

ANAIS DO V WORKSHOP DE ÁLGEBRA DA UFG-CAC

Ambiente *Flexible Flow Line* Com Tempos de *Setup* e Bicritério

Jeferson Silva Martins

Jsm.ctl@gmail.com

Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão
Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Otimização

Jose dos Reis Vieira de Moura Junior

zereis@ufg.br

Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão
Unidade Acadêmica Especial de Matemática e Tecnologia

Resumo

Este aborda o sequenciamento da produção em *Flexible Flow Line* para a minimização de custo *Makespan* (C_{max}) na produção de diferentes produtos dentro de uma linha de Produção. Neste tipo de sequenciamento de produção, tem-se uma associação de máquinas adotadas em uma família de produtos que formam uma cadeia de produção em que a busca pelo caminho mais curto entre as máquinas para a produção deve ser encontrado. O *Flexible Flow Line* (FFL) pode ser formulado como o problema da busca do caminho mais curto, no qual as máquinas podem saltar estágios se necessário. Neste trabalho, a busca pelo *Makespan* foi encontrada através da criação de métodos heurísticos e então confrontando solução entre eles, analisando o *Makespan* e o tempo médio de fluxo.

Palavras chave: *Flexible Flow Line*, Sequenciamento, tempos de *Setup*, linhas de Produção

1. Introdução

No campo do planejamento e controle da produção, pesquisadores e engenheiros tem buscado a melhor forma de controlar uma linha de produção com diversas máquinas trabalhando no processamento de um conjunto familiar de produtos. Neste ambiente, cada família pode ser processada em conjuntos abordando diferentes tempos de processamento na programação e na preparação de cada máquina (CORREIA, 2006).

Com a necessidade de explorar cada vez mais métodos capazes de buscar o ótimo de uma sequência, ambientes de produção são caracterizados e estudados com o objetivo de obter uma ação eficaz de atender todos os requisitos de certos problemas de produção. Nesse contexto, o *Flexible Flow Line* é um ambiente de produção no qual as tarefas podem saltar estágios do processo, caso necessário, determinadas tarefas não precisam ser executadas em todas as máquinas disponíveis na sequência.

No Sequenciamento da produção são empregados diversos métodos de resolução em uma variedades de problemas. Os métodos heurísticos são critérios computacionais e racionais capazes de escolher um bom caminho entre vários, sem percorrer todos os caminhos possíveis chegando à uma solução aproximada do ótimo ou até o ótimo (PUGAZHENDHI, S. et al., 2004).

Neste contexto, este trabalho objetiva a minimização de custo, e do tempo médio total de fluxo em um ambiente de FFL. Todo o processo de custo e tempo total do fluxo será analisado utilizando seis métodos desenvolvidos por base de teorias já conhecidas sobre o sequenciamento da produção.

2. Programação da produção e o problema de Flow Line

Contextualizando a produção, é importante dizer que o sequenciamento, planejamento e programação são em suma a harmonização entre a capacidade de fornecer produtos manufaturados com a demanda que o mercado exige. Em linhas gerais, Slack et al. (2009) define que o planejamento e processo de programação da produção visa garantir eficácia e eficiência com baixos custos e alta produtividade.

No processo de produção temos a programação da produção caracterizada por ambientes como o FFL que pode ser considerado uma classe muito importante no processo de produção usado em fábricas. Ele é caracterizado por um conjunto de estações de trabalhos que usam sequências, e são integrados a um sistema fixo e contínuo no manuseio de materiais. As estações são capazes de realizar qualquer operação durante todo o processo para que se possa chegar até o produto acabado. As tarefas passam na linha e visitam as estações na sequência indicada podendo saltar estações quando necessário e se movem através das máquinas.

Schaller et al. (2000) apresenta que a sequência em FFL é preferível em algumas linhas de produção pelo fato deste ambiente reduzir a

complexidade do sistema de transferência de uma máquina para a outra. Desta forma para determinados produtos produzidos por lotes ou em conjunto, a sequência reduz o fluxo de transporte e o estado crítico de manuseio nos conjuntos com pouca mobilidade e de pesos excessivos.

O FFL é considerado um caso característico do *Flexible Flow Shop* conforme descreve Ríos-Mercado e Bard (1998). Basicamente, as tarefas possuem um fluxo de processamento passando pelas máquinas, cada máquina executa um processamento específico da tarefa dada em uma estação, e nas estações pode haver mais de uma máquina. As tarefas, quando necessário, podem saltar as estações e serem processadas sem a obrigatoriedade do processamento na estação anterior. A figura 1 ilustra o ambiente de FFL.

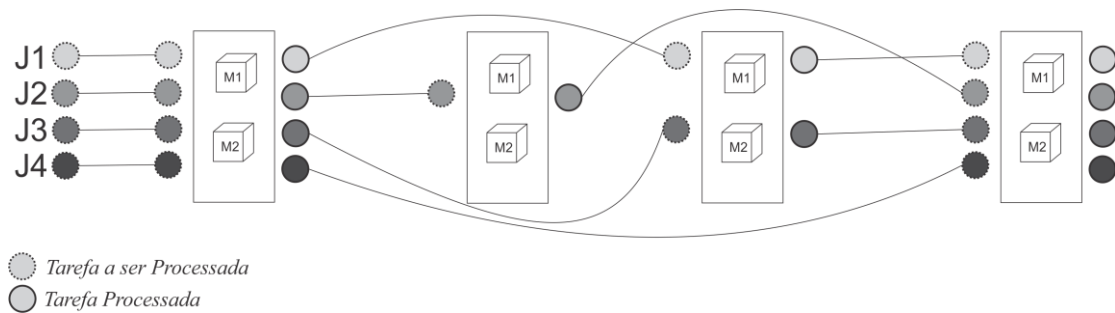


Figura 1: Ilustração de um ambiente de sequenciamento em FFL.

Fonte: Os autores

Na configuração de processamento do ambiente de FFL, como no caso de montagem de produtos em lotes, é comum que o processo seja configurado com uma topologia particular do *branch-and-bound*. Nele, as tarefas são atribuídas e suas subsequências são criadas de acordo com o processo de produção do nível anterior, e nas sequências sucessivas da programação as tarefas vão sendo executadas.

Alfieri e Nicosia (2006) definiu o problema de projeção do custo mínimo em Flow Line como supersequência da produção em um conjunto particular de sequências mantido pelo comprimento da sequência mais curta possível (*Makespan*) definindo o fluxo total de produção. O modelo de Yochihiro e Moccellini (2010) considera as tarefas como sendo lotes de produção de forma independente, porém trabalhando em unidade em cada estação em um ambiente *Flexible Flow Line*. Baseando na definição dos modelos dos dois autores acima, tem-se o modelo simplificado definido pela Equação (1).

$$FFL|S_{jk}|\alpha C_{max} + \beta \bar{F} \quad (1)$$

A expressão representa um ambiente FFL, com tempos de *setup* independente em cada máquina (S_{jk}), em que o *makespan* (C_{max}) deve ser minimizado, e o tempo médio de fluxo dependente deve ser levado em consideração.

Um exemplo aplicado nesse ambiente pode ser em uma montadora de peças, porcas, parafusos e chapas pequenas para automóveis. Cada peça deve passar pelas estações e então serem processadas lá. Porém, algumas partes necessitam de preparo nas máquinas, como por exemplo, o torno CNC que necessita de um tempo de *setup*, que deve ser contado, para que a peça desejada seja torneada. Este tipo de problema pode ser resolvido por meio de algoritmos heurísticos buscando a determinação do *Makespan*. A representação baseada em um grafo acíclico dirigido é capaz de proporcionar um algoritmo dinâmico capaz resolvê-lo (RÍOS-MERCADO e BARD, 1998).

Neste trabalho, o desenvolvimento de métodos de resolução foi estudado e desenvolvido utilizando-se conceitos teóricos já conhecidos sobre o planejamento e sequenciamento da produção para analisar o *makespan* de ambiente como o FFL. Métodos heurísticos são capazes de trabalhar com m máquinas e n tarefas de forma randômica objetivando encontrar uma solução aproximada para o problema.

3. Algoritmos e Solução do Problema

Considerando o problema acima, a proposta para seis algoritmos capaz de encontrar uma solução é definida fazendo uma análise sucinta na procura de uma solução viável ótima local. Como no problema de FFL as tarefas não precisam necessariamente passar por todas as máquinas e os tempos de *setup* são independentes em cada, uma análise separada do tempo ocioso com o tempo de processamento pode garantir um aumento de desempenho.

Usando regras já conhecidas no sequenciamento de produção, e criando novas regras de sequência juntamente com os tempos de setup (S_{jk}) e o de processamento (P_{jk}), alguns métodos possíveis para resolução do ambiente de produção são propostos:

Maior tempo de processamento (MTP_1)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade de m máquinas;

PASSO 2: Ordene pela regra LPT (maior tempo de processamento P_{jk});

PASSO 3: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Menor tempo de processamento (MTP_2)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade m máquinas;

PASSO 2: Ordene pela regra SPT (menor tempo de processamento P_{jk});

PASSO 3: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Maior soma dos setups com o processamento (MSSP_1)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade m máquinas;

PASSO 2: Some o tempo de *setup* como o tempo de processamento de cada tarefa em cada máquina;

PASSO 3: Ordene pela maior soma;

PASSO 4: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Menor soma dos setups com o processamento (MSSP_2)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade m máquinas;

PASSO 2: Some o tempo de *setup* como o tempo de processamento de cada tarefa em cada máquina;

PASSO 3: Ordene pela menor soma;

PASSO 4: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Maior tempo de setup (MTS_1)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade m máquinas;

PASSO 2: Ordene pela regra LST (maior tempo de S_{jk});

PASSO 3: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Menor tempo de Setup (MTS_2)

PASSO 1: Repita os passos a seguir para a quantidade m máquinas;

PASSO 2: Ordene pela regra SST (menor tempo de S_{jk});

PASSO 3: Obtenha o C_{max} e o $\bar{F}$;

Utilizando os algoritmos citados, foi proposto um ambiente com quatro estações, sendo todas com duas máquinas diferentes e quatro tarefas. A busca pelo *Makespan* se deu com base em tempos de processamento e de *setup* gerados aleatoriamente com números entre 1 e 9. A Tabela 1 apresenta o tempo de processamento P_{jk} enquanto a Tabela 2 representa os tempos de *setup* S_{jk} para cada máquina. Por fim, os dados são utilizados para se obter o C_{max} em todos os algoritmos desenvolvidos.

p_{jk}	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$
$J1$	5	3	8	9
$J2$	4	2	4	7
$J3$	2	4	5	6
$J4$	9	1	8	3

Tabela 1: Relação dos tempos de processamento nas estações

S_{jk}	$E1$		$E2$		$E3$		$E4$	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
$J1$	1	2	3	4	1	2	2	1
$J2$	2	4	2	2	0	0	1	3
$J3$	2	3	2	3	2	2	3	4
$J4$	4	1	1	5	2	1	2	5

Tabela 2: Relação dos tempos de Setup nas estações para cada máquina

Observe que para cada máquina na estação existe um tempo diferente de *setup*. Isso acontece pois, nesse ambiente, as máquinas não necessitam ser idênticas. Na seção 4, os resultados obtidos são apresentados e discutidos conforme aponta a literatura de sequenciamento e programação da produção.

4. Resultados

Na resolução dos algoritmos descritos na seção 3 foi utilizado o sistema básico e analítico de resolução, uma vez que os métodos se mostram de fácil resolução e o problema apresentado é de tamanho razoável e de rápida visualização analítica. Os resultados finais por cada abordagem podem ser observados na Tabela 3. Eles são apresentados na ordem em que aparecem os algoritmos na seção 3, utilizando todas as estações com suas máquinas designadas e as 4 tarefas.

<i>Algoritmo</i>	C_{max}	$\bar{F}$
<i>MTP_1</i>	42	27
<i>MTP_2</i>	39	30
<i>MSSP_1</i>	43	28
<i>MSSP_2</i>	40	29
<i>MTS_1</i>	48	28
<i>MTS_2</i>	41	24

Tabela 3: Resultados obtidos pela a aplicação dos algoritmos de Sequenciamento

Observando a Tabela 3, nota-se que o melhor *makespan* é dado pelo algoritmo MTP_2 com *makespan* igual a 39. O MTP_2 considera o menor P_{jk} alocado na próxima máquina disponível na estação de acordo com o menor tempo de processamento. É importante ressaltar que o algoritmo MSSP_2 e MTS_2 também obtiveram resultados aproximados do melhor *makespan* encontrado e, em alguns critérios, para selecionar o melhor sequenciamento, eles podem ser considerados no quesito de custos ou tempo de fluxo, por exemplo.

Pode-se concluir também que o melhor tempo médio de fluxo foi dado pelo algoritmo MTS_2 igual a 24. O tempo médio de fluxo considera o tempo de processamento de todas as estações. Então, é possível afirmar que se o tomador de decisão visa economizar o tempo de fluxo de trabalho, este algoritmo deve ser considerado como adequado ao uso.

A Figuras 2 e 3 ilustram os Gráficos de Gantt dos algoritmo MTP_2 com o menor C_{max} e o algoritmo MTS_2 com o menor tempo de Fluxo.

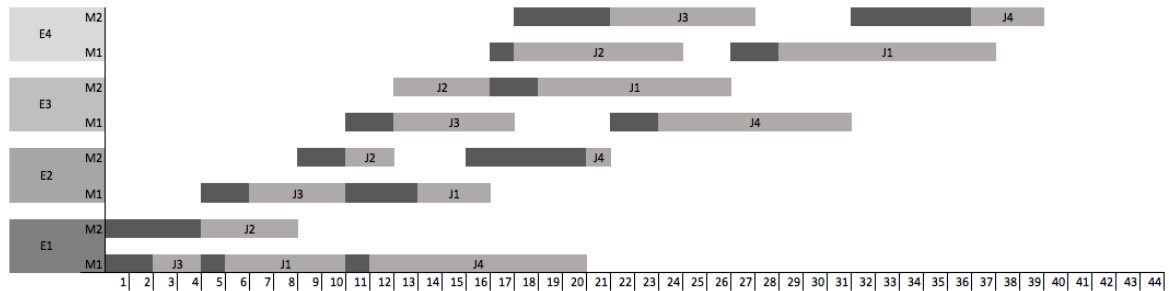


Figura 2: Gráfico de Gantt que representa o exemplo o algoritmo MTP_2
Fonte: Os Autores

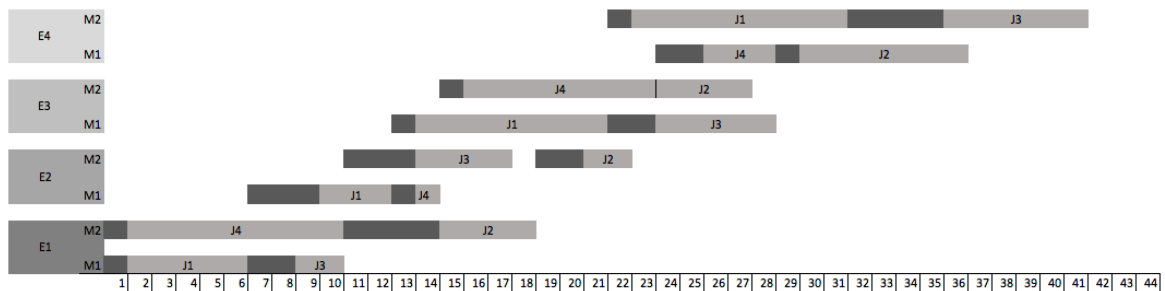


Figura 3: Gráfico de Gantt que representa o exemplo o algoritmo MTS_2
Fonte: Os Autores

5. Conclusão

Ao propor métodos heurísticos buscou-se a solução mais próxima do melhor *makespan* na escolha de um caminho entre vários possíveis. Nesse estudo foram desenvolvidos seis algoritmos e estes encontraram a melhor solução para o problema proposto de acordo com as regras de cada um, tendo todos eles uma fácil resolução e uma solução viável.

No uso de métodos heurísticos espera-se uma solução boa e perto da solução ótima a um tempo computacional rápido, principalmente quando considerados problemas da categoria NP-Difícil. Os métodos aqui apresentados se mostraram satisfatórios e condizentes com problemas cotidianos da área de programação da produção. O Algoritmo de menor

tempo de processamento se mostrou o melhor entre eles quando considerado o tempo de processamento, enquanto que se considerado o tempo de Fluxo, o Algoritmo de menor tempo de *setup* se sobressaiu.

Estudos mais aprofundados para o ambiente devem ser considerados bem como adições de mais restrições. Também é importante considerar possíveis implementações dos métodos para que possam ser resolvidos computacionalmente quando considerados instâncias maiores com m máquinas e n tarefas.

Bibliografia

Alfieri, A.; Nicosia, G. (2006) Minimum cost multi-product flow lines. *Annals Of Operations Research*, [s.l.], volume 150. 1 ed., 31-46p.

Correia H. L.; Giansesi, I. G. N.; Caon, M. (2006) Planejamento, Programação e Controle da Produção. 2 ed. *São Paulo: Atlas* 434 p.

Lopez, O. C.; Barcia, R. M.; Eyada, O. (1993) Problema de Programação da Produção: um Esquema de Classificação. *Produção*. 145-168 p.

Pugazhendhi, S. et al. (2002) Performance enhancement by using non-permutation schedules in flowline-based manufacturing systems. *Computer & Industrial Engineering* 44:133-157.

Pugazhendhi, S. et al. (2004) Generating non-permutation schedules in flowline-based manufacturing systems with sequence-dependent setup times of jobs: a heuristic approach. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [s.l.], volume 23, n. 1-2, 64-78p.

Ríos-mercado, Roger Z.; Bard, J. F. (1998) Heuristics for the flow line problem with setup costs. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], volume 110, n. 1, 76-98p.

Schaller, J. et al. (2000) Scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times. *European Journal Of Operational Research*, [s.l.], volume 125, n. 2, 324-339p.

Tubino, D. F. (2007) Planejamento e Controle da Produção - Teoria e Prática. *São Paulo: Atlas*, 190 p.

Yochihiro, H. F.; Moccasin, J. V. (2010). Métodos Heurísticos para Programação em Sistemas Flexible Flow Line com Setup Dependente da Sequencia. *XLII SBPO*. 60-71p. Bento Gonçalves.

