

Aplicação de algoritmos de sequenciamento em ambiente *flow shop*: estudo de caso em uma pequena empresa de móveis planejados

Gislene da Silva Fonseca (Universidade Federal de Goiás) gis-sf@hotmail.com

Assuscena Pires Netto (Universidade Federal de Goiás) assuscenapires.netto@gmail.com

Lara Fernandes Gonçalves (Universidade Federal de Goiás) larafernandes@hotmail.com

Thaís Maria do Nascimento Santana (Universidade Federal de Goiás) thaismnsantana@gmail.com

Vanessa Aparecida de Oliveira Rosa (Universidade Federal de Goiás) vanessaor@ufg.com

Resumo:

Devido ao aumento da concorrência de mercado, cada vez mais as empresas buscam meios de manterem-se competitivas. Neste contexto, o uso de técnicas e ferramentas de planejamento e controle da produção pode apresentar-se como um diferencial competitivo, especialmente para as micros e pequenas empresas. Dentre estas técnicas, a programação da produção ganha destaque. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar o sequenciamento da produção de uma pequena indústria de móveis planejados, a fim de minimizar o *makespan*. Para tanto, foram aplicadas as heurísticas de Palmer e Gupta. Para a realização deste trabalho foram seguidas as etapas: revisão bibliográfica; coleta de dados; desenvolvimento do modelo; verificação da aplicabilidade da proposta. Para a obtenção dos gráficos e indicadores de desempenho foi utilizado o software Legin[®]. Os resultados mostraram que o *makespan* obtido pela aplicação da heurística de Gupta é menor que a heurística de Palmer, logo, a sequência de produção recomendada é aquela fornecida pela heurística de Gupta.

Palavras chave: sequenciamento, *flow Shop*, *makespan*.

Application of sequencing algorithms in flow shop environment: a case study in a small planned furniture company

Abstract

According to the market increasing competition, the need of keeping the companies competitive has been risen. In this context, the use of techniques and tools for production planning and control can show itself as a competitive differential, especially for micro and small companies. Among these techniques, the production programming has been highlighted. Therefore, the present work has the objective to realize the production sequency of a small industry of furniture planned for minimizing the *makespan*. For this, the heuristic of Palmer and Gupta was applied. For performing this work, the following steps were accomplished: bibliographic review; data collect; development of the model; selection of the applicability of the proposal. For an overview of Legin[®] software performance graphs and indicators have been used. The results have presented that the *makespan* obtained by applying the Gupta heuristic is smaller than the Palmer heuristic; so the recommended production sequency is Gupta's heuristic.

Key-words: scheduling, *flow Shop*, *makespan*.

1. Introdução

Dentre os problemas que as empresas enfrentam pode-se destacar a escassez de tempo e recursos, este último, relacionado a material, máquina e/ou mão de obra. Nas pequenas empresas, em particular, problemas como estes são ainda mais acentuado, uma vez que muitas vezes carecem da aplicação de técnicas e ferramentas para gestão de seus recursos produtivos,

o que pode comprometer a competitividade da organização.

Neste contexto, o uso de técnicas e ferramentas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) pode apresentar-se como um diferencial competitivo para as micro e pequenas empresas. De acordo com o Slack (2009), o PCP pode ser definido como a atividade de decidir sobre a melhor forma de empregar os recursos da produção, garantindo a execução do que foi planejado. De acordo com Fernandes e Godinho Filho (2010), o PCP abrange inúmeras decisões que tem por objetivo decidir quando e quanto produzir, comprar e entregar, além de quem e/ou em quais recursos.

Dentre as atividades de curto prazo do PCP, a programação da produção (*scheduling*) ganha destaque, uma vez que visa alocar recursos escassos para realizar uma tarefa (*job*) com tempo determinado (FUCHIGAMI, 2016). Na programação da produção, o sequenciamento é responsável por fazer o balanço entre a demanda e os recursos disponíveis, gerando um plano de ação apropriado e confiável (LIDDEL, 2009).

De acordo com Pinedo (1995), a programação da produção nos sistemas produtivos é uma atividade de suma importância, pois os recursos e as tarefas realizadas dentro das organizações são limitados. Assim, as técnicas de sequenciamento lidam com a alocação destes recursos no tempo, sendo um processo de tomada de decisão. A aplicação de técnicas de programação da produção resulta na otimização dos recursos e na melhoria da eficiência do sistema, uma vez que possibilita tempos de produção menores para o processamento de todas as tarefas.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar o sequenciamento da produção de uma pequena indústria de móveis planejados, a fim de minimizar o *makespan*. Para tanto, foram aplicadas as heurísticas de Palmer e Gupta.

2. Referencial Teórico

2.1 Ambientes de Programação e Métodos de Solução

O sequenciamento da produção, como um processo de tomada de decisão, desempenha papel crucial tanto em empresas de manufatura como de serviços. Dessa forma, no ambiente competitivo atual, a inserção desse conceito pode apresentar-se como diferencial, uma vez que possibilita a melhoria de indicadores de desempenho como, por exemplo, reduzir ou eliminar atrasos na entrega, reduzir estoques em processos, minimizar o tempo médio de fluxo, minimizar o tempo de processamento de todos os *jobs* (*makespan*), dentre outros. De acordo com Pinedo (1995), a empresa deve programar suas atividades de forma a usar os recursos disponíveis de forma eficiente.

Alharkan (2005) define o sequenciamento como a ordem em que as tarefas são processadas, através das máquinas. Para Baker (1974), o sequenciamento da produção consiste na alocação de recursos, ao longo do tempo, para realizar um conjunto de tarefas. De acordo com Fuchigami (2016), os ambientes de programação são classificados em:

- i) **máquina única:** os *jobs* necessitam de apenas uma operação em uma única máquina disponível ao processamento (Figura 1);



Figura 1 - Ilustração de um ambiente de máquina única. Fonte: Fuchigami, 2016

- ii) **máquinas paralelas:** os *jobs* necessitam de apenas uma operação, podendo passar por qualquer máquina disponível (Figura 2);

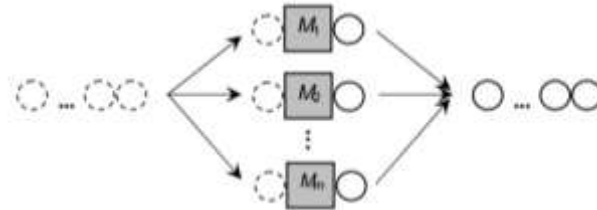


Figura 2 - Ilustração de um ambiente de máquinas paralelas. Fonte: Fuchigami, 2016

iii) **flow shop**: todos os *jobs* devem seguir o mesmo roteiro, ou seja, existe uma sequência pré-definida de máquinas (Figura 3);



Figura 3 - Ilustração de um ambiente *flow shop*. Fonte: Fuchigami, 2016

iv) **job shop**: os *jobs* obedecem a um fluxo individual ou rota específica nas máquinas (Figura 4).

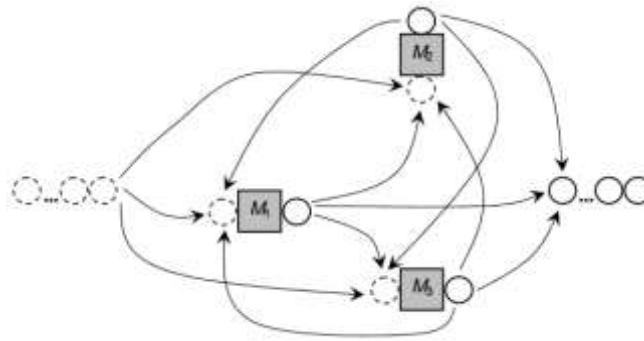


Figura 4 - Ilustração de um ambiente *job shop*. Fonte: Fuchigami, 2016

De acordo com Fuchigami (2016), os problemas de sequenciamento de produção oferecem diferentes métodos de solução: i) solução viável: satisfaz todas as restrições; ii) solução inviável: viola ao menos uma restrição; iii) solução ótima: melhor solução encontrada relacionada a uma medida de desempenho; iv) solução heurística: adota métodos, procedimentos e estratégias aproximativas, com o intuito de encontrar uma boa solução.

Algumas regras básicas de prioridade, também chamadas de regras de sequenciamento, proporcionam a construção de sequências de operações. Essas regras podem ser utilizadas tanto em ambientes com máquina única, quanto em ambiente com múltiplas máquinas (Lustosa et. al, 2008). Dentre essas regras, as mais utilizadas são:

- **SPT** (*Shortest Processing Time*): menor tempo de processamento (p_j);
- **LPT** (*Longest Processing Time*): maior tempo de processamento (p_j);
- **WSPT** (*Weighted Shortest Processing Time*): menor razão entre o tempo de processamento e a prioridade (w_j) (p_j/w_j);
- **WLPT** (*Weighted Longest Processing Time*): maior razão p_j/w_j ;
- **EDD** (*Earliest Due Date*): menor data de entrega (d_j);
- **MST** (*Minimum Slack Time*): menor folga ou maior urgência ($d_j - p_j$);

- **FIFO** (*First In First Out*), **FCFS** (*First Come First Served*) ou **PEPS** (*Primeiro que Entra, Primeiro que Sai*): a primeira que chega é a primeira a ser processada, ou seja, ordenar pela menor data de liberação (r_j);
- **LIFO** (*Last In First Out*): a última que chega é a primeira a ser processada, ou seja, ordenar pela maior data de liberação (r_j);
- **CR** (*Critical Ratio*): menor razão crítica, ou seja, o tempo disponível dividido pelo tempo de processamento $\left(\frac{d_j - r_j}{p_j}\right)$;
- **SST** (*Shortest Setup Time*): menor tempo de setup (s_j).

Dentre os métodos de solução aplicáveis em um ambiente *flow shop* pode-se citar: algoritmo de Johnson (1954), heurística de Palmer (1965) e heurística de GUPTA (1971) (FUCHIGAMI, 2016):

- a) Algoritmo de Johnson (1954): a solução ótima do problema $F2||C_{max}$ (apenas 2 máquinas).

Passo 1: Determinar $\min \{p_{jk}\}$.

Passo 2: Se $\min \{p_{jk}\} \in M_1$, coloque a tarefa na primeira posição disponível da sequência, senão, coloque-a na última posição disponível.

Passo 3: desconsiderando a tarefa alocada, repita os Passos 1 e 2 até que todas as tarefas sejam programadas.

- b) Heurística de Palmer (1965): a solução do problema segue a solução $F_m||C_{max}$, e parte da ideia de Johnson de sequenciar primeiro as tarefas com pequeno tempo de processamento nas primeiras máquinas e grandes nas últimas.

Passo1: Sequencie as tarefas pela ordem decrescente de:

$$A_j = \sum_{k=1}^m (m - 2k + 1)p_{jk},$$

Ou seja,

$$A_j = -(m - 1)p_{j1} - (m - 3)p_{j2} - \dots + (m - 5)p_{j(m-2)} + (m - 3)p_{j(m-1)}.$$

- c) Heurística Gupta (1971): a solução do problema é $F_m||C_{max}$.

Passo 1: Sequencie as tarefas pela ordem crescente de $A_j = \frac{e_j}{\min_{1 \leq k \leq m} \{p_{jk} + p_{j(k+1)}\}}$, onde

$$e_j \begin{cases} -1 & \text{se } p_{j1} < p_{jm} \\ 1 & \text{se } p_{j1} \geq p_{jm} \end{cases}$$

Segundo Pinedo (2010), os indicadores mais comuns no sequenciamento da produção são: i) *makespan* (é equivalente ao tempo total, após o último *job* deixar o sistema, um *makespan* mínimo geralmente implica em uma alta utilização do sistema); ii) tempo total de fluxo e tempo médio de fluxo (busca a minimização da soma dos tempos necessários de execução dos *jobs*); iii) atraso médio; iv) atraso máximo; v) média de estoque em processo (ordens que estão abertas e ainda não finalizadas); vi) número de ordens atrasadas (ordens deixadas de ser entregues no prazo estipulado); vii) tempo total de atraso.

3. Metodologia

Com relação à abordagem do problema, a pesquisa se caracteriza como quantitativa e qualitativa. Quantitativa, uma vez que será realizada uma análise de dados numéricos,

recorrendo-se à linguagem matemática para descrever as relações entre as variáveis. Qualitativa, pois não se preocupará apenas com a representatividade numérica, mas também com a compreensão dos cenários analisados. Para Fonseca (2002), a utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

Quanto ao procedimento é utilizado o estudo de caso. Segundo Gil (2007), este procedimento tem como característica o estudo aprofundado de um número reduzido de objetos, buscando atingir um alto grau de detalhamento daquilo que está sendo estudado. Yin (2001) descreve como sendo um método utilizado quando se deseja compreender um fenômeno em um sistema real, levando em consideração condições contextuais.

Para a realização deste trabalho foram seguidas as etapas: i) revisão bibliográfica; ii) coleta de dados; iv) desenvolvimento do modelo; v) verificação da aplicabilidade da proposta.

Na revisão bibliográfica procedeu-se com uma pesquisa acerca do tema, verificando publicações científicas e livros, que serviriam de aporte teórico, auxiliando no desenvolvimento do estudo em questão.

A coleta de dados, fundamental para conhecimento do processo, iniciou-se por meio de entrevistas não estruturadas. Durante as visitas *in loco* foram observados os processos de fabricação, e após essa etapa foi possível realizar uma análise qualitativa e quantitativa acerca dos processos desempenhados. Por intermédio de visitas na microempresa, identificou-se particularidades e definiu-se os pontos para a coleta de dados. Também foram colhidos os tempos de processamentos necessários para delinear os modelos de sequenciamento. A etapa seguinte foi acompanhar a fabricação de um guarda-roupa para coletar os dados para elaboração da pesquisa. Esse processo teve duração de 8 dias com 3 horas diárias. O objetivo desse acompanhamento foi conhecer as etapas de fabricação do móvel para, então, medir o tempo de processamento de todas as peças nas respectivas máquinas da empresa.

O desenvolvimento dos modelos foi realizado após a coleta dos tempos de processamento, efetuada na etapa anterior. Os tempos foram organizados objetivando facilitar a aplicação das heurísticas selecionadas para este estudo.

A verificação da aplicabilidade da proposta ocorreu após encontrar a sequência das tarefas para cada heurística. Após essa etapa, as sequências foram inseridas manualmente no software Lekin[®] (versão estudante) e, posteriormente, analisadas de acordo com as limitações deste software.

4. Resultados e Discussões

O estudo foi realizado em uma microempresa de móveis planejados, com mais de 25 anos no mercado na cidade de Catalão, Goiás. Atualmente conta com 4 funcionários efetivos e 2 temporários. Dentre os itens que a empresa fabrica, estão: guarda-roupas, armários em geral, mesas, cadeiras, entre outros itens de casa e escritório.

O ciclo de pedido consiste em 6 etapas, que são: (1) preparação do pedido; (2) transmissão do pedido; (3) recebimento e entrada do pedido; (4) recebimento das matérias primas; (5) produção do móvel de acordo com as especificações do cliente; (6) entrega do produto final ao cliente. No presente estudo o foco será a etapa (5), em que analisou-se os tempos de processamentos da produção de um guarda-roupa.

Para a fabricação dos produtos como guarda roupas e armários em geral, as matérias primas são processadas nas seguintes máquinas: serra elétrica circular grosseira; plaina; serra elétrica circular de precisão; máquinas de acabamento (tupias; furadeira; coladeira de borda e

limpeza).

A Tabela 1 apresenta as peças, com suas respectivas quantidades, necessárias para a fabricação do guarda-roupa.

Peças	Quantidade (unidade)
Gavetas	8
Portas	14
Prateleira	10
Divisória	1
Gaveteiro	2
Fundos / estrutura	4
Laterais / estrutura	8
Horizontais / estrutura	3
Rodapé	1

Fonte: Autores (2017)

Tabela 1 - Peças do guarda-roupa e respectivas quantidades

O processo de fabricação de todas as peças obedece a mesma sequência de processamento, logo, o ambiente produtivo analisado pode ser classificado como *flow shop*, e representado de maneira simplificada na Figura 5, onde: M1: serra elétrica circular (cortes grosseiros); M2: plaina; M3: serra elétrica circular (cortes mais precisos); M4: acabamento.

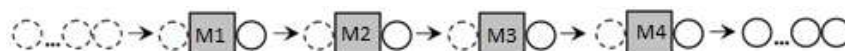


Figura 5 - Layout do sequenciamento da marcenaria. Fonte: Autores, 2017

Os tempos de processamento dos *jobs* em cada máquina são apresentados na Tabela 2, onde: J1 - gavetas; J2 - portas; J3 - prateleiras; J4 gaveteiros; J5 - estrutura do guarda roupa; J6 – rodapé.

JOB	Tempo de processamento (min)			
	M1	M2	M3	M4
J1	40	20	90	180
J2	20	12	45	120
J3	23	11	42	30
J4	10	5	25	130
J5	11	10	40	150
J6	7	5	19	15

Fonte: Autores (2017)

Tabela 2 - Tempos de processamentos dos *jobs* em cada máquina

No início do estudo, a sequência de processamento utilizada pela empresa era: J5 - J1 - J3 - J4 - J2 - J6, e o *makespan* de 686 minutos, como apresentado no Gráfico de Gantt da Figura 6.

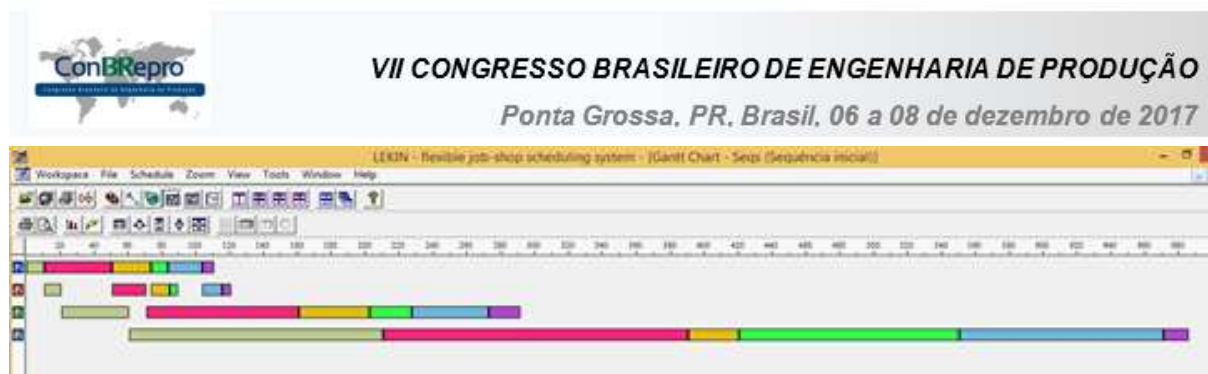


Figura 6 - Gráfico de Gantt para a sequência inicial

Para analisar qual a melhor sequência de produção a fim de obter o menor *makespan*, utilizou-se as heurísticas de Palmer e Gupta, que foram resolvidas manualmente, uma vez que o software Legin[®] não realiza o sequenciamento automático a partir destas heurísticas.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores obtidos após a resolução das heurísticas, onde P_m é o tempo de processamento na máquina m . Os *jobs* foram sequenciados em ordem decrescente em relação a A_j para a heurística de Palmer, e em ordem crescente para a heurística de Gupta. Logo, pela heurística de Palmer, a sequência ótima é dada como: J1 - J5 - J4 - J2 - J3 - J6. Por sua vez, pela heurística de Gupta, a sequência ótima é dada como: J6 - J4 - J5 - J2 - J3 - J1.

JOB	P1	P2	P3	P4	A_j
J1	40	20	90	180	490
J2	20	12	45	120	333
J3	23	11	42	30	52
J4	10	5	25	130	380
J5	11	10	40	150	447
J6	7	5	19	15	38
$-(m - 2k + 1)$	-3	-1	1	3	

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3 - Solução da heurística de Palmer

<i>JOB</i>	e_j	$p_{jk} + p_{j(k+1)}$			A_j
J1	-1	60	110	270	-0,016666667
J2	-1	32	57	165	-0,03125
J3	-1	34	53	72	-0,029411765
J4	-1	15	30	155	-0,066666667
J5	-1	21,42	50	190	-0,047619048
J6	-1	12	24	34	-0,083333333

Fonte: Autores (2017)

Tabela 4 - Solução da heurística de Gupta

Os dados referente ao tempo de processamento de cada *job* em cada máquina (Tabela 2) foram inseridos no software Legin[®]. A Figura 7 mostra a somatória do tempo processamento de todos os *jobs* em cada máquina.

Mch/Job	Setup	Start	Stop	Pr.tm
P1	0			111
P2	0			63
P3	0			261
P4	0			625
Summary				

Figura 7 - Tempo total de processamento de todos os jobs em cada máquina

Após encontrar as sequências para as heurísticas de Palmer e a de Gupta, as mesmas foram inseridas no software Lekin®. A Figura 8 mostra o Gráfico de Gantt referente à heurística de Palmer, com um *makespan* (C_{max}) de 775 minutos, e a Figura 9 o Gráfico de Gantt referente à heurística de Gupta, cujo *makespan* foi de 666 minutos.

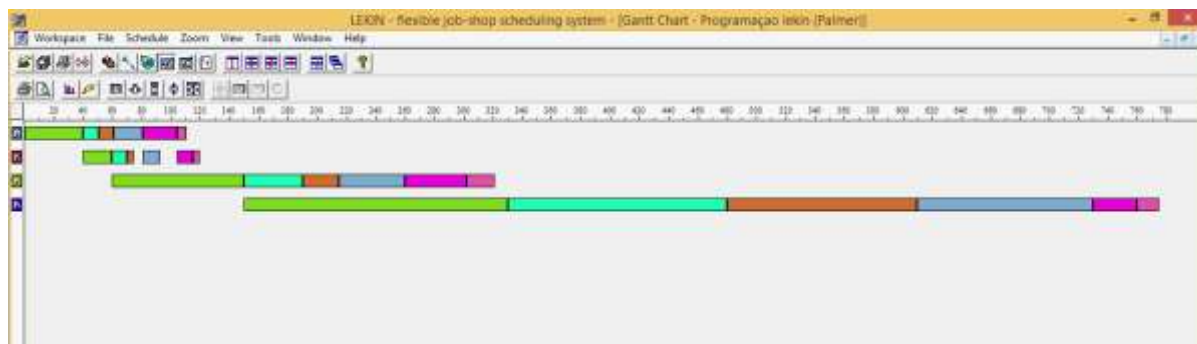


Figura 8 - Gráfico de Gantt para heurística de Palmer

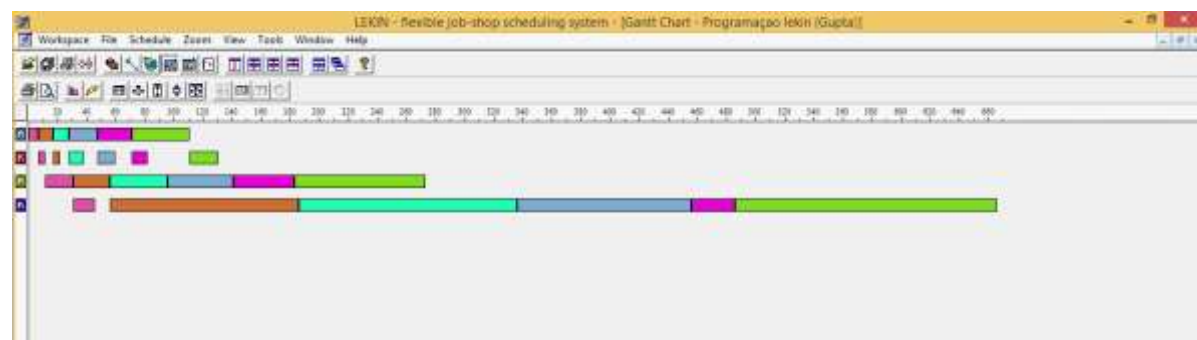


Figura 9 - Gráfico de Gantt para heurística de Gupta

Tendo em vista que o *makespan* obtido pela aplicação da heurística de Gupta é menor que a heurística de Palmer, a sequência de produção recomendada é aquela fornecida pela heurística de Gupta: J6 - J4 - J5 - J2 - J3 - J1. Este *makespan* é 2,9% menor que aquele obtido pelo sequenciamento até então realizado pela empresa.

Na Figura 10 são mostrados os resultados referentes ao *makespan* (C_{max}), maior atraso das tarefas (T_{max}), somatória do número de tarefas atrasadas ($\sum U_j$), somatória da data de término das tarefas ($\sum C_j$), atraso total das tarefas ($\sum T_j$), data de término ponderada ($\sum w_j C_j$), atraso ponderado ($\sum w_j T_j$). A Figura 11, por sua vez, apresenta a comparação entre as duas heurísticas com a sequencia inicial.

Log Book - Programação Iekin *								
Schedule	Time	C_{max}	T_{max}	ΣU_j	ΣC_j	ΣT_j	$\Sigma w_j C_j$	$\Sigma w_j T_j$
Gupta	1	666	666	6	2176	2176	2176	2176
Palmer	1	775	775	6	3685	3685	3685	3685

Figura 10 - Indicadores de desempenho obtidos nos sequenciamentos

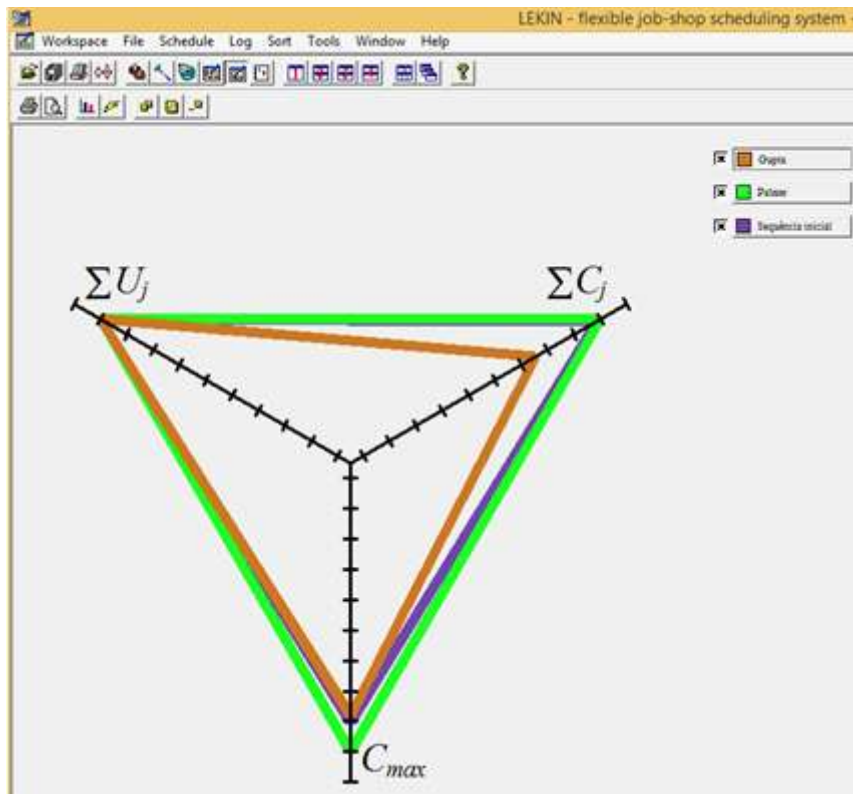


Figura 11 - Gráfico de desempenho

Como pode-se observar, a heurística de Gupta apresenta melhor desempenho no resultado do *makespan* (C_{max}) e nas somatórias da data de término das tarefas (ΣC_j) em relação a sequência inicial e a de Palmer. Já na somatória do número de tarefas atrasadas (ΣU_j), ambas apresentam o mesmo resultado.

5. Conclusões

Como o objetivo do trabalho foi realizar o sequenciamento da produção de uma pequena indústria de móveis planejados, utilizando duas heurísticas, de Palmer e de Gupta, para um ambiente de programação *flow shop*, concluiu-se que o objetivo foi alcançado e o resultado satisfatório, uma vez que a heurística de Gupta apresentou o menor *makespan*.

No entanto, embora a heurística de Gupta tenha fornecido o menor *makespan*, ressalta-se a necessidade de definir o melhor método de solução a partir do objetivo de desempenho a ser atendido pela empresa, como por exemplo, atender ao prazo de entrega, reduzir o estoque em processo ou minimizar o tempo médio de fluxo. Ainda, conclui-se que é de suma importância analisar um conjunto de indicadores de desempenho, a fim de que decisões coerentes sejam tomadas.

Referências

- ALHARKAN, IBRAHIM M.** *Algorithms for sequencing and scheduling*. Industrial Engineering Department, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 2005.
- BAKER, C. T.** *Introduction to sequencing and scheduling*. New York, John Wiley and Sons, 1974.
- FERNANDES, F. C. F.; FILHO, M. G.** *Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial*. São Paulo: Atlas, 2010.
- FONSECA, J. J. S.** *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- FUCHIGAMI, H. Y.** *Introdução ao sequenciamento da produção*. Aparecida de Goiânia: UFG, 2016. Material didático, versão 7.0.
- GIL, A. C.** *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4 Edição. São Paulo: Atlas, 2007.
- LIDDEL, MIKE.** *O Pequeno Livro Azul da Programação da Produção*. Espírito Santo: Tecmaran Consultoria e Planejamento, 2009.
- LUSTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R.** *Planejamento e Controle da Produção*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- MOTA, DANIEL DE OLIVEIRA.** *Desenvolvimento de aplicação computacional para um problema de sequenciamento utilizando algoritmo branch and bound*. Juiz de Fora: EPD/UFJF, 2007.
- GALVÃO, FREDERICO MARTINS.** *Aplicação de um modelo de sequenciamento da produção para um setor de modelagem de artefatos plásticos*. Juiz de Fora: EPD/UFJF, 2007.
- PINEDO, MICHAEL.** *Scheduling - Theory, Algorithms, and Systems*. 2. ed. New Jersey: Prentice-hall, 1995.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.** *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2009.
- YIN, R. K.** *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Tradução de Daniel Grassi. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- WILHELM, V. E.** *Desenvolvimento de um sistema inteligente de geração de planos de sequenciamento aplicado à manufatura do tipo flow-shop*. Florianópolis: UFSC, 1994.