-	- Algoritmo Genético;
Hsu <i>et al.</i> (2011)	-	- Construtivo	-
Kuo <i>et al.</i> (2011)	- Problema de Designação	-	-
Liu <i>et al.</i> (2011)	- <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	-	-
Senthil Kumar <i>et al.</i> (2011)	- <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	-	-
Vallada e Ruiz (2011)	-	-	- Algoritmo Genético
Arnaut <i>et al.</i> (2010)	- <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	-	-
Chang <i>et al.</i> (2010)	- <i>Simulated Annealing</i> (ACO)	-	-

VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Parthanade e Buddhakulsomsiri (2010)		- Construtivo	-
Gharehgozli <i>et al.</i> (2009)	- <i>Mixed-integer Goal Programming (MIGP)</i>	-	-
Tavakkoli-Moghaddam <i>et al.</i> (2009)	-	-	- Algoritmo Genético
Shuaib (2009)	-	- Construtivo	-
Rocha <i>et al.</i> (2008)	<i>Branch-and-bound</i>	-	-

A Tabela 4 apresenta a classificação quanto aos Critérios de Desempenho e os Tempos de *Setup*, para os trabalhos encontrados para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Não Relacionadas.

Tabela 6 – Classificação dos Métodos de Solução quanto ao Critério de Desempenho adotado e quanto aos Tempos de *Setup*.

Referência	Critério de Desempenho	Tempos de <i>Setup</i>
Paula (2008)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Chang e Chen (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Hsu <i>et al.</i> (2011)	- Tempo Total de Conclusão	- Dependentes
Kuo <i>et al.</i> (2011)	- Desvio Absoluto Total dos Tempos de Conclusão das Tarefas	- Dependentes
Liu <i>et al.</i> (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Senthil Kumar <i>et al.</i> (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Vallada e Ruiz (2011)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Arnaout <i>et al.</i> (2010)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Chang <i>et al.</i> (2010)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes
Parthanade e Buddhakulsomsiri (2010)	- Tempo Total de Fluxo	- Dependentes
Gharehgozli <i>et al.</i> (2009)	- Tempo Total de Fluxo Ponderado	- Dependentes
Tavakkoli-Moghaddam <i>et al.</i> (2009)	- Tempo Total de Conclusão	- Dependentes
Shuaib (2009)	- Tempo Médio de Fluxo	- Dependentes em Lotes
Rocha <i>et al.</i> (2008)	- <i>Makespan</i>	- Dependentes

VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No total foram encontrados 10 trabalhos para Programação da Produção em Máquinas Paralelas Idênticas, 01 para Programação em Máquinas Paralelas Uniformes e 14 para Máquinas Paralelas Não Relacionadas. Portanto, ao todo foram analisados 25 trabalhos para Sistemas de Produção (SP) Máquinas Paralelas (MP) e Critérios de Desempenho (CD) relacionados com os Tempo de Conclusão e Tempo de Fluxo das tarefas, com Tempos de *Setup* (TS) separados dos tempos de processamento.

A Tabela 7 apresenta a quantificação dos trabalhos quanto aos Métodos de solução utilizados para resolução do problema estudado.

Tabela 7 – Quantificação dos trabalhos por tipo de Método de Solução. SP/ MS	Métodos Ótimos	Métodos Heurísticos	Métodos Metaheurísticos	Total
MP Idênticas	2 (20%)	4 (40%)	4 (40%)	10
MP Uniformes	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1
MP Não Relacionadas	7 (50%)	3 (21,42%)	4 (28,57%)	14
Porcentagem	10 (40%)	7 (28%)	8 (32%)	25

Legenda: SP=Sistemas de Produção; MS=Métodos de Solução.

Analisando-se a classificação dos trabalhos quanto aos Métodos de Solução adotados, observa-se que a maioria (40%) dos trabalhos encontrados utiliza Métodos de Solução Ótimos, seguidos pelos Métodos Metaheurísticos (32%) e pelos Métodos Heurísticos (28%).

Porém, para o Sistema de Produção Máquinas Paralelas Idênticas apenas 20% dos trabalhos, a minoria, adotam Métodos de Solução Ótimos, ficando empatados, com 40% cada, os Métodos Heurísticos e Metaheurísticos.

Para o sistema Máquinas Paralelas Uniformes foi encontrado somente um trabalho, sendo este de solução ótima.

VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

Para Máquinas Paralelas Não Relacionadas a maioria dos trabalhos (50%) apresentam solução ótima, 28, 57% soluções metaheurísticas e 21, 42% soluções heurísticas.

A Tabela 8 apresenta a quantificação dos trabalhos encontrados, quanto ao Critério de Desempenho (CD) adotado. Sendo que os CD encontrados foram: *Makespan* (C_{max}); Soma dos Tempos de Conclusão Ponderada ($\sum w_j C_j$); Soma dos Tempos de Conclusão ou Tempo de Conclusão Total ($\sum C_j$); Desvio Absoluto Total dos Tempos de Conclusão (TADC); Tempo Total de Fluxo ($\sum F_j$); Tempo Total de Fluxo Ponderado ($\sum w_j F_j$); Tempo Médio de Fluxo ($\sum F_j/n$).

Tabela 8 – Quantificação dos trabalhos por critério de desempenho.

SP/ CD	C_{max}	$\sum w_j C_j$	$\sum C_j$	TADC	$\sum F_j$	$\sum w_j F_j$	$\sum F_j/n$	Total
MP Idênticas	6 (60%)	2 (20%)	2 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	10
MP Uniformes	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1
MP Não	8	0 (0%)	2	1	1	1	1	14
Relacionadas	(57,14%)		(14,28%)	(7,14%)	(7,14%)	(7,14%)	(7,14%)	
Total	14 (56%)	2 (8%)	4 (16%)	1(4%)	2 (8%)	1 (4%)	1 (4%)	25

Legenda: SP=Sistemas de Produção; MS=Métodos de Solução; MP=Máquinas Paralelas; C_{max} =*Makespan*; $\sum w_j C_j$ = Soma dos Tempos de Conclusão Ponderada; $\sum C_j$ = Soma dos Tempos de Conclusão ou Tempo de Conclusão Total; TADC= Desvio Absoluto Total dos Tempos de Conclusão; $\sum F_j$ = Tempo Total de Fluxo; $\sum w_j F_j$ = Tempo Total de Fluxo Ponderado; $\sum F_j/n$ = Tempo Médio de Fluxo.

A maioria dos trabalhos encontrados, ou seja, 56% utilizam como Critério de Desempenho o C_{max} , seguida de 16% com o critério de $\sum C_j$. Os demais critérios foram utilizados em uma porcentagem menor de trabalhos, sendo 8% para o critério $\sum w_j C_j$, 8% para o $\sum F_j$, e 4% para cada um dos outros critérios.

Para o sistema de Máquinas Paralelas Idênticas 60% dos trabalhos encontrados utilizam o critério de C_{max} , 20% adotam o $\sum w_j C_j$ e 20% o $\sum C_j$.

O trabalho encontrado para Máquinas Paralelas Uniformes utiliza como critério de desempenho o $\sum F_j$.

Dos trabalhos encontrados para Máquinas Paralelas Não Relacionadas, 57,14% têm como critério o C_{max} , 14,28% o $\sum C_j$ e cada um dos demais critérios foram encontrados em



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

uma porcentagem de 7,14% dos trabalhos.

A Tabela 9 apresenta a quantificação dos trabalhos quanto ao tratamento dos Tempos de *Setup*.

Tabela 9 – Quantificação dos trabalhos por tratamento dos tempos de *setup*.

SP/ TS	Dependentes	Independentes	Dependentes em Lotes	Total
MP Idênticas	7 (70%)	1 (10%)	2 (20%)	10
MP Uniformes	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1
MP Não Relacionadas	13 (92,85%)	0 (0%)	1 (7,14%)	14
Total	21 (84%)	1 (4%)	3 (12%)	25

Legenda: SP=Sistemas de Produção; TS=Tempos de *Setup*.

Quanto ao tratamento dado aos Tempos de *Setup*, 84% dos trabalhos consideraram os Tempos de *Setup* Dependentes da ordem de sequenciamento das tarefas, sendo que 12% consideraram *Setup* Dependentes entre Lotes de tarefas. Apenas 4% dos trabalhos consideraram os Tempos de *Setup* Independentes da ordem de execução das tarefas.

A maioria dos trabalhos em Máquinas Paralelas Idênticas (70%) consideraram os Tempos de *Setup* Dependentes, 20% consideraram *Setup* Dependentes entre lotes de tarefas e apenas 10% consideraram *Setup* Independente.

O trabalho encontrado para Máquinas Paralelas Uniformes considera o *Setup* Dependente da ordem de execução das tarefas.

Para o sistema Máquinas Paralelas Não Relacionadas 92,85% dos trabalhos consideram os *Setup* Dependentes e 7,14% Dependentes entre Lotes de tarefas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa mostraram que dos trabalhos encontrados para Programação da Produção em Máquinas Paralelas com Tempos de *Setup* separados dos tempos de processamento e Critérios de Desempenhos relacionados aos Tempos de Conclusão e Tempos de Fluxo das tarefas, 56% dos trabalhos consideraram Máquinas Paralelas Não Relacionadas, 40% consideraram Máquinas Paralelas Idênticas e apenas 4%



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

consideraram as Máquinas Paralelas Uniformes. Percebe-se então, que há poucos trabalhos que consideram as Máquinas Paralelas como sendo uniformes.

Quanto aos Métodos de Solução é notável a predominância de trabalhos com Soluções Ótimas (40%) e Metaheurísticas (32%), sendo que apenas 28% dos trabalhos adotaram os Métodos Heurísticos para resolução do problema. Os Métodos Heurísticos tiveram uma predominância maior apenas no sistema Máquinas Paralelas Idênticas, aparecendo em 40% dos trabalhos.

O Critério de Desempenho mais utilizado nos trabalhos analisados foi o *Makespan* que apareceu em 56% dos trabalhos, seguido dos critérios de Soma dos Tempos de Conclusão Ponderada e Tempo de Conclusão Total das tarefas. Os critérios de desempenho baseados nos Tempos de Conclusão das tarefas apareceram em 84% dos trabalhos, sendo que apenas 16% dos trabalhos consideraram critérios de desempenho baseados nos Tempos de Fluxos das tarefas.

Para o tratamento dos Tempos de *Setup* a maioria dos trabalhos (84%) utilizam o *Setup* Dependente da ordem de execução dos tarefas e 12% consideram Tempos de *Setup* Dependentes entre Lotes de tarefas.

Assim, fica claro que há poucos trabalhos que adotam Critérios de Desempenho relacionados aos Tempos de Fluxo das tarefas, bem como há poucos trabalhos que utilizam Métodos de Solução Heurísticos, uma vez que se verificou uma predominância de Métodos Ótimos e Metaheurísticos.

REFERÊNCIAS

ALLAHVERDI, A.; CHENG, T. C. E.; KOVALYOV, M. Y. **A survey of scheduling problems with setup times or costs**. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v. 187, p. 985-1032, 2008.

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

ARNAOUT, J.; KULBASHIAN, S. **Heuristics for the Maximization of Operating Rooms Utilization Using Simulation**. Inform Journal on Computing, v. 21, n. 1, p. 123-136, 2009.

ARNAOUT, J.; RABADI, G.; MUSA, R. **A two-stage Ant Colony Optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times**. Journal Intell Manufacturing, v. 21, p. 693-701, 2010.



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

CHANG, P.; CHEN, S. **Integrating dominance properties with genetic algorithms for parallel machine scheduling problems with setup times.** Applied Soft Computing. v. 11, p. 1263-1274, 2011.

CHANG, W.; CHYU, C.; LI, R. **Archived simulated annealing for unrelated parallel machine scheduling to minimize fuzzy makespan and tardiness.** 2nd International Conference on Engineering Optimization, Lisbon, Portugal, 2010.

CHENG, T. C. E; GUPTA, J. N. D.; WANG, G. **A review of flow shop scheduling research with setup times.** Production and Operations Management. New York, vol. 09, no. 3, p.262-282, 2000.

EREN, T. **A bicriteria parallel machine scheduling with a learning effect of setup and removal times.** Applied Mathematical Modelling, v. 33, p. 1141-1150, fevereiro, 2009.

FUCHIGAMI, H. Y.; MOCCELLIN, J. V. **Regras de prioridade para programação em sistemas flexible flow line com tempos de setup dependentes da sequência.** In: Anais...SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XVI SIMPEP), 17, 2009. Bauru, SP.

GACIAS, B.; ARTIGUES, C.; LOPEZ, P. **Parallel machine scheduling with precedence constraints and setup times.** Management Science / Operations Research. p. 28-33, 2009.

GHAREHGOZLI, A.H.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; ZAERPOUR, N. **A fuzzy-**

GILIO, N. C. **Método heurístico para o problema de no-wait flow shop com setup separado e independente da sequência.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

HSU, C.; KUO, W.; YANG, D. **Unrelated parallel machine scheduling with past-sequence-dependent setup time and learning effects.** Applied Mathematical Modelling, v. 35,p. 1492-1496, 2011.

International Journal of Systems Science, Abington, v. 30, n. 2, p. 143-155, 1999.

KUO, W.; HSU, C.; YANG, D. **Some unrelated parallel machine scheduling problems with past-sequence-dependent setup time and learning effects.** Computers & Industrial Engineering. v. 61, p. 179-183, 2011.

LIU, G. B.; ZHU, Q.; ZHANG, J. **ACO algorithm for scheduling complex unrelated parallel machine.** Advanced Materials Research, v. 268 - 270, p. 297-302, 2011.
mixed-integer goal programming model for a parallel-machine scheduling problem with sequence-dependent setup times and release dates. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. v. 25, p. 853-859, 2009.

MONTOYA-TORRES, J. R.; SOTO-FERRARI, M.; GONZÁLEZ-SOLANO, F. **Production scheduling with sequence-dependent setups and job release times.** Dyna, v. 77, n. 163, p. 260-269, setembro, 2010.



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

MORA, B.; MOSHEIOV, G. **Batch scheduling on uniform machines to minimize total flow-time.** Computers & Operations Research. v. 39, p. 571-575, 2012.

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.

PARTHANADE, P.; BUDDHAKULSOMSIRI, J. **Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules: A case study in canned fruit industry.** Computers and Electronics in Agriculture, v. 70, p. 245-255, janeiro, 2010.

PAULA, M. R. **Heurísticas para a minimização dos atrasos em sequenciamento de máquinas paralelas com tempos de preparação dependentes da seqüência.** Programa de Pós- Graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

problem. Dissertação (Mestrado em Ciência da Manufatura) - University of Kentucky, 2009.

removal times under consideration of the learning effect. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, v. 27, p. 372 – 378, setembro, 2010.

ROCHA, P. L.; RAVETTI, M. G.; MATEUS, G. R.; PARDALOS, P. M. **Exact algorithms for a scheduling problem with unrelated parallel machines and sequence and machine-dependent setup times.** Computers and Operations Research, v. 35, p. 1250-1264, 2008.

SENTHIL KUMAR, K. M.; SELLADURAI, V.; RAJA, K.; ELANGO VAN, K. **Ant colony approach for makespan minimization on unrelated parallel machines.** International Journal of Engineering Science and Technology. v. 3 n. 4, 2011.

SHUAIB, M. A. **An algorithm to solve the associative parallel machine scheduling**

SOUZA, A. B. D.; MOCCELLIN, J. V. **Metaheurística híbrida Algoritmo Genético Buscatabu para a programação de operações flow shop,** Anais...Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 22, 2000, Viçosa, MG.

TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; TAHERI, F.; BAZZAZI, M.; IZADI, M.; SASSANI, F. **Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints.** Computers & Operations Research. v. 36, p. 3224-3230, 2009.

TURKER, A. K.; SEL, C. **Scheduling two parallel machines with sequence dependent setups and a single server.** Gazi University Journal of Science. v. 24, n. 1, p. 113-123, 2011.

VALLADA, E.; RUIZ, R. **Genetic algorithms for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times.** European Journal of Operational Research. v. 211 , p. 612-622, 2011.



VI EPCT

Encontro de Produção Científica e Tecnológica

24 A 28 DE OUTUBRO DE 2011

WANG, X.; CHENG, T.C.E. **Heuristics for parallel-machine scheduling with job class setups and delivery to multiple customers.** International Journal of Production Economics, v.119, p. 199-206, maio, 2009.

WOBETO, E. I. **Uma abordagem heurística para o problema de planejamento da produção em fundições – estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

YANG, S.; HSU, C.; YANG, D. **Parallel-machine scheduling with setup and.**

YANG, W.; LIAO, C. **Survey of scheduling research involving setup times.**

YU, A.; GU, X.; JIAO, B. **A Coupled Transiently Chaotic Neural Network Approach for Scheduling Identical Parallel Machines with Sequence Dependent Setup Times.** Science and Technology, p. 14882-14887, 2008.