



## **Utilização da Lógica Fuzzy como ferramenta de apoio nas tomadas de decisão para o Planejamento de Controle da Produção**

Hishi HK

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.*

**Resumo.** Os desenvolvimentos tecnológicos são muitas vezes norteados por uma política de redução de custos das atividades industriais, garantia da qualidade total, prazos de entrega e melhoramento contínuo dos processos industriais. Dentro deste contexto, o paradigma da manufatura enxuta, com bases nas inovações dos processos industriais, ganha destaque no mundo globalizado. Verifica-se que os sistemas inteligentes de automação e as tecnologias de informação fornecem a base que sustenta tal paradigma, neste contexto, as tomadas de decisão do departamento de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é fundamental para o alcance dos resultados otimizados. A definição do sequenciamento e as prioridades de produção é um fator determinante para obter um planejamento adequado com a finalidade de não comprometer o plano mestre de produção e os prazos de entregas ao cliente. O presente trabalho tem como objetivo apresentar a utilização da Lógica Fuzzy como ferramenta de apoio nas tomadas de decisão para priorizações do sequenciamento de produção, conforme a maior margem de contribuição na cadeia produtiva da organização. O método utilizado consiste nos fundamentos da Lógica Fuzzy e nos conceitos do setor de Planejamento e Controle da Produção estudados nas literaturas. Os resultados obtidos consiste no sequenciamento mais eficaz e com maior valor agregado para a corporação.

**Palavras chaves:** PCP, Sequenciamento de Produção, Prioridades de Produção & Plano Mestre.

**Introdução.** As atividades desenvolvidas no setor de planejamento de uma indústria estão cada dia mais complexas, devido aos avanços das tecnologias de automação e informação, as exigências de controles de processos internos estão mais eficazes e tornam-se fundamentais para suprir as demandas do mercado. A definição do plano mestre de produção depende da análise crítica das variáveis dos processos e das tomadas de decisão dos analistas do departamento de planejamento e controle da produção.

Segundo Santos, a existência do indeterminismo em relação à ocorrência e sequência de eventos em um sistema produtivo proporciona a complexidade da execução simultânea em processos industriais. A multiplicidade de acontecimento sem prévia determinação possibilita a convergência para estados indesejáveis na operação do processo.(1)



O bloqueio permanente da sequência operacional das atividades, devido às restrições de insumos, recursos e/ou informações induz o auto-travamento ou *deadlock*.(2)

Para o funcionamento adequado do Planejamento e Controle da Produção (PCP), é primordial que o mapeamento dos métodos produtivos da empresa estejam bem definidos. As restrições de materiais e gargalos de processos são fatores decisivos em uma análise qualitativa ou quantitativa.

O PCP executa funções que se tornam cada vez mais importante para os processos produtivos, através das informações adquiridas e decisões tomadas, realizam planejamento de longo, médio e curto prazo, visando resultados competitivos para as empresas.(3)

**Planejamento e controle da produção.** Com a evolução das tecnologias e aumento da competitividade entre as empresas, visando atender um mercado consumidor cada dia mais exigente, as indústrias buscam obter produtos com qualidade total e custos de processos reduzidos. O elevado número de itens, complexidade dos processos de produção e restrições de insumos, exige cada vez mais que o departamento de planejamento e controle da produção tenha ferramentas/sistemas (*software*) e colaboradores eficientes; a qualidade da informação é fator determinante para reduzir os impactos na produção e conseqüentemente nos prazos de entrega ao cliente.

Segundo Lustosa, o PCP surgiu no início do século XX, tendo como um de seus pioneiros Henri Gantt, que desenvolvia cálculos manuais baseados no tempo e na capacidade de produção.(4)

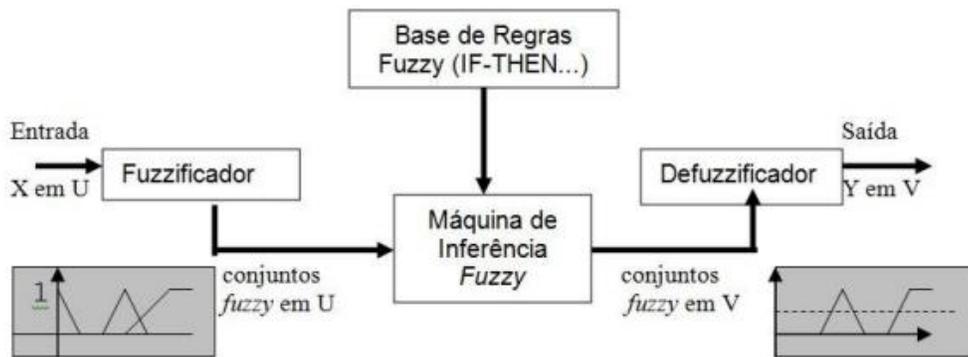
O setor tem a responsabilidade de suprir várias necessidades do sistema produtivo, tais como: A redução de custos dos estoque (matéria-prima e produtos acabados), melhorar o *lead time* da produção e absorver as mudanças na demanda sem impactar os prazos de entrega (4).

A função do PCP dentro de uma empresa é analisar e filtrar todas as informações recebidas dos departamentos de Engenharia do Produto, Engenharia de Processo, Qualidade, Manutenção, Suprimentos e Marketing, e realizar um planejamento adequado para a produção. Em resumo, o planejamento e controle da produção determina o que vai ser produzido, quando vai ser produzido, onde vai ser produzido e quem vai produzir.(5)

A necessidade da existência de planos de produção cada vez mais otimizadas exige que as técnicas estejam em constante evolução e aprimoramento.

**Lógica Fuzzy.** O engenheiro eletrônico Lotfi A. Zadeh, professor de teoria dos sistemas na Universidade da Califórnia (Berkeley), em 1965 publicou um artigo sobre a teoria dos conjuntos nebulosos para tratar das incertezas não probabilísticas. As primeiras pesquisas ligados a Lógica Fuzzy tinham como objetivo possibilitar a reprodução de análise (pensar), tomar decisões baseando em informações não precisas ou ambíguas, com a finalidade de reproduzir o raciocínio da mente humana.

A diferença da lógica fuzzy da lógica para a booleana é a capacidade de aproximação do mundo real onde as respostas extremas não são as únicas soluções. O sistema fuzzy é composto de quatro componentes conforme a fig. 01, descrita por Lin-Xin. (6)



**Figura 01.** Organização básica de um sistema fuzzy.

**Sistema Fuzzy.** O sistema baseado em regras fuzzy ele é composto por um processador de entrada que tem executa a fuzzificação dos dados iniciais, um sistema de regras, uma máquina de inferência e um processador de saída que disponibiliza um vetor de saída. O sistema fuzzy é baseado em regras, memórias associativas e sistema de inferência fuzzy.(7)

**Módulo de Fuzzificação.**Executa o mapeamento entre os valores numéricos das variáveis de entrada do sistema para os graus de compatibilidade com conceitos linguísticos. A participação de um especialista na área do fenômeno é de suma importância para colaborar na estruturação das funções de pertinências para a descrição das variáveis de entradas. (8)

Na existência de atribuições de valores linguísticos é necessário a utilização da fuzzificação, descrições vagas e qualitativas, definidas por funções de pertinências as variáveis de entrada.

A fuzzificação realiza o pré-processamento de categorias ou classes de sinal de entrada, reduzindo consideravelmente o número de valores a serem processados.(9)

**Base de Regras.** A base de regras tem a função de relacionar logicamente as informações que formam a base de conhecimento do sistema fuzzy. Conforme a precisão das informações a quantidade de relações fuzzy que representam a base de conhecimento será menor. (8)

**Máquina de Inferência.** A máquina de inferência executa o processamento fuzzy. Nessa operação cada proposição fuzzy é traduzida matematicamente por meio das técnicas de “raciocínio aproximado”, ou seja, as operações de conjunto fuzzy.(8)

**Método de Mandani.** Método de inferência utilizado como padrão proposto por Mandani e Assilian (1975), utilização dos conceitos da lógica fuzzy em processamento de conhecimento. Os princípios de produção em um modelo de Mandani apresentam relações fuzzy tanto em suas situações como em suas ações.

**Defuzzificador.** O módulo de Defuzzificação converte o conceito linguístico, obtido pelo procedimento de inferência, em um valor numérico definido, o qual é utilizado como saída efetiva do sistema fuzzy.(8)

A Lógica Fuzzy atualmente é utilizada em aplicações de problemas de alta complexidade, devido ao grau de dificuldade das análises os resultados aproximados são aceitáveis. O método é aplicado em controle de processos e auxílio à tomadas de decisões. Seja a abordagem do carregamento finita ou infinita, quando a ordem de serviço deve ser executada, as decisões devem ser tomadas conforme as prioridades de execução das tarefas. Essa atividade é denominada sequenciamento.(10)

**Métodos e resultados.** O presente trabalho tem como objetivo utilizar a lógica fuzzy como ferramenta de suporte para os profissionais do setor de planejamento e controle da produção auxiliando nas tomadas de decisões, padronizando o sequenciamento conforme as prioridades previamente determinadas.

Tendo em vista o grau de dificuldade e números de variáveis que interferem nos resultados de um plano mestre de produção a ferramenta possibilitara a padronização de um sequenciamento adequado conforme os interesses da organização. O software Matlab foi utilizado para o desenvolvimento do modelo de sequenciamento através da lógica fuzzy, através do tollbox Logic, (2010a).

O estudo foi realizado através da análise de variáveis de entradas pré determinadas e definido como interesse da corporação o melhor sequenciamento para se obter a maior margem de contribuição para a empresa.

### **Variáveis de Entrada e Saída do Processo:**

**Dados de Entrada.** Prazo de Entrega (PE): a data de entrega ao cliente pode ser de curto, médio ou longo prazo.

Tempo de Ciclo (TC): o ciclo necessário para produzir o produto pode ser baixo, médio ou alto conforme a especificação do item.

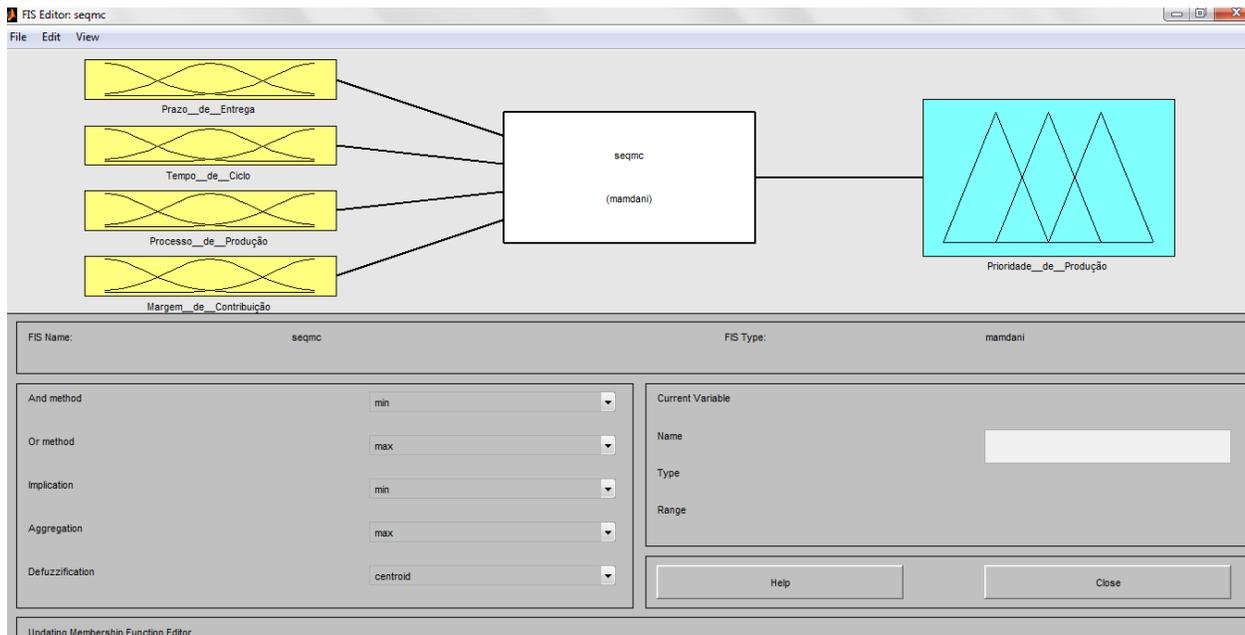
Processo de Produção (PP): o processo para fabricação pode ser simples ou difícil dependendo das especificações do produto.

Margem de Contribuição (MC): o valor agregado do produto pode ser baixo, médio ou alto dependendo do item a ser fabricado.

**Saída.** Prioridade de Produção (PP): conforme as variáveis do processo a prioridade de produção pode ser alterada, considerando como foco da organização o sequenciamento que proporcione a maior margem de lucro.

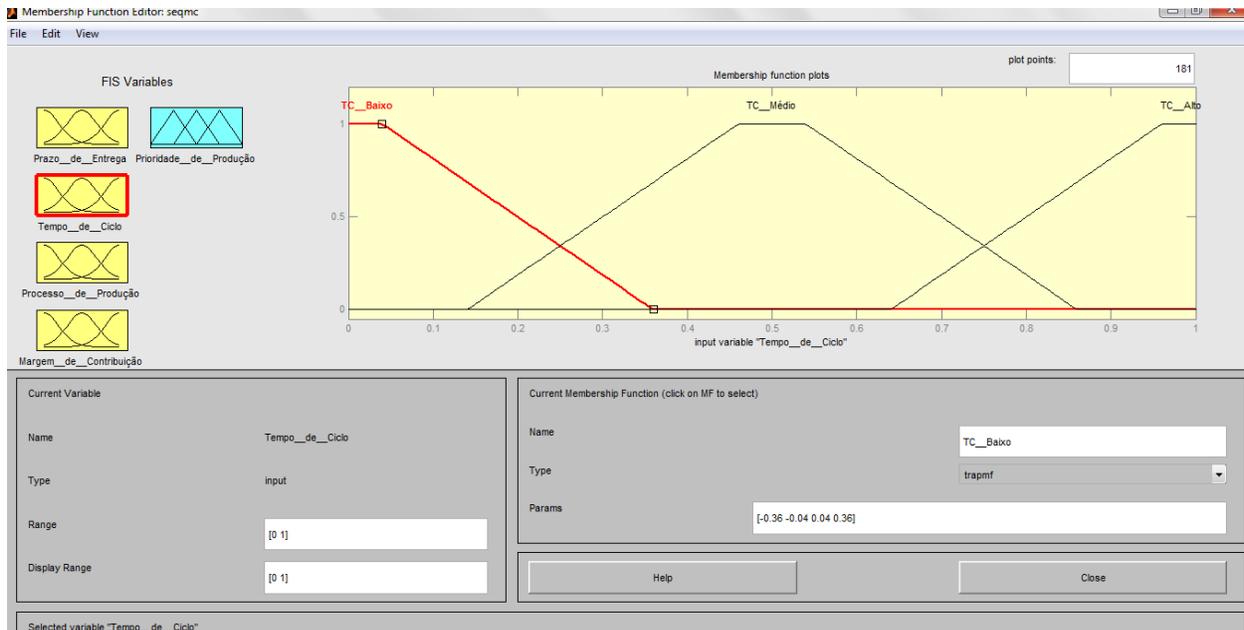
### Produtos e margens de contribuição:

Produto A : margem de contribuição Alta; Produto B: margem de contribuição Média; Produto C: margem de contribuição Baixa. Na fig. 02, temos o bloco fuzzy (Matlab), com as variáveis de entrada e saída do processo, na operação utilizamos a máquina de inferência com o método de Mandani e a operação lógica “and” (intersecção).



**Figura 02.** Bloco fuzzy, variáveis de entrada e saída.

Na figura 03, temos o bloco de ajuste dos parâmetros:



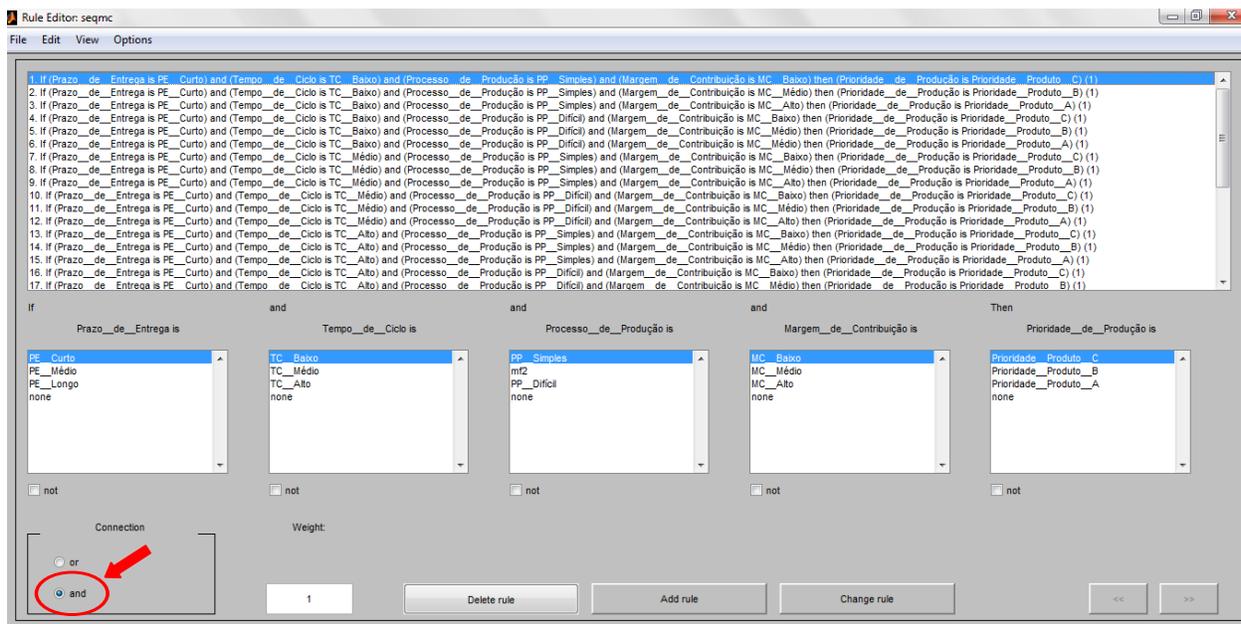
**Figura 03.** Bloco fuzzy, ajustes dos parâmetros.

**Parâmetros pré determinados para prioridades de produção:**

1. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
2. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)
3. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
4. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
5. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)
6. **Se** (PE é Curto) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
7. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
8. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)
9. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
10. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
11. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)
12. **Se** (PE é Curto) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
13. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
14. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)
15. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
16. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir C)
17. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Médio) **então** (Produzir B)

18. **Se** (PE é Curto) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Alto) **então** (Produzir A)
19. **Se** (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
20. **Se** (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
21. **Se** (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
22. **Se** (PE é Médio) e (TC é Baixo) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
23. **Se** (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
24. **Se** (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
25. **Se** (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
26. **Se** (PE é Médio) e (TC é Médio) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
27. **Se** (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
28. **Se** (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Simples) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
29. **Se** (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC é Baixo) **então** (Produzir B)
30. **Se** (PE é Médio) e (TC é Alto) e (PP é Difícil) e (MC não é Baixo) **então** (Produzir A)
31. **Se** (PE é Longo) **então** (Produzir A)

No Matlab foram inseridos todas as possibilidades de produção, fig. 04, conforme a prioridade determinada pelos analistas do planejamento e controle da produção de acordo com as diretrizes da organização. A regra é formada por estrutura do tipo se/então, estruturadas na forma se antecedente então consequente, permutação entre todos os conjuntos de entradas.



**Figura 04.** Bloco fuzzy, possibilidades de produção.

Na tabela 05, foram determinados valores para o prazo de entrega, tempo de ciclo, processo de produção e margem de contribuição e através da lógica fuzzy resultou o tipo de material a ser produzido conforme os parâmetros pré definidos na fig. 04.

**Tabela de sequência de produção e resultado da análise do sistema.**

Sequência de Produção	PE	TC	PP	MC	PriorProd(fuzzificado)	Análise do Sistema
Ordem 1	4	10	2	23	15,0053	ProdA
Ordem 2	6	23	3	2	68,5998	ProdC
Ordem 3	9	13	3	18	27,3276	ProdA
Ordem 4	18	4	6	2	36,8264	ProdB
Ordem 5	25	11	18	16	15,0061	ProdA
Ordem 6	6	24	12	21	22,2925	ProdA
Ordem 7	15	15	13	13	15,0067	ProdA
Ordem 8	2	6	11	29	15,0056	ProdA
Ordem 9	3	13	16	4	74,9957	ProdC
Ordem 10	5	5	18	9	58,3685	ProdB
Ordem 11	2	7	21	23	15,0053	ProdA
Ordem 12	8	18	21	8	50,2605	ProdB
Ordem 13	19	14	23	15	15,0096	ProdA
Ordem 14	17	28	26	7	34,5749	ProdB
Ordem 15	22	26	28	24	15,0061	ProdA

**Tabela 05.** Variáveis de entrada e resultado obtido através da lógica fuzzy.

**Conclusão.** O presente trabalho evidenciou a importância da utilização do software Matlab, através da lógica fuzzy para validar a padronização do sequenciamento de ordens da produção de acordo com os parâmetros iniciais pré definidos pelo analista do departamento de planejamento e controle da produção. Os resultados obtidos através dos cálculos da lógica fuzzy eliminou a possibilidade de ocorrências de falhas operacionais devido ao planejamento inadequado, resultante de tomadas de decisões não conformes. O estudo foi realizado com apenas quinze ordens de produção e poucas variáveis de entrada e saída, para trabalhos futuros em sistemas mais complexos o comportamento dos parâmetros e variáveis deverão ser analisados de acordo com a influência em determinado processo.

**Agradecimentos.** Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pela oportunidade de aprimorar o conhecimento pessoal e profissional.

**Referências Bibliográficas.**

(1) Santos Filho, D.J. Aspectos do Projeto de Sistemas Produtivos. 2000. 000p.Tese (livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.  
 (2) Li, Z.W. e Zhou, M.C, Wu, N. A Survey and Comparasion of Petri Net-Base Deadlock Prevention Policies for Flexible Manufacturing Systems. Em: IEEE Transactions on Systems,



- Man, and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, vol.38, no.2, March. 2008b.pp.173-188.
- (3) Fernandes,F.C.F.; et al. Gestão da Produção. Vol.14 no.1 São Carlos Jan/Abr. 2007
  - (4) Lustosa, L.; Mesquita, M. A.; Quelhas, O.; Oliveira, R. Planejamento e controle da produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
  - (5) Veggian, V. A.; Silva, T. F. Planejamento e controle da produção. Revista FAEF. 2015.
  - (6) Lin-Xin, W. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice-Hall, 1997.
  - (7) Haji, A. & Assadi, M. Fuzzy expert systems ad challenge of new product pricing. Computers & Industrial Engineering, v.56, p. 616-630, 2009.
  - (8) Barros, L. C.; Bassanezi, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática. 2. Ed. Gráfica Central da Unicamp. Campinas, SP: UNICAMP/IMECC, 2010.
  - (9) Simões, M. G. & Shaw, L. S. Controle e modelagem fuzzy. 2. ed. Editora Blucher, 2007.
  - (10) Slack, N.; Chambers, S. & Johnston, R. Administração da Produção. 3. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2009.
  - (11) Zadeh, L. A. Fuzzy Logic. IEEE Computer Mag., p. 83-93, abr. 1988
  - (12) Hogarth, R. M.; Soyer, E. Providing information for decision making: contrasting description and simulation. Journal of Applied Research in Memory and Cognition, v. 4, n. 3, p. 221-228, 2015.
  - (13) LI, J.; Zhang, H. M. A generalized queuing model and its solution properties. Transportation Research Part B: Methodological, v. 79, p. 78-92, 2015.



### Anexo 01: Programa Matlab

% Os valores das variáveis são declarados no arquivo varmc.m, de acordo com as 15 ordens de produção. Fuzzificação das variáveis gerando os resultados finais. (carregar o primeiro arquivo)

```
close all  
clear all  
clc
```

```
Prazo__de__Entrega = [2 2.5 3 4 1 4 5 6 3.5  
5.5 7 8 9 7.5 8];
```

```
Tempo__de__Ciclo = [2 2.5 3 4 1 4 5 6 3.5  
5.5 7 8 9 7.5 8];
```

```
Processo__de__Producao = [2 3 3 6 8 2 3 1  
6 8 2 1 3 6 8];
```

```
Margem__de__Contribuicao = [3 2 8 2 6 1 3  
9 4 5 3 8 5 7 4];
```

```
Total = [Prazo__de__Entrega'  
Tempo__de__Ciclo'  
Processo__de__Producao'  
Margem__de__Contribuicao']
```

%Declaração do sistema Fuzzy

```
Cass = readfis('seqmc');
```

%Resultado do sistema Fuzzy

```
sequencia_fuzzy = (evalfis(Total,Cass))
```

% Mudança dos valores fuzzificados para outro vetor de saída, arquivo mcout.m

(carregar o segundo arquivo)

```
n = 1;
```

```
s = 1;
```

```
dima = size(sequencia_fuzzy);
```

```
out = dima(1);
```

```
while n <= dima(1)
```

```
if out >= 0
```

```
cass_out(n,1) = sequencia_fuzzy(n,1);
```

```
end
```

```
n = n+1;
```

```
end
```

```
cass_out
```

% arquivo tdmc.m, resultado dos valores fuzzificados e auxílio na tomada de decisão.

```
f = {'Resultado_Fuzzy','Decisao_PCP'};
```

```
n1 = 1;
```

```
while s<= dima(1,1)
```

```
if cass_out(s) >= 0 & cass_out(s)<=30
```

```
c={cass_out(s),'Prioridade__Produto__A'};
```

```
outx = cell2struct(c,f,2)
```

```
elseif cass_out(s) >= 30.1 & cass_out(s) <= 60
```

```
m = {cass_out(s),'Prioridade__Produto__B'};
```

```
outx = cell2struct(m,f,2)
```

```
elseif cass_out(s) >= 60.1 & cass_out(s) <= 90
```

```
m = {cass_out(s),'Prioridade__Produto__C'};
```

```
outx = cell2struct(m,f,2)
```

```
end
```

```
s = s+1;
```

```
n1 = n1+1;
```

```
end
```

```
outx;
```



**Abstract.** Technological developments are often guided by a policy of cost reduction of industrial activities, total quality assurance, delivery times and continuous improvement of industrial processes. Within this context, the paradigm of lean manufacturing, based on the innovations of industrial processes, stands out in the globalized world. It can be seen that intelligent automation systems and information technologies provide the basis for such a paradigm. In this context, the decisions of the Planning and Production Control Department (PCP) are fundamental to the achievement of optimized results. The definition of sequencing and production priorities is a determining factor in order to achieve adequate planning in order not to compromise the production master plan and the delivery times to the customer. The present work aims to present the use of Fuzzy Logic as a support tool in decision making for prioritization of production sequencing, according to the largest contribution margin in the production chain of the organization. The method used consists of the fundamentals of the Fuzzy Logic and the concepts of the Planning and Production Control sector studied in the literature. The results obtained are the most effective sequencing and with greater added value for the corporation

**Keywords.** *PCP, Production Sequencing, Production Priorities and Master Plan.*