

INCERTEZAS EM ALGORITMOS DE PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES

José Arnaldo Barra Montevechi

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - Departamento de Produção - e-mail: arnaldo@iem.efei.br

Cx Postal 50 - Tel. (035) 629 1147 - Itajubá - MG - CEP 37500-000

Alexandre Ferreira de Pinho

Escola Federal de Engenharia de Itajubá – Depto. de Produção – e-mail: pinhoaf@projesom.com.br

Rua Barão do Rio Branco, 97 - Centro - Itajubá - MG - CEP 37500-000

ABSTRACT:

This paper describes the problem of uncertainties in the scheduling problem. Scheduling involves assigning due dates to specific jobs, but many jobs compete simultaneously for the same resources. The scheduling analyzed is a Flow Shop situation, where all the jobs must pass through all the machines in the same order. Less time to produce is the result wanted. However, it is possible to have uncertainties with the production times. The Fuzzy Numbers are the approach used to discuss these uncertainties. A software has been developed to calculate times and to show results and Gantt Charts.

KEYWORDS: Fuzzy, Scheduling Problem, Triangular Fuzzy Numbers

RESUMO:

A programação da produção tem como objetivo maximizar a taxa de produção e de minimizar o tempo total do fluxo de operação. O algoritmo utilizado, neste trabalho, é um algoritmo heurístico de sequenciamento sucessivo unidirecional, atendendo a programação tipo “flow-shop” permutacional (NAWAS, ENSCORE e HAM, 1983). Em virtude da incerteza de informações e dados existente nos processos de manufatura, e que influem diretamente nos cálculos de sequenciamento, buscou-se, introduzir no algoritmo citado, a consideração da incerteza.

Incetezas e ambigüidades são comuns nos processos de decisão nos sistemas de produção. Sobre tais circunstâncias fuzzy tem provado ser uma ferramenta efetiva para levar em consideração o impreciso. A abordagem adotada, neste artigo, é a utilização dos números triangulares fuzzy. Os

resultados, através de gráficos de *Gantt*, podem ser obtidos facilmente pelo software desenvolvido para a automatização da metodologia.

1. INTRODUÇÃO

BURBIDGE (1975), já afirmava que uma troca na programação de operações pode ocasionar em economias na produção. De fato, se considerarmos os tempos de processamento de cada operação em cada máquina mostrado na matriz da figura 1 abaixo, e considerarmos as seqüências de tarefas 2-1-3 e 1-3-2, pode-se notar que a simples troca de posição entre as peças ocasionou em ganho de tempo, de 16 u.t. (unidade de tempo), na seqüência 2-1-3 para 13 u.t., na seqüência 1-3-2, conforme mostra a figura 2.

Tarefas (J _i)	Máquinas (M _j)		
	M1	M2	M3
J1	1	3	4
J2	4	2	2
J3	3	1	3

Figura 1 – Matriz com os tempos de processamento de cada operação

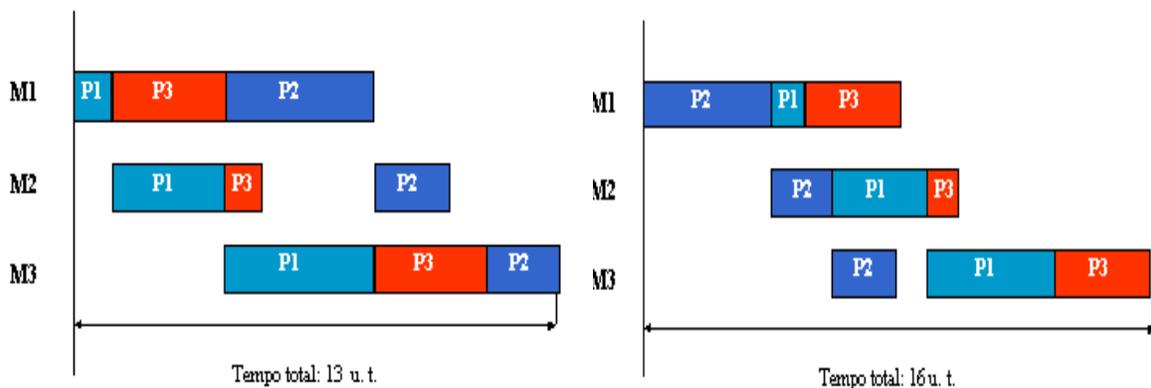


Figura 2 – Gráfico de *Gantt* do tempo total de processamento das seqüências 2-1-3 e 1-3-2.

Segundo MACCARTHY e LIU (1993), o problema de programação pode ser definido, de um modo geral, como a alocação de recursos no tempo de forma a executar um conjunto de tarefas.

BAKER (1974), afirma que a programação é a definição da ordem de entrada das tarefas a serem executadas na produção, ou seja, determinar como as tarefas devem ser conduzidas de uma máquina para outra. Entende-se por tarefas qualquer tipo de operação (trabalhos, “jobs”, etc.) que se

desenvolva em um produto (peça, item, etc.). A programação de operações tem como objetivo maximizar a taxa de produção e de minimizar o tempo total do fluxo de operação.

Será abordado neste trabalho um caso específico de programação *flow-shop* denominado permutacional. Segundo MOCCELLIN (1992), um caso típico dessa programação, são instalações de manufatura onde as tarefas são movidas de uma máquina para outra através de algum equipamento de movimentação de materiais.

A solução do problema de programação de operações *flow-shop* permutacional consiste em determinar dentre as $n!$ seqüências possíveis das tarefas, aquela que minimiza o intervalo de tempo entre o início de execução da primeira tarefa, na primeira máquina, e o término de execução da última tarefa, na última máquina, ou seja determinar a duração total da programação (*makespan*).

Para o desenvolvimento da metodologia proposta neste trabalho escolheu-se o algoritmo desenvolvido por NAWAZ, ENSCORE JR & HAM (1983), conhecido por NEH. Optou-se por este algoritmo pois, segundo MOCCELLIN (1992), com o NEH pode-se obter soluções de boa qualidade com pouco esforço computacional.

2. CONSIDERAÇÕES DE INCERTEZAS

Em algoritmos de programação de operações, a principal variável para os cálculos, é o tempo de processamento de cada operação. Vários autores assumem este tempo de processamento como exatos. Esta é uma suposição que segundo FORTEMPS (1997) é muito forte, pois pode causar dificuldades em aplicações de problemas de programação.

Este tempo de processamento estimado pode variar dependendo do operador que executará a atividade, conforme a máquina que será utilizada, do ferramental empregado, etc. Desta maneira pode-se afirmar que o tempo de execução das atividades esta sujeito a incertezas.

As incertezas existentes nestes parâmetros de tempo receberam pouca ou nenhuma atenção nas décadas de 70 e 80. Somente na década de 90 começaram a surgir trabalhos que levavam em consideração as incertezas. Por exemplo, tem-se ISHII (1992), MCCAHERN (1992) ISHIBUCHI (1994), HAPKE (1994), FORTEMPS (1997) que utilizaram números fuzzy em problemas de programação *flow-shop*.

Para considerar as incertezas e ambigüidades existentes nos sistemas de manufatura, fuzzy tem provado ser uma ferramenta efetiva para levar em consideração o impreciso (MONTEVECHI,

1995). A maioria dos processos industriais são complexos devido ao número de variáveis envolvidas e a dificuldade de quantificação destas variáveis. Por vezes, diversas destas grandezas tem seus valores estabelecidos através de processos subjetivos, sendo classificados por meios de valores lingüísticos.

A lógica fuzzy é um meio de aproximar a precisão da matemática clássica e a inexatidão do mundo real. Esta teoria consegue manipular e operar quantidades exatas e inexatas (quantificadas através de valores lingüísticos). Existe uma grande variedade de tipos de números fuzzy (KAUFMANN e GUPTA, 1988), entretanto neste trabalho, tratou-se de um tipo específico: *números triangulares fuzzy* (*triangular fuzzy numbers - TFN*).

A figura 3 representa esquematicamente um TFN, onde ao valor a_2 se atribui pertinência 1, ou seja, existe grande possibilidade de ocorrer a_2 . A valores menores que a_1 e maiores que a_3 são atribuídos pertinência zero, ou seja, não existe possibilidade de ocorrer este valores. A valores intermediários entre $[a_1, a_2]$ e $[a_2, a_3]$ são atribuídos pertinências entre 0 e 1.

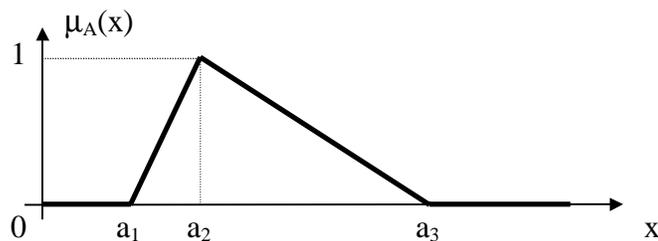


Figura 3 - Número Triangular Fuzzy - TFN

Um TFN pode ser definido como sendo $A=(a_1, a_2, a_3)$. Onde a_1 pode ser considerado como tempo otimista, pois é o menor tempo possível na realização de uma atividade. E, a_3 pode ser considerado como tempo pessimista, pois é o maior tempo possível na realização de uma tarefa.

2.1. OPERAÇÕES COM NÚMEROS FUZZY TRIANGULARES

Dentre as diversas operações algébricas existente para os TFNs, é utilizado no algoritmo somente a operação de adição com TFN, sendo esta definida abaixo.

Seja dois TFNs A e B, com $A=(a_1, a_2, a_3)$ e $B=(b_1, b_2, b_3)$, então:

$$A+B=(a_1, a_2, a_3) + (b_1, b_2, b_3) = (a_1 +b_1, a_2 +b_2, a_3 +b_3).$$

2.2. ORDENAÇÃO DE NÚMEROS FUZZY TRIANGULARES

A ordenação entre os TFNs é outro recurso utilizado no desenvolvimento do algoritmo, pois é necessário, entre vários números triangulares Fuzzy, definir quais são os maiores, e desta forma, estabelecer uma ordenação linear decrescente. A seguir será mostrado 3 critérios para a ordenação dos TFN extraídos de KAUFMANN e GUPTA (1988). Se o primeiro critério não propiciar uma única ordem linear, o segundo critério é utilizado, se este também não for suficiente, utiliza-se, então, o terceiro critério, a fim de se obter uma seqüência ordenada.

2.2.1 - PRIMEIRO CRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO LINEAR

O primeiro critério consiste em definir, para um número triangular Fuzzy, um “ordinary representative”, ou seja, definir um número real que represente o número triangular fuzzy correspondente. Este número é calculado conforme a expressão (1).

$$\bar{A} = \frac{a_1 + 2a_2 + a_3}{4} \quad (1)$$

onde $A=(a_1, a_2, a_3)$ é um TFN.

O TFN que possuir o maior \bar{A} será considerado maior.

2.2.2 - SEGUNDO CRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO LINEAR

Sendo um TFN definido com $A=(a_1, a_2, a_3)$, o segundo critério usa como parâmetro o número a_2 , cuja sua pertinência é igual a 1. O TFN que possuir maior a_2 será considerado maior, desde que possuam o mesmo valor para \bar{A} .

2.2.3 - TERCEIRO CRITÉRIO PARA ORDENAÇÃO LINEAR

Pode-se considerar que cada TFN diverge entre o seu valor a_2 , desta maneira, se dois TFN possuírem o mesmo \bar{A} e o mesmo valor de a_2 , então, será considerado maior aquele que possuir maior divergência entre o seu valor de a_2 . A divergência de um TFN é calculada fazendo-se $a_3 - a_1$.

3. INCERTEZAS NA PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES

MOCCELLIN (1992) afirma que a programação da produção é fortemente dependente das particularidades do problema em questão e da distribuição dos dados, que neste caso são os tempos de processamento das tarefas nas diversas máquinas.

Desta forma, a matriz com os tempos de processamento de cada operação em cada máquina, semelhante a matriz da figura 4, deve fornecer um *retrato* muito próximo da realidade que acontece na produção.

	Máquinas (m)			
Peças (n)	1	2	3	4
1	9	4	5	8
2	9	3	10	1
3	5	9	8	10

Figura 4 - Matriz de tempos de operação

A teoria fuzzy propõe para a introdução de incertezas, nos tempos de operação das atividades envolvidas no processo, que o especialista avalie as condições que envolvem as atividades a serem analisadas, e pondere entre as divergências que podem ocorrer no tempo de operação. Entretanto esta é uma tarefa árdua, especialmente quando existem vários tempos de operações envolvidos na atividade que se deseja avaliar.

Desse modo, foi desenvolvido uma metodologia com o intuito de auxiliar o especialista a ponderar entre os tempos de operações existentes na atividade em questão. Esta metodologia baseia-se na cronoanálise proposta por BARNES (1986).

É fato que cada tempo de operação é obtido através de uma média realizada entre diversas tomadas de tempo, e a esta média são acrescentados ponderações sobre habilidade, esforço e fadiga do operador que executa a operação.

A metodologia desenvolvida propõe que para habilidade, esforço e fadiga considerados normais, o resultado desse tempo deverá ser atribuído ao valor a_2 (de um TFN), ou seja, de maior pertinência, pois existe grande possibilidade do operador atender as características de habilidade, esforço e fadiga normais. Para habilidade e esforço elevado e fadiga baixa, o resultado desse tempo deverá ser atribuído ao valor a_1 (otimista), pois um operador com essas características realizaria o trabalho em um tempo menor. Para habilidade e esforço baixo e fadiga alta, o resultado desse tempo deverá ser atribuído ao valor a_3 (pessimista), pois um operador com essas características necessitaria de um tempo maior para realizar tais tarefas.

A matriz peças x máquinas, do problema de programação de operações, visto anteriormente na figura 4, acrescentado as incertezas pode ser visto agora na figura 5. Para a peça 1 processada na máquina 1, tem-se o tempo de operação de (8,9,11), o que significa que existe grande possibilidade

da peça 1 ser processada em um tempo de 9 u.t., entretanto este tempo pode variar entre os tempos otimista e pessimista (8 e 11 respectivamente) conforme a variação da habilidade, esforço e fadiga do operador.

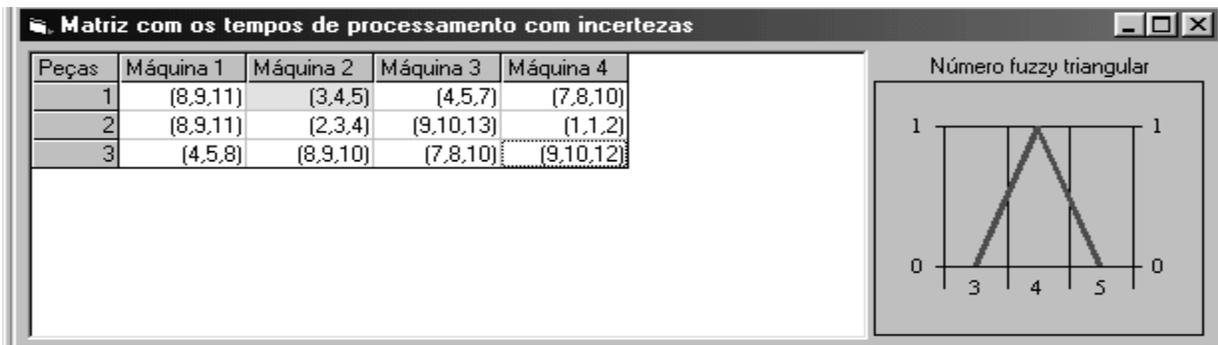


Figura 5 - Matriz de tempos de processamento acrescentado as incertezas

Note que para facilitar os cálculos, foi desenvolvido um software para a metodologia proposta. Basta digitar as diversas tomadas de tempo para cada operação que o software calcula os tempos, em forma de números triangulares, automaticamente. Cabe ressaltar que o especialista pode interagir com o sistema, alterando qualquer um dos tempos que julgar necessário.

4. ALGORITMO NEH COM INCERTEZAS

Neste algoritmo somente após o término do processamento de uma tarefa sobre um determinado equipamento, é que esta será liberada para ser processada em um equipamento posterior. Segundo NAWAS, ENSCORE e HAM (1983), este método baseia-se no tempo total gasto na execução de uma tarefa, onde tarefas que necessitam de maior tempo para serem processadas, recebe prioridade sobre as que requerem menores tempo.

Este algoritmo é heurístico, cujo objetivo é produzir um programa viável, com resultados próximo do ótimo. O algoritmo NEH é detalhado na tabela 1 abaixo.

Passo 1:	Calcule, para cada tarefa, a soma dos tempos de processamento em todas as máquinas.
Passo 2:	Ordene as n tarefas de acordo com os valores decrescentes das somas dos tempos de processamento.
Passo 3:	Selecione as duas primeiras tarefas da ordenação, seqüenciando-as de maneira a minimizar a duração total da programação, considerando-se somente essas duas tarefas.

Passo 4:	<p>Para k variando de 3 a n, faça:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selecione a tarefa que ocupa a k-ésima posição na ordenação obtida no passo (2); • Examine as k possibilidades de acrescentar a tarefa na seqüência até então obtida, adotando aquela que leva a uma menor duração total da programação parcial.
----------	--

Tabela 1 – Algoritmo NEH

O número total de iterações desse algoritmo é obtido pela equação (2)

$$\frac{n(n+1)}{2} - 1 \quad (2)$$

onde n é o número de tarefas a serem processadas.

Percebe-se desta maneira que o número total de iterações para atingir a solução final se reduz bastante, uma vez que se fosse testado todas as possíveis combinações teríamos $n!$.

Para exemplificar o algoritmo comentado, utilizou-se a matriz com os tempos de processamento das operações mostrada anteriormente na figura 5.

Conforme o algoritmo, como primeiro passo, calcula-se os tempos totais de processamento de cada peça.

$$T_1 = (8,9,11) + (3,4,5) + (4,5,7) + (7,8,10) = (22,26,33)$$

$$T_2 = (8,9,11) + (2,3,4) + (9,10,13) + (1,1,2) = (20,23,30)$$

$$T_3 = (4,5,8) + (8,9,10) + (7,8,10) + (9,10,12) = (28,32,40)$$

Observa-se que a soma dos tempos de operação de cada peças foi efetuada obedecendo as regras de adição para números triangulares fuzzy, conforme visto no item 2.1. A seguir os tempos de operação são colocados em ordem decrescente conforme as regras de ordenação visto no item 2.2.

Para T_1 , temos que $\bar{T}_1 = \frac{22 + 2 \cdot 26 + 33}{4} = 26.75$

Para T_2 , temos que $\bar{T}_2 = \frac{20 + 2 \cdot 23 + 30}{4} = 24$

Para T_3 , temos que $\bar{T}_3 = \frac{28 + 2 \cdot 32 + 40}{4} = 33$

Portanto apenas com o primeiro critério é possível obter a ordenação linear para os tempos de operações das peças, resultando na seqüência decrescente 3, 1, 2. Com isto, calcula-se o melhor sequenciamento parcial para as peças 1 e 3, conforme mostrado nas figuras 6 e 7 a seguir.

Máquinas (m)				
Peças (n)	1	2	3	4
1	(8,9,11) / (8,9,11)	(3,4,5) / (11,13,16)	(4,5,7) / (15,18,23)	(7,8,10) / (22,26,33)
3	(4,5,8) / (12,14,19)	(8,9,10) / (20,23,29)	(7,8,10)/(27,31,39)	(9,10,12)/(36,41,51)

Figura 6 - Tempo de fluxo de operação para seqüência parcial 1-3

Máquinas (m)				
Peças (n)	1	2	3	4
3	(4,5,8) / (4,5,8)	(8,9,10) / (12,14,18)	(7,8,10)/(19,22,28)	(9,10,12)/(28,32,40)
1	(8,9,11) / (12,14,19)	(3,4,5) / (15,18,24)	(4,5,7) / (23,27,35)	(7,8,10)/(35,40,50)

Figura 7 - Tempo de fluxo de operação para seqüência parcial 3-1

Pode-se observar que a melhor seqüência parcial obtida acima foi a das peças 3-1. Esta seqüência possui o tempo de fluxo de operação é igual a (35,40,50). Nos próximos passos a posição relativa das peças 1 e 3 deveser, então, primeiro a peça 3 e depois a peça 1.

Seguindo o algoritmo, seleciona-se a 3ª peça da lista de ordem decrescente de tempo, que é a peça número 2. Calcula-se, então, a melhor seqüência parcial colocando a peça 2 nas 3 posições possíveis. Estas seqüências são demonstradas nas figuras 8, 9, 10 a seguir.

Máquinas (m)				
Peças (n)	1	2	3	4
3	(4,5,8) / (4,5,8)	(8,9,10) / (12,14,18)	(7,8,10)/(19,22,28)	(9,10,12)/(28,32,40)
1	(8,9,11) / (12,14,19)	(3,4,5) / (15,18,24)	(4,5,7) / (23,27,35)	(7,8,10)/(36,40,50)
2	(8,9,11) / (19,23,30)	(2,3,4) / (21,26,34)	(9,10,13)/(31,37,48)	(1,1,2)/(36,41,52)

Figura 8 - Tempo de fluxo de operação para seqüência parcial 3-1-2

Máquinas (m)				
Peças (n)	1	2	3	4
3	(4,5,8) / (4,5,8)	(8,9,10) / (12,14,18)	(7,8,10)/(19,22,28)	(9,10,12)/(28,32,40)
2	(8,9,11) / (12,14,19)	(2,3,4) / (14,17,23)	(9,10,13)/(28,32,41)	(1,1,2)/(29,33,43)
1	(8,9,11) / (20,23,30)	(3,4,5) / (23,27,35)	(4,5,7) / (32,37,48)	(7,8,10)/(39,45,58)

Figura 9 - Tempo de fluxo de operação para seqüência parcial 3-2-1

Peças (n)	Máquinas (m)			
	1	2	3	4
2	(8,9,11) / (8,9,11)	(2,3,4) / (10,12,15)	(9,10,13)/(19,22,28)	(1,1,2)/(20,23,30)
3	(4,5,8) / (12,14,19)	(8,9,10) / (20,23,29)	(7,8,10)/(27,31,39)	(9,10,12)/(36,41,51)
1	(8,9,11) / (20,23,30)	(3,4,5) / (23,27,35)	(4,5,7) / (31,36,46)	(7,8,10)/(43,49,61)

Figura 10 - Tempo de fluxo de operação para seqüência parcial 2-3-1

Pelos cálculos obtidos no desenvolvimento do algoritmo acima, observa-se que a melhor seqüência para a produção das peças é a 3-1-2, que determina um tempo de fluxo de operação igual a (36,41,52).

O resultado pode ser visto através dos gráficos de *Gantt* nas figuras 11, 12 e 13.

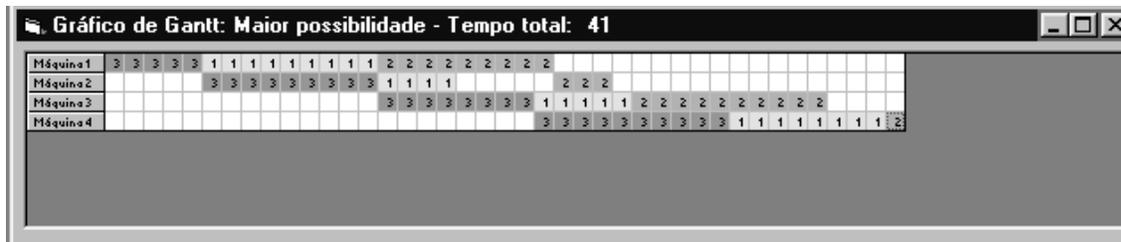


Figura 11 – Gráfico de *Gantt*: tempo de maior possibilidade

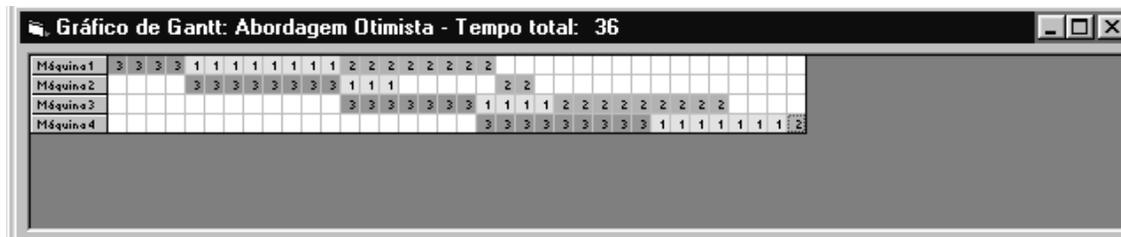


Figura 12 – Gráfico de *Gantt*: tempo otimista



Figura 13 – Gráfico de *Gantt*: tempo pessimista

Note que para facilitar a interpretação do resultado pelo gráfico de *Gantt*, este foi dividido em 3 gráficos. O primeiro gráfico, na figura 11, mostra o resultado baseando-se nos tempos otimistas de cada tarefa. O segundo gráfico, na figura 12, mostra o resultado considerando-se os tempos de maior possibilidade de ocorrência em cada tarefa. Já o terceiro gráfico, na figura 13, mostra o resultado baseando-se nos tempos pessimistas de cada tarefa.

5. CONCLUSÃO

A utilização de incertezas, através de números triangulares fuzzy, no algoritmo apresentado neste artigo, foi realizada sem que ocorresse modificações na estrutura original de cálculo do algoritmo. Foi necessário apenas adaptar a matemática fuzzy, utilizada para números triangulares, nos cálculos empregados para o desenvolvimento do algoritmo.

O uso da teoria de cronoanálise, utilizada na obtenção da matriz com os tempos de processamento de cada operação, facilita a introdução de incertezas nesses tempos, uma vez que esta teoria leva em consideração aspectos como habilidade, esforço e fadiga do operador.

O resultado final, ou seja, o menor tempo de fluxo de operação obtido, é um número triangular fuzzy, igual a (36,41,52). Este resultado exprime o intervalo de tempo que pode variar a execução total das operações, levando em consideração as incertezas envolvidas em todas as atividades. Desta forma o decisor tem uma idéia mais abrangente do que pode acontecer no decorrer da produção, não ficando limitado a um tempo determinístico que um algoritmo de programação da produção costuma gerar.

Finalizando, é importante ressaltar, que o software desenvolvido também poderá ser utilizado como base para incorporar a questão da incerteza, em diversos outros algoritmos de programação da produção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, K. R. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wileys & Sons, Inc., New York, 1974.
- BARNES, R. M. *Estudo de Movimentos e de Tempos: Projeto e Medida de Trabalho*. Tradução da 6ª edição americana. Editora Edgard Blücher Ltda, 1986
- BURBIDGE, J. L. *The Introduction of Group Technology*. William Heinemann Ltd., London, 1975.
- COX, E. *The Fuzzy Systems Handbook*. Academic Press Limited, Estados Unidos, 1994.
- FORTEMPS, P. *Jobshop Scheduling with Imprecise Durations: A Fuzzy Approach*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 5, NO. 4, November, 1997.
- HAPKE, M.; JASKIEWICZ, A.; SLOWINSKI, R. *Fuzzy Project Scheduling System for Software Development*. Fuzzy Sets Syst., Vol. 67, pp. 101-117, 1994.
- ISHII, H.; TADA, M.; MASUDA, T. *Two Scheduling Problems with Fuzzy Due Dates*. Fuzzy Sets Syst., Vol. 46, pp. 339-347, 1992.

ISHIBUCHI, H.; YAMAMOTO, N.; MURATA, T.; TANAKA, H. *Genetic Algorithms and Neighborhood Search Algorithms for Fuzzy Flowshop Scheduling Problems*. Fuzzy Sets Syst., Vol. 67, pp. 81-100, 1994.

KAUFMANN, A. *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*. Academic Press Limited, Estados Unidos, 1975.

KAUFMANN, A. and M. M. GUPTA, *Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science*. Elsevier Science Publishers, New York/NY, USA, 1988.

NAWAS, M.; ENSCORE, E. & HAM, I. "A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem". *OMEGA - the int. J. of Mgnt S.* Vol. 11 No. 1 pp. 91-95, 1983.

MACCARTHY, B. L.; LIU, J. *Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling*. International Journal of Production Research, Vol. 31, NO. 1, pp. 59-79, 1993.

MOCCELIN, J. V. *Uma Contribuição à Programação de Operações em Sistemas de Produção Intermitente Flow-Shop*. Tese de livre docência, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP: EESC-USP, 1992

MCCAHERON, C. S.; LEE, E. S. *Fuzzy Job Sequencing for a Flow Shop*. Eur. J. Operational Res., Vol. 62, pp. 294-301, 1992.

MCNEILL, F.M.; THRO, E. *Fuzzy Logic a Practical Approach*. Academic Press Limited, Estados Unidos, 1994.

MONTEVECHI, J.A.B. *Contribuição para Identificação de Similaridades entre Peças - Abordagem Baseada na Lógica Fuzzy em Sistemas de Apoio Computadorizados - Tese de Doutorado*. São Paulo - SP, 1995

TERANO, T.; ASAI, K.; SUGENO, M. *Applied Fuzzy Systems*. Academic Press Limited, Estados Unidos, 1994.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8, p. 338-353, 1965.