

LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEÍCULOS

Sérgio Roberto Pinton Saragioto
srpsaragioto@uol.com.br
UNITAU

Pereira, Wilton Ney do Amaral
wilton.pereira@uol.com.br
UNITAU

Resumo: Este artigo tem como objetivo, demonstrar através de uma aplicação prática a utilização da lógica Fuzzy, implementada para realizar de maneira inteligente o controle de velocidade de um motor de corrente contínua de uma linha de montagem de agregados eixos de veículos comerciais.

Palavras Chave: Lógica Fuzzy - Controle - Velocidade do Motor - -

LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLADOR DE VELOCIDADE DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE EIXOS DE VEÍCULOS

1.Introdução

Conforme Chase et al (1995 p. 21) graças a linha de montagem o tempo de produção de peças sofreu um decréscimo significativo, permitindo que fosse possível produzir em maiores quantidades, refletindo essa eficiência nos preços dos produtos e tornando-os mais acessíveis a outras classes sociais.

A partir das linhas de montagem, iniciaram-se os processos de produção em série, de modo que o produto em fabricação fosse deslocado ao longo dos postos de trabalho sem que reduzisse a eficiência e mantendo a comunicação entre quatro componentes básicos, citados por Teixeira et al (2008 p. 31) que são: Componentes estandardizados; Movimento mecânico; Equipamento de precisão; Processos padronizados; Redução de Tempo.

Com isso as linhas de montagem passaram a ser um passo importante do processo de produção da indústria e uma preocupação para os administradores de produção, pois auxilia no aumento da eficiência do processo produtivo em série, permitindo que cada trabalhador se especialize em desempenhar uma etapa específica do processo de produção, além de implicar na existência em tempos de ciclos curtos e ser um elemento fundamental em sistemas produtivos orientados para a produção em série (TEIXEIRA et al, 2008).

Por essas razões, a linha de montagem passou a ser um dos focos de investimento em tecnologia por parte dos administradores, considerando que através de uma visão ampla nesse ponto do processo de produção, é possível garantir a qualidade e a eficiência de todos os processos produtivos seguintes (CHASE et al, 1995). A constante competitividade nos mercados de bens tem requeridos produtos com maiores performances. Como consequência desta evolução, os produtos estão sendo desenvolvidos para uma aplicação mais dedicada atendendo a singularidade dos clientes. Por esta razão uma variação no mix de produtos das linhas de montagens associada a diversificação de materiais e atividades é identificada, bem com, a busca de uma melhor produtividade para obtenção de um custo atrativo.

Em uma pesquisa qualitativa junto ao setor automotivo, fabricantes de veículos automotivos nacionais e os fornecedores de agregados para o trem de força, demonstrou o nível de aplicação das linhas de montagens nos processos de manufatura. A tabela 1

demonstra o atual nível das instalações de linhas de montagem com tração motorizada no Brasil.

Produto	Empresa	Automóveis	Caminhões	Ombus	Cabine	Motor	Eixos	Cambios
VEÍCULOS COMÉRCIAIS	IVECO							
	FORD							
	MAN LA							
	MERCEDES-BENZ							
	AGRALE							
	SCANIA							
	VOLVO							
	AGCO DO BRASIL COM. E IND. LTDA							
TRATORES	AGRALE S.A.							
	CASE BRASIL & CIA.							
	JOHN DEERE BRASIL S.A.							
	NEW HOLLAND LATINO AMERICANA LTDA							
	OUTRAS EMPRESAS							
	VALIHA DO BRASIL S.A.							
AGREGADOS	MERITOR							
	FTP - FIAT							
	DANA							
	MWM							
	SIFCO							
	ZF							
	CUMMINS EATON							

Tabela 1 - demonstra o atual nível das instalações de linhas de montagem

Associado a esta necessidade, o constante avanço das tecnologias, permite que encontremos disponível no mercado de controladores, uma tecnologia contendo um alto índice de confiabilidade e baixa manutenção. A disponibilidade dos recursos computacionais, a tecnologia da informação de alto desempenho, o conhecimento disseminado associado ao custo competitivo, permitem a redução da complexidade na implementação de uma vantagem competitiva advinda do processo de produção. Atualmente, os controladores inteligentes Fuzzy, ou aplicações Neuro-Fuzzy estão sendo tornando cada vez mais populares por sua fácil agregação da inteligência nos processos e de sua rápida implementação via o status da tecnologia.

Segundo Bittencourt e Osório (2002), os controladores com lógica fuzzy estão sendo utilizados amplamente em processos de diversas empresas. O controle de processo autônomo e inteligente, através de uma rede industrial no nível operacional, possibilita a intervenção instantânea, não sendo necessário remodelar um processo específico.

Este artigo tem como objetivo demonstrar os ganhos obtidos com a implantação da lógica fuzzy, em um controlador da velocidade para uma linha de montagem de eixos de veículos comerciais, agregado para aplicação em tratores.

Para realização do estudo, foram utilizadas pesquisas bibliográficas e exploratórias, buscando junto a linha montagem e diferentes autores, informações que comportem a realização dessa pesquisa e que possibilitem a obtenção de resultados. Para a demonstração dos resultados obtidos este artigo foi organizado nas seguintes etapas, conforme a implantação do controle:

- Descrição da organização do sistema produtivo da linha de montagem
- Estruturação do conjunto de informações Fuzzy
- Análise e pertinências das regras para o controle Fuzzy
- Defuzzificação: conversão dos resultados gerados pelas regras
- Definição do controle da linha de montagem e a determinação da frequência e velocidade do motor
- Resultados e conclusão

2. Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy é uma das ferramentas que mais vem sendo utilizada no controle de tempo em linhas de montagem. Surgiu com base na Teoria de Conjuntos Fuzzy, no ano de 1965, em que a primeira vez foi usado o termo “lógica Fuzzy” na publicação feita por Lotfi A. Zadeh nos Estados Unidos (MALUTTA, 2004).

Considera-se que a Lógica Fuzzy, trata de um raciocínio que busca classificar em números uma determinada realidade ou situação, que trabalha com muitas variáveis incertas e vagas, a fim de facilitar o trabalho ou manipulação dos computadores (SHAW, 2002).

No entanto, é considerada imprecisa, pois trabalha com aproximações de dados vagos (STURM, 2005).

Nesses casos, os dados coletados caracterizados como incertos são analisados de acordo com a regra implementada e aproximados por números para possibilitar a interpretação das máquinas e computadores (STURM, 2005).

Através da Lógica Fuzzy, é possível descrever um determinado fato com muito mais detalhe e gradual, reduzindo assim a perda de informações, que conseqüentemente estará mais coerente possível com a realidade em questão (MALUTTA, 2004).

Motivos que levaram a lógica Fuzzy a se tornar uma tecnologia padrão, que vem sendo aplicadas na área de desenvolvimento industrial, ciências ambientais e até na área de negócios e finanças (MALUTTA, 2004). O raciocínio da Lógica Fuzzy está centrado no meio termo, conforme o seguinte exemplo:

Segure uma maçã em suas mãos. Isso é puma maçã? Sim. O objeto em sua mão

pertence á um determinado tempo-espaço que chamamos de conjunto de maçãs – todas as maçãs sempre em qualquer lugar. Agora morda a maçã, mastigue-a, e engula-a. Deixe seu trato digestivo pegue uma parte das moléculas da maçã. O objeto em suas mãos ainda é uma maçã? Sim ou não? Dê outra mordida. O novo objeto ainda é uma maçã? (KOSKO, 1993, p.4)

Ou seja, a Lógica Fuzzy vai além do “preto e branco” de uma teoria, podendo demonstrar também o colorido de um processo e ainda fazer a classificação, ou seja, possibilita que dado um determinado elemento que pertence a um domínio, é verificado o grau de pertinência do elemento em relação ao conjunto.

Já conforme Malutta (2004) o raciocínio Fuzzy é composto por três etapas que são a fuzzificação, a inferência e a defuzzificação, cujas fecham um ciclo que permitem a resolução de muitos problemas e que são bastante utilizados em sistemas de controle. Conforme mostra a figura a seguir:

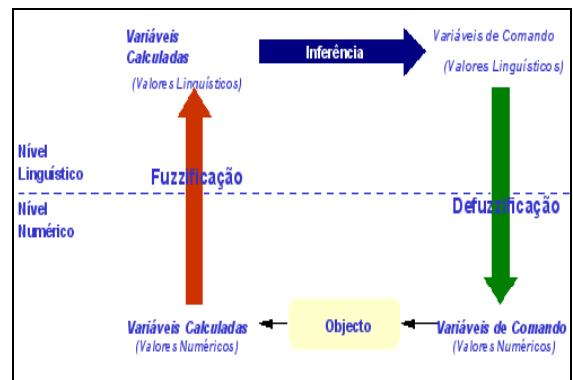


Figura 1 – Implementação de etapas na Lógica Fuzzy

Fonte: Junges (2006)

Na fuzzificação definem-se as variáveis lingüísticas de forma subjetiva bem como as funções pertinência: análise do problema; Definição das variáveis Fuzzy; Definição das funções de pertinência e criação de regiões (JUNGES, 2006).

Já a inferência é a etapa importante do raciocínio Fuzzy, é através dela que é feita a tomada de decisão (JUNGES, 2006). Após a fuzzificação, onde são determinados os graus de pertinência de cada conjunto, com os dados resultantes são realizadas as regras do tipo Se-Então, mapeando para os novos conjuntos, como por exemplo, se a mulher esta “gorda”, então tem que “praticar exercícios”. Como o

objetivo é emagrecer, então foi realizada uma inferência para determinar a ação a ser realizada para a determinada situação que foi “praticar exercícios” (MALUTTA, 2004).

E a desfuzzificação, converte-se as variáveis Fuzzy em valores numéricos ou aceitáveis pelo sistema. Nesta etapa diversas técnicas de defuzzificação podem ser usadas, entre elas: centróide, First-of-Maxima; Middle-of-Maxima; Critério Máximo. Assim a desfuzzificação, é o contrário da fuzzificação, ao invés de transformar um dado quantitativo em um termo nebuloso, ele transforma o dado nebuloso em dado quantitativo (MALUTTA, 2004).

2.3 Linhas de montagem com base em lógica Fuzzy

Conforme Cohagura (2007) existem várias aplicações da lógica *Fuzzy* executam a função de controle, configuração, ajuste, e combinações de variáveis. E os grandes benefícios da maioria dos produtos apresentados são da economia de energia, e melhor controle e configuração dos equipamentos. Esta tecnologia pode ser aplicada em muitas áreas para os mais variados propósitos.

Tanto que chegou-se a conclusão de que a modelagem Fuzzy pode acrescentar inúmeras vantagens em relação as modelagens tradicionais e quando da implementação de sistemas de controle, ou de tomadas de decisão, essa modelagem facilita no desenvolvimento também devido desta tecnologia permitir uma aproximação do raciocínio humano através da utilização de variáveis e valores *Fuzzy* (COHAGURA, 2007).

Isso porque a modelagem Fuzzy, possui a facilidade de descrever ou classificar detalhes de forma gradual, permite uma aproximação muito maior da realidade que é marcada por ser um sistema complexo de muitas variáveis e valores ambíguos e inexatos (COHAGURA, 2007).

Por essa razão, os tópicos a seguir, destacam os passos de implementação da Lógica Fuzzy em uma linha de montagem.

2.1. Descrição da organização do sistema produtivo da linha de montagem

O sistema de produção adotado foi uma linha de montagem de eixos para tratores leves industriais e pequenas coletadeiras que atende o mercado nacional e exportação, com alto valor de agregação de qualidade no produto que perfaz uma inventário de alto valor. Possui uma elevada diversificação operacional com amplo *mix* de tipos, devido a sazonalidade global e a aplicação em segmentos diferentes. O sistema logístico de entregas e seqüenciamento de produção é inflexível a alterações, não permitindo a formação de lotes para produção para compensações. Esta

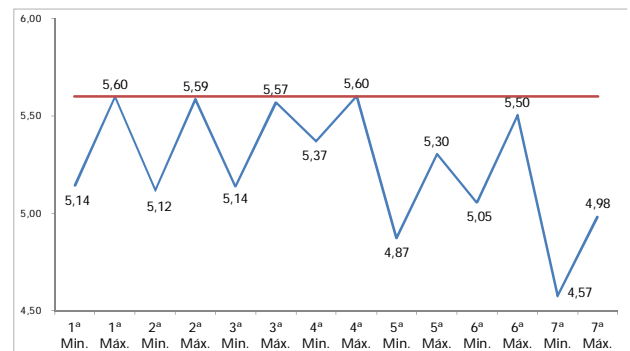
condição de diversidade dos tipos de produtos corroborou idealmente para a aplicação da lógica Fuzzy, para a inserção de técnicas avançadas de automação, para formar um recurso tecnológico robusto estabelecendo uma vantagem competitiva, essencial a sobrevivência de empresas de médio porte junto a economia globalizada.

A linha de montagem é operada por 7 homens, possui 7 estações de trabalho de 4 metros de comprimento para a montagem de 12 famílias de eixos, com o tempo gargalo de 5,6 mim, onde está incluso um fator adicional de 30% de rendimento/fadiga para todos os produtos, vide quadro 1 e 2:

Produto	Estações de Montagem													
	1ª		2ª		3ª		4ª		5ª		6ª		7ª	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
PK 1	4,00	5,40	4,47	4,88	4,46	4,86	4,56	4,97	4,60	5,00	4,46	4,86	4,57	4,98
PK 2	4,51	4,91	4,67	5,10	4,51	4,92	4,70	5,12	4,48	4,88	4,46	4,85	4,57	4,98
PK 3	4,51	4,91	4,47	4,88	4,51	4,92	4,61	5,02	4,67	5,09	4,48	4,87	4,57	4,98
PK 4	4,51	4,91	4,56	4,98	4,51	4,92	4,60	5,01	4,57	4,98	4,46	4,86	4,57	4,98
PK 5	4,68	5,10	4,47	4,88	4,70	5,12	4,54	4,94	4,78	5,21	4,56	4,97	4,57	4,98
PK 6	4,53	4,93	4,54	4,95	4,62	5,03	4,54	4,94	4,57	4,98	4,67	5,09	4,57	4,98
PK 7	4,53	4,93	4,58	5,01	4,60	5,01	4,59	5,00	4,51	4,91	4,70	5,12	4,57	4,98
VN 8	4,87	5,30	4,94	5,40	4,90	5,34	5,08	5,53	4,87	5,30	4,67	5,09	4,57	4,98
VN 9	4,90	5,34	5,07	5,54	5,14	5,57	5,11	5,56	4,87	5,30	4,95	5,39	4,57	4,98
VN 10	5,14	5,58	5,12	5,59	5,10	5,55	5,11	5,56	4,87	5,30	5,05	5,49	4,57	4,98
VN 11	5,14	5,60	4,79	5,23	4,79	5,22	5,11	5,56	4,87	5,30	5,05	5,50	4,57	4,98
VN 12	4,85	5,28	4,85	5,30	4,99	5,44	5,55	5,60	4,79	5,22	4,85	5,28	4,57	4,98
Gargalo	5,14	5,60	5,12	5,59	5,14	5,57	5,55	5,60	4,87	5,30	5,05	5,50	4,57	4,98

Quadro 1: Tempo médio de montagem para as jornadas de trabalho

Os pontos tarjados em amarelo demonstram os gargalos por famílias dos eixos, que tem a variação do tempo entre 4,8 min/eixos até 5,6 min/eixo.



Quadro 2 gargalos dos tempos de montagem

O quadro 2 demonstra o tempo referência para definição da velocidade do motor e o gargalo de 5,6 minutos na 4ª estação, quando da montagem do produto VN12.

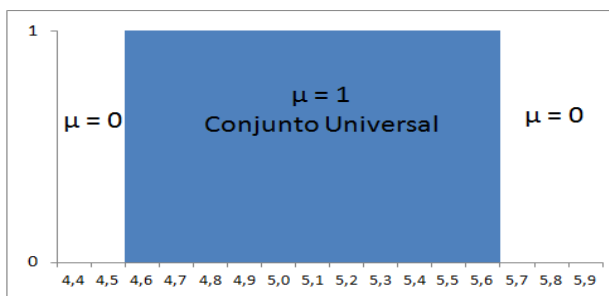
2.2. Estruturação do conjunto de informações Fuzzy
 Lógica Fuzzy é baseada na teoria dos Conjuntos Fuzzy. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou é completamente verdadeira ou é completamente falsa. Entretanto, na lógica Fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa (JUNGES, 2006).

Dentro uma questão de linha de montagem, a lógica Fuzzy pode ser utilizada no que se refere a velocidade ou ao tempo, garantindo o aproveitamento da linha e o aumento da produção, com redução de tempo e muitas vezes até mesmo de custos.

O quadro 2 demonstra a base para a definição da velocidade do motor em uma condição segundo uma lógica booleana ou aristotélica, ou seja, todos os demais valores abaixo do gargalo perdem a função de multivalência, passavam a ser desconsiderados na formação da velocidade do motor, independente de qualquer combinação da sequência dos eixos da linha de montagem onde é assumida a bivalência estática: velocidade 0 (zero) ou dinâmico com velocidade de 5,6 min/eixo.

A formação da estruturação do conjunto Fuzzy, ou número Fuzzy, foi definido a partir da multivalência de todos os tempos de montagens, ou seja, foi realizada uma atribuição de pertinência a todos os tempos de produção, para qualquer sequência de produtos em operação de montagem.

A propriedade fundamental da lógica Fuzzy foi aplicada com a função de pertinência $\mu(\text{tempos}) = x$, desta forma o universo do discurso foi estabelecido, com a condição que todos os valores do tempo de montagem pertence ao intervalo de $\mu(\text{tempo})=1$. Isto significa que todos os tempos de montagem foram considerados para a formação da velocidade em sua grandeza, definindo o conjunto universal (ϵ), conforme mencionado por Shaw e Simões (2009), vide quadro 3, assim pré-estabelecendo a distribuição da possibilidade entre os tempo para a formação das regras do controle da velocidade do motor.



Quadro 3: a definição do conjunto universal

Para a definição do conjunto universal (ϵ) todos os tempos de montagem foram considerados com o valor de pertinência igual 1

2.3. Análise e pertinências das regras para o controle Fuzzy

O controle executado pela lógica Fuzzy imita um comportamento baseado em regras ao invés de um controle explicitamente restrito a modelos matemáticos como equações diferenciais. O objetivo da lógica Fuzzy é gerar uma saída lógica a partir de um conjunto de entradas não precisas, com ruídos ou até mesmo faltantes (JUNGES, 2006)

Nessas condições a Lógica Fuzzy tem por essência gerar valores de saídas sem a necessidade de entradas precisas, conforme mostra o exemplo a seguir:

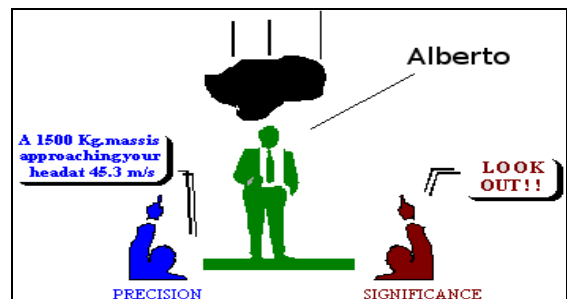


Figura 2 – Exemplo de geração de valores de saída sem a necessidade de entradas precisas em situações de Lógica Fuzzy
 Fonte: Junges (2006)

A lógica fuzzy é embasada em regras de inferência para efetuar o processamento dos dados e informações. O conceito das regras Fuzzy remetem a situações dedicadas que são apreciadas à análise dos técnicos e gestores dos processos, e cuja inferência estabeleça o resultado esperado. Utilizando operadores lógicos, as regras Fuzzy são formadas por uma parcela antecessora (condição SE) e outra parcela posterior (condição ENTÃO), formando a condição lógica seguintes:

$$\boxed{SE_{\text{antecedente}} \text{ ENTÃO}_{\text{consequente}} \Rightarrow (\text{se} \rightarrow \text{então})}$$

A parcela antecessora (condição SE) descreve uma máxima, enquanto a parcela posterior forma uma ação conclusiva que pode ser descritas quando a máxima é validada.

Ainda se requerido faz o seu de vários antecessores para uma mesma regra, utilizando operadores lógicos na formação de regra. Os operadores mais utilizados são:

Operador “E”, na condição de um par, ou mais, antecessores são unidos por AND, a resultante é verdadeira somente quando as duas condições são verdadeiras, uma representação para o operador “E” e reconhecida pela a operação de intersecção de conjuntos;

Operador “OU”, na condição de um par, ou mais, antecessores são unidos por OR, a resultante é verdadeira quando apenas uma duas condições são verdadeiras, este operador “OU” ilustra, em tese, a operação de intersecção de conjuntos.

O controle pela Lógica Fuzzy apresenta algumas características típicas:

- Robusta porque não requer entradas precisas.
- Modificada facilmente, pois é baseada em regras.
- Controle de sistemas não-lineares sem modelo matemático.
- Solução mais rápida e barata em alguns casos.
- Implementável facilmente em microprocessadores.

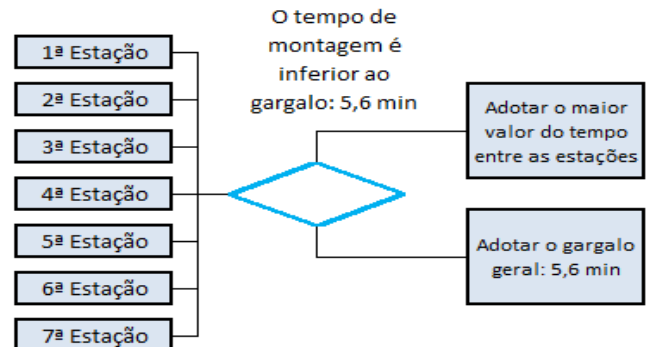
Para a formação das regras de intersecção de conjuntos Fuzzy foram utilizados os conhecimentos e a experiências do universo de discurso: os técnicos de operação da linha de montagem, os histórico de ocorrências, as lições aprendidas pelos engenheiros de planejamentos associados aos planos de montagens futuros, as ocorrências de manutenção e os limites do sistema elétrico – eletrônico, e os mecânicos. A partir destas informações foram estabelecidos os conjuntos de regras e as operações (intersecção e união da pertinência) perfazendo as regras lógicas para estabelecer a melhor inteligência para o gerenciamento do motor da linha de montagem. Com base nestas premissas foram definidas duas regras:

2.4. 1ª Regra: investigação do tempo de montagem - limite momentâneo:

Na formação da regra 1 existem dois aspectos técnicos do processo de produção considerados, o primeiro foi o ajuste da velocidade de arraste da linha de montagem, considerando o limites do tempo de montagem dos eixos dispostos na sequência de montagem, denominado como gargalo momentâneo do pulso da linha. O segundo tem como referencia aos

tempos de montagens de eixos, estes possuem, em uma mesma estação de montagem uma variação de duração devido a fatores individuais para cada montador da linha de montagem, devido aos fatores de ritmo, habilidade e anatomia associados ao treinamento na rotatividade nos postos de montagem (REFA,1994a).

O fluxo seguinte demonstra a regra, que foi estabelecida através da avaliação dos tempos dos eixos que se encontravam momentaneamente nas 7 estações de montagem (vide quadro4).



Quadro 4: Lógica da 1ª regra , elaborado pelo autor no aplicativo Excel

De modo adotar o maior tempo de montagem da sequência de eixos em montagem, provendo uma redução no tempo do gargalo de produção geral, 5,6 minutos. Para exemplificar esta regra 1 consideramos a linha de montagem com uma sequência de eixos na característica na ordem seguinte: PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 (vide quadro 5).

Pro-duto	Estações de Montagem						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
PK 1	4,70	4,71	4,67	4,78	4,81	4,67	4,8
PK 2	4,72	4,92	4,70	4,92	4,69	4,67	4,8
PK 3	4,72	4,68	4,72	4,83	4,89	4,69	4,8
PK 4	4,72	4,78	4,73	4,82	4,79	4,67	4,8
PK 5	4,90	4,68	4,92	4,75	5,01	4,78	4,8
PK 6	4,74	4,75	4,84	4,75	4,79	4,89	4,8
PK 7	4,74	4,80	4,82	4,81	4,72	4,92	4,8
VN 8	5,10	5,18	5,13	5,34	5,10	4,89	4,8
VN 9	5,13	5,31	5,38	5,35	5,10	5,18	4,8
VN 10	5,38	5,33	5,34	5,35	5,10	5,28	4,8
VN 11	5,38	5,02	5,02	5,35	5,10	5,29	4,8
VN 12	5,08	5,05	5,23	5,62	5,02	5,08	4,8

Quadro 5: Tempos dos produtos PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 tarjados em azul.

Nesta lógica reconhecemos que para a sequência disposta na linha de montagem o gargalo momentâneo é de 5,3 min./eixos, inferior ao gargalo

geral de 5,6 min./eixo em 0,3 minutos, uma redução de cerca 5,4% nos tempos desta sequencia.

A curva do tempo de montagem dos eixos sequenciados (curva azul) demonstra o grau de saturação das estações de montagens em relação ao gargalo momentâneo. Comparativamente a curva atual, o delta entre os tempos gargalos nas estações de montagem (curva vermelha – curva azul) é investigado para a formação das funções de pertinências, (gráfico 6.1)

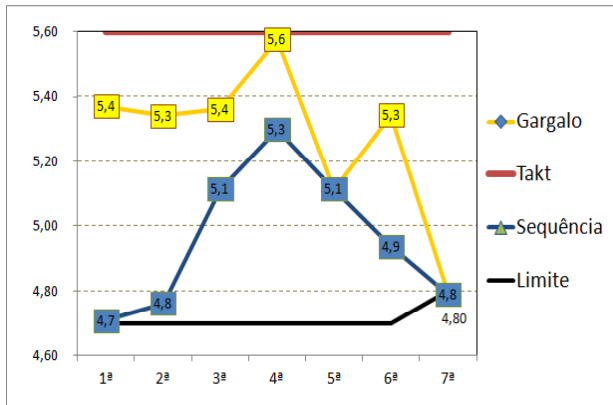


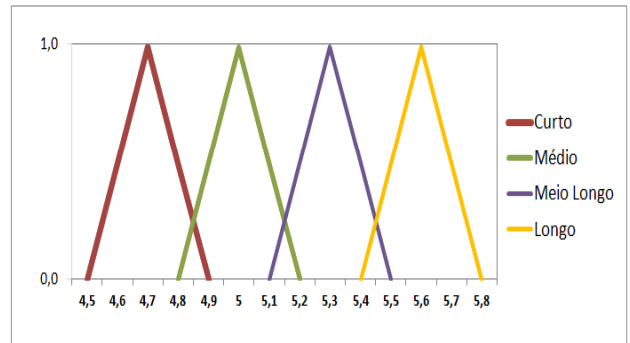
Gráfico 6 tempo de montagem da linha carregada com os produtos na sequência seguinte: PK2, PK7, VN8, VN8, VN9, PK7, PK3 (cor azul).

Com base na distribuição dos tempos gargalos, curva formatada em amarela, e a curva dos tempos limites, formatada na cor pedra no gráfico 6, foram estabelecidas as faixas de variações dos tempos para a formação das variáveis linguísticas, vide quadro 7.

Faixa de variação do tempo de montagem			Variável linguística	Código
g mínimo	g médio	g máximo		
5,4	5,6	5,8	Longo	L
5,1	5,3	5,5	Meio Longo	ML
4,8	5,0	5,2	Médio	M
4,5	4,7	4,9	Curto	MC

Quadro 7: Faixas de variação dos tempos

As faixas de variações foram estabelecidas com uma distribuição homogênea em quatro parcelas, considerando a variação em cerca de 10% para atender a diversidade entre o ritmo e habilidade, conforme quadro 8.



Quadro 8: demonstra as variáveis linguísticas entre as faixas de tempo, com característica de função triangular.

Portanto podemos definir o gargalo instantâneo como g para a regra 1 com a lógica seguinte:

$$\text{Regra } 1 = \{g = g_{\text{médio}} \mid g \in \mu_1^a \text{ se } g_{\text{mínimo}} < g < g_{\text{máximo}}\}$$

A inferência individualizada, somente para a regra 1 contem a seguinte condição (se \rightarrow então) para cada faixa linguística.

$$\begin{aligned} I_{g \text{ curto}} &\Rightarrow (\text{se } 4,5 < g < 4,9) \rightarrow (g = 4,7) \\ I_{g \text{ médio}} &\Rightarrow (\text{se } 4,8 < g < 5,2) \rightarrow (g = 5,0) \\ I_{g \text{ médio alto}} &\Rightarrow (\text{se } 5,1 < g < 5,5) \rightarrow (g = 5,3) \\ I_{g \text{ longo}} &\Rightarrow (\text{se } 5,4 < g < 5,8) \rightarrow (g = 5,6) \end{aligned}$$

Com os dados apresentados na sequencia, onde o gargalo momentâneo é de 5,3 min, é considerado na variavel linguistica como $I_{g \text{ médio alto}}$ com os valores seguintes:

$$I_{g \text{ médio alto } 5,3} \Rightarrow (\text{se } 5,1 < 5,3 < 5,5) \rightarrow (g = 5,3)$$

2.5. 2ª Regra: flexibilização do tempo de produção em função de rendimento humano

Uma motivação para inclusão do rendimento como regra do controle da velocidade da linha de montagem é o reconhecimento pelos mestre e lideres no processo de montagem, em alternar a velocidade durante os turnos de trabalho. Este procedimento era efetuado durante algumas vezes no turno de trabalho, alterando a velocidade com base apenas na rotina, identificando o grau de saturação dos montadores diante e as atividades a serem realizadas entre os diferentes lotes de eixos a serem montados. Um aspecto relevante a ser considerado são que as variações (incrementos e decrementos) de velocidades na linha são diferentes entre as etapas do turnos de trabalhos, bem como os diferentes turnos de um dia. A lógica Fuzzy corroborou com a otimização

no processo, melhorado a precisão mediante a supervisão e controle da velocidade..

Conforme a definição da Associação de projeto de trabalho e organização industrial e desenvolvimento corporativo; "REFA": um fator de redução do rendimento é a fadiga no trabalho, como um fator de variação nos tempos montagem, que ocorrem em função da fadiga dos montadores, ocasionando a flutuação direta na produtividade mediante a decorrência da duração do turno de trabalho.

O efeito a ser considerado no controle da linha é a duração das atividades humanas para a montagem, a exposição dos montadores para a realização das atividades que são influenciadas por fatores inerentes as variações no ambiente da linha de montagem tais como: iluminação, calor, ruído e a sobre carga de força e as posições. Também as condições ergonômicas e a repetição de atividades para a realização de montagem durante a jornada de trabalho, muitas vezes não são administradas devido a sequência da demanda de produção.

Pelo exposto uma pesquisa sobre o efeito de rendimento e fadiga nos impactos na montagem foi requerida para elaborar e otimizar a 2ª regra da lógica Fuzzy.

Uma definição para o rendimento/fadiga é, de modo bastante simples, o cansaço obtido pelos montadores durante as atividades no turno de trabalho. A redução de eficiência é surge em ocorrência de uma adicional carga que se apresenta em pontos isolados do ser humano, ou distribuindo por todos os organismos do corpo. A manifestação da queda do rendimento humano estabelece uma minimização natural da capacidade do ser humana em função dos organismos impactados (HUDSON, 2008).

A fadiga no ser humano pode se considerada devido a duração ou exposição a uma excedente sobrecarga ou duradoura da atividade sem reposição suficiente. A reposição, pode ser realizada mediante uma condição de relaxamento e ou descanso (RUIZ, s.d.).

Dentre os fatores geradores da fadiga é reconhecido que a variação da temperatura no ambiente da linha de montagem, o nível de oxigenação, o ruído e a iluminação natural e os aspectos biológicos humanos, como o ciclo clico circadiano podem gerar estes aspectos podemos identificar

"Fadiga é o efeito de um trabalho continuado, que provoca uma redução reversível da capacidade do organismo e uma degradação qualitativa desse trabalho. A fadiga é causada por um conjunto complexo de fatores, cujos efeitos são cumulativos. Em primeiro lugar, estão os fatores fisiológicos, relacionados com a intensidade e duração do trabalho físico e intelectual. Depois, há uma série de fatores

psicológicos, como a monotonia, falta de motivação e por fim, os fatores ambientais e sociais, como iluminação, ruídos, temperaturas e o relacionamento social com a chefia e os colegas de trabalho" (IIDA, 1990).

PERONI (1990) apresenta o gráfico 6, baseado em estudos laboratoriais realizados, que demonstra que o rendimento do operário inicia-se no ponto zero atingindo seu ponto culminante em 0,8 de sua eficiência, correspondente à segunda hora de trabalho.

No segundo turno o seu comportamento apresenta-se com rendimentos inferiores a primeira jornada de trabalho por efeito da fadiga, vide gráfico 9.

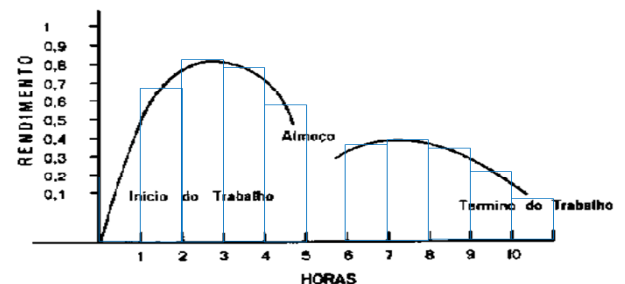


Gráfico 9: Rendimento de produtividade por jornada de trabalho, por Peroni (1990)

SAAD (1981), afirma que é sabido que "o homem que trabalha em ambientes com alterações de temperaturas sofre de fadiga, seu rendimento diminui, ocorrem erros de percepção e raciocínio e aparecem sérias perturbações psicológicas que podem conduzir a esgotamentos e prostrações".

Uma pesquisa foi elaborada para reconhecer a influencia dos aspectos descritos pelos autores pesquisados, investigando de maneira qualitativa a influencia do rendimento e a fadiga na capacidade de trabalho dos montadores. A pesquisa, do tipo qualitativo, foi elaborada com base em aspectos de produção para validar e definir a real curva do comportamento do rendimento dos montadores. A pesquisa considerou como base dos dados a frequência da saída de eixos montados na ultima estação de trabalho da linha de montagem durante cerca de 15 jornadas de trabalhos, com amostragem de tempo de uma hora, considerando o total de eixos produzidos no período a cada hora. Outro aspecto também pesquisado foi a percepções dos montadores da linha de montagem a respeito do rendimento individual durante a jornada de trabalho.

O resultado da pesquisa demonstrou a existência da variação do rendimento dos montadores na linha de montagem em função da jornada do trabalho, o



rendimento obtido na pesquisa tem um efeito inferior ao obtido por PERONI (1990), apresentado no gráfico 10.

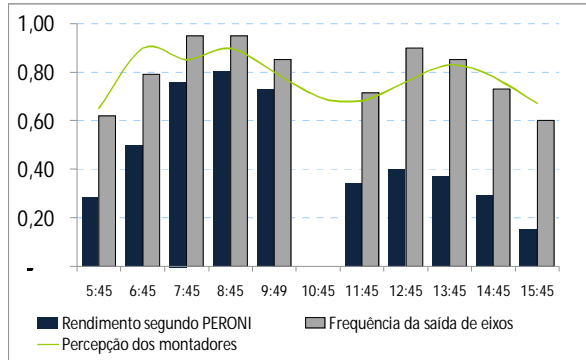


Gráfico 10: Rendimento de produtividade médio para as jornadas de trabalho

Os valores obtidos na pesquisa demonstraram índices são superiores aos obtidos na pesquisa de PERONI (1990), em uma na análise preliminarmente o resultado deste efeito pode ser reconhecido devido as ótimas condições ergonômicas instaladas nas estações de montagem e o nível de automação dos processos de montagem contido nos processos de montagem reduzem os esforços e permitem a recuperação do rendimento.

Para formação da regra 2 a pesquisa de rendimento de produtividade, que define variação ao longo da jornada de trabalho, foi utilizada para estabelecer a fuzzificação através dos valores linguísticos e a definição da função pertinência na regra 2, uma classificação dos rendimentos foi efetuada conforme o nível de rendimento entre as horas de uma jornada de trabalho. O quadro 11 demonstra a classificação.

Faixa de variação do rendimento				Variável linguística
Faixa	r mínimo	r médio	r máximo	
r1	85%	95%	>95%	Alto
r2	75%	85%	95%	Ótimo
r3	65%	75%	85%	Médio
r4	>65%	65%	75%	Baixo

Quadro 11: Regra 2 conversão dos valores lógicos em valores linguísticos

Em uma formatação gráfica as variáveis linguísticas demonstram a função pertinência. O gráfico 12 demonstra as curvas de pertinências de forma tripé, curva triangular, para cada uma das variáveis linguísticas, conforme gráficos 12 e 13

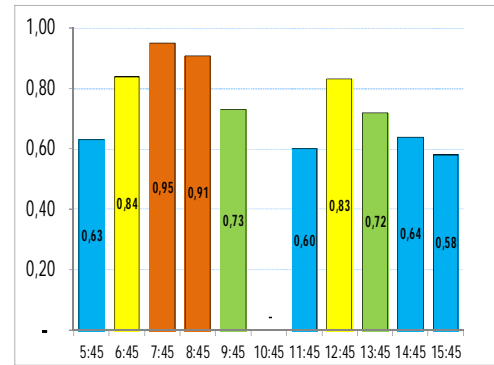


Gráfico 12: A distribuição da pertinência para cada período de tempo de montagem durante a jornada de trabalho

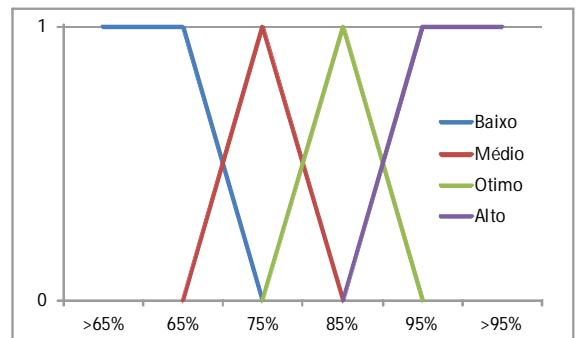


Gráfico 13 : Regra 2 conversão dos valores lógicos em valores linguísticos com as funções pertinências

Portanto podemos definir o gargalo instantâneo como r para a regra 2 com a lógica seguinte:

$$\text{Regra}_2 = \{ r_i = r_{\text{médio}} \mid r_i \in U^a \text{ se } r_{\text{mínimo}} < r_i < r_{\text{máximo}} \}$$

A inferência individualizada, somente para a regra 2 contem a seguinte condição (se→então) para cada faixa linguística.

$$\begin{aligned} Ir_1 \text{ alto} &\Rightarrow (\text{se } 85\% < r_1 < 95\%) \rightarrow (g = 95\%) \\ Ir_2 \text{ ótimo} &\Rightarrow (\text{se } 75\% < r_2 < 95\%) \rightarrow (g = 85\%) \\ Ir_3 \text{ médio} &\Rightarrow (\text{se } 65\% < r_3 < 85\%) \rightarrow (g = 75\%) \\ Ir_4 \text{ baixo} &\Rightarrow (\text{se } 65\% < r_4 < 75\%) \rightarrow (g = 65\%) \end{aligned}$$

Com os dados apresentados na sequencia, onde o gargalo momentâneo é de 5,3 min, é considerado a variável linguística como lg médio alto onde os valores seguintes:

$$Ir_{93\%} = Ir(\text{ótimo}) \Rightarrow (\text{se } 85\% < Ir < 95\%) \rightarrow (Ir = 95\%)$$

2.6 A união das regras

Para definir a formação da união das regras (regra geral) foram reconhecidos os efeitos das duas regras,

perfazendo o conjunto de regras Fuzzy, sendo assim a equação de pertinência foi definida na condição seguinte:

$$g \in 1^{\text{a}} \text{ regra} \cdot r \in 2^{\text{a}} \text{ regra} \Rightarrow \mu 1^{\text{a}} \cdot \mu 2^{\text{a}} \Rightarrow \mu (1^{\text{a}} \cup 2^{\text{a}})$$

Logo a aplicação das regras é atendida através das funções de inferências combinadas

Para a regra 1: considerando que o gargalo momentâneo da sequencia de eixos é de 5,3, a inferência aplicada tem na função o valor de 5,3.

$$I_{g \text{ médio alto}} \Rightarrow (\text{se } 5,1 < g < 5,5) \rightarrow (g = 5,3)$$

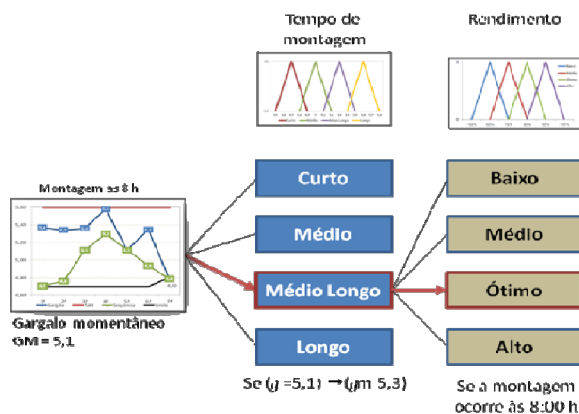
Para a regra 2: considerando que a sequencia de eixos esta em trabalho no período matutino, às 8:00h, a inferência aplicada a função é de 95%.

$$I_{r_1 \text{ alto}} \Rightarrow (\text{se } 85\% < r_1 < 95\%) \rightarrow (g = 95\%)$$

A união das regras permite a decodificação das variáveis linguísticas. Sendo assim, é considerado o tempo do gargalo para o reconhecimento do valor na função linguística, primeira regra, e posteriormente o resultado obtido é submetido ao índice de rendimento, regra dois, em que o trabalho é realizado.

$$\text{Regra geral} = \{rg \in \mu 1^{\text{a}} \cdot \mu 2^{\text{a}} \rightarrow r \text{ mínimo} < r < r \text{ máximo}\}$$

Utilizado a sequencia de eixos adotada no quadro 6, para a exemplificação da regra geral, o fluxo lógico seguinte, demonstrando no quadro 14, a regra geral estruturada com a lógica Fuzzy:



Quadro 14: Formação lógica para a união das regras

2.7.Desfuzzificação: conversão dos resultados gerados pelas regras.

No caso em estudo, a desfuzzificação gerou os dados pela conversão das pertinências,

atendendo os ajustes das velocidades do motor da linha de montagem para a sequencia: PK1, PK3, PK4, PK5, VN9, VN10, PK2 onde foi reconhecido uma redução na velocidade de 17%, em função da redução do tempo 0,9 min.

A quantificação da regra geral com base na sequencia de eixos escolhida define a velocidade do gargalo instantâneo: regra 1, onde $\{g = 5,1\} \rightarrow (gm \ 5,3)$ e pela do rendimento humano às 8:00 h, regra 2, onde $\{r_1 = r \text{ médio} = 0,95\}$, subtraindo o valor do rendimento atual, já incluso no tempo de montagem de 30% (vide quadro 1).

$$Rg = \mu 1 \cdot \mu 2 \Rightarrow$$

$$I_{g \text{ médio alto}} \cdot I_{r_1 \text{ alto}} \Rightarrow 5,3 \cdot (1 - 0,30) \cdot (1 + (1 - 0,95)) = 3,19 \text{ min}$$

O quadro 15 demonstra as possíveis combinações dos valores de tempos após a aplicação da regra geral (Rg), onde pode ser identificado o valor de 4,13 min obtido no calculo anterior:

Regra 1 Tempo do gargalo momentâneo	Regra 2 - Rendimento			
	95%	85%	75%	65%
5,60	4,13	4,61	5,23	6,03
5,30	3,91	4,36	4,95	5,71
5,00	3,68	4,12	4,67	5,38
4,70	3,46	3,87	4,39	5,06

Quadro 15 valores possíveis para o tempo com aplicação da regra geral

Para a avaliação do modelo, em um grupo maior de sequências, foi simulado no software de simulação Arena com as regras e os dados através da teoria das filas associado a estatística amostral junto ao fluxo de produção obtendo um resultado.

Conforme a Promodel, para a aplicação da simulação não existem um conjunto de regra precisas para a condução do estudo, no entanto, os passos são geralmente orientados com a linha de guia seguinte de Shannon 1975, Gordon 1978 e Law 1991.

1. Planejar o estudo
2. Definir o sistema
3. Construir o modelo
4. Rodar os experimentos
5. Analisar os resultados de saída
6. Estratificar os resultados

Segundo a procedimento de simulação no Laboratório de Simulação e Controle de Sistemas Discretos no NUMA / USP-São Carlos, o processo de simulação é interativo e a cada atividade é definida e algumas vezes é redefinidas com a interação. Descrevendo o processo Pritsker e Pegden (1979) observam o seguinte: Planejar; Definir; Construir; Rodar; Calibrar, Analisar e Reportar.

Com base neste procedimento a simulação foi realizada com o software Arena, onde foi reconhecido no período de um ano o aumento de produtividade de 7%.

2.8. Definição do controle da linha de montagem

Com base na definição das informações organizamos os controles nos tópicos seguintes:

Coleta das informações das estações: Como a precisão da variável tempo é fundamental para este processo, os tempos são monitorados de forma autônoma por um supervisor, que informa a ocorrência da evolução do tempo de montagem, as paradas por motivos grosseiros como: peças com defeito, fornecimento incorreto, quebra de ferramentas e necessidades pessoais. Estes dados são tratados com procedimentos estatísticos e posteriormente ajustados com a visão humana, conforme descritos na figura 16

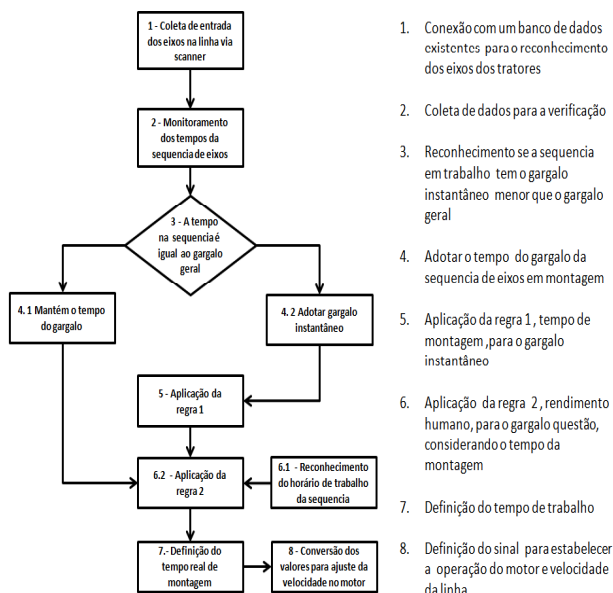


Figura 16 – fluxo de controle do processo

3.0. Conclusão

Logicamente, que o sistema de produção poderia ser controlado por regras adicionais, contudo a complexidade do controle foi reduzida para minimizar a complexidade da implantação. Obviamente que uma complexidade maior requerem uma análise mais abrangente. Uma melhoria é reconhecida na base de dados das velocidades e os rendimentos devido a utilização dos tempo médios para as das jornadas de trabalho.

Para este modelo de controle uma melhoria poderá ser efetuado, a implementação da lógica NeuroFuzzy para a coleta dos tempo de montagem e assim definirmos os valores de ajustes na regra 1, bem como para o rendimento humano da regra 2, automaticamente, estabelecendo a inteligência artificial.

Sendo assim, os resultados obtidos foram os seguintes: 1) melhor eficiência de montagem baseada na evolução da produtividade, nas ocorrências e anomalias de produção; 2) otimização do processo de decoremento de tempos ociosos nas estações de trabalho sob o limite de fracionamento operacional impostos pela qualidade, mutabilidade dos componentes e aspectos pertinentes às características técnicas do produto; 3) a redução da mão de obra direta devido a otimização da produtividade; 4) a redução da mão de obra indireta dos engenheiros de planejamento devido ao constante balanceamento na linha associados e as coletas de tempo autônoma.

4. Referências

1. BARBOSA, V. B. Aplicação da lógica Fuzzy no controle de um motor CC. São José dos Campos: 1º ENCITA, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 1995.
2. BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO (2002) - F. FuzzyF – Fuzzy Logic Framework: Uma Solução Software Livre para o Desenvolvimento, Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma. Disponível em http://www.inf.unisinos.br/~jrbitt/Fuzzyf/doc/Fuzzyf_wsl_2002.
3. BITTENCOURTE, Guilherme. Histórico da I.A. Disponível em: <http://www.lcmi.ufsc.br/~gb> Acesso em Janeiro de 2012
4. HUDSON de Araújo Couto. Editora ERGO S/C Ltda

5. CITI. Inteligência Artificial. Disponível em: http://www.citi.pt/educacao_final/trab_final_inteligencia_artificial/historia_da_ia.html Acesso em Janeiro de 2012
6. JUNGES, L. Introdução a Lógica Fuzzy. Artigo apresentado a Universidade Federal de Santa Catarina, 2006
7. KOAGURA, T. Lógica Fuzzy e suas aplicações. Universidade Estadual de Londrina. Londrina – PR, 2007
8. KOSKO, Bart. Fuzzy Thinking, The new science of Fuzzy logic. Hammersmith: Flamingo, 1994.
9. MALUTTA, César. Método de apoio à tomada de decisão sobre adequação de aterros sanitários utilizando a Lógica Fuzzy. 2004.
10. SHAW, I. S.; SIMÕES M.G. Controle e Modelagem Fuzzy. FAPESP, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo, 2010
11. SHAW, Ian S. e SIMÕES, Marcelo Godoy. Controle e Modelagem Fuzzy. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999
12. WEHMEIER, Sally. Oxford Advanced Learner's Dictionary. Oxford: Oxford University Press. 2000.
13. ZADEH, L. A. (1965) - "Fuzzy Sets", Information and Control, 8: 338-353.
14. ADAMS, J.C. Manual de Ortopedia. São Paulo, Artes Médicas, 1978.
15. ALVES, G.O. Contribuições da ergonomia ao estudo da Ler em trabalhadores de um restaurante universitário. Florianópolis: UFSC, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.
16. A MÃO na consciência. Revista Proteção, Novo Hamburgo, v.02, n. 08, p.104-105, 1990.
17. AMSTRONG, T.J et al. - Ergonomics considerations in hand and wrist tendinitis - The Journal of Hand Surgery (Supp) 12A. n. 5, part.2 -:830-837- Set. 1987.
18. ARNDT, Robert- Working posture and musculoskeletal problems of Video Display terminal operators - Review and reappraisal. American Industrial Hygiene association Journal, 44(6): p.437-446,1983.
19. BARREIRA C, T.H. Um Enfoque ergonômico para as posturas de trabalho. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, São Paulo, v.17, n.67, p.61-71, 1989.
20. BERHR, E. Estudo do Trabalho de Operadores de Caldeiras: uma abordagem ergonômica. Florianópolis: UFSC, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
21. PERONI, W. J. Tempos e movimentos. Rio de Janeiro: CNI/DAMPI, 1990
22. SAAD, E.G. Introdução à engenharia de segurança do trabalho. São Paulo, FUNDACENTRO, 1981.
23. BERNE e LEVY. Controle de movimento e postura. In: Fisiologia, Guanabara: Koogan, cap.18, p. 195, 1990.
24. CAMARDELLA, A. Manual de insalubridade: causas, seqüências e avaliação. Rio de Janeiro: CNI/DAMPI, 1989.
25. CASAROTTO, R.A., PARAGUAY, A.B.B. Identificação dos fatores ocupacionais que desencadeiam as lesões por esforços repetitivos através de análise ergonômica do trabalho. In: Congresso Latino-Americano e Seminário Brasileiro de Ergonomia, 2, 6., 1993, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABERGO/FUNDACENTRO, 1993, p.155-156.
26. CODO, W. Providências na organização do trabalho para a prevenção da LER. In: CODO, W. e ALMEIDA, M.C.(Orgs). L.E.R. diagnóstico, tratamento e prevenção: uma abordagem interdisciplinar. Petrópolis: Vozes, 1995, p.222-248.
27. CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J. - Gestão da produção e das operações: perspectiva do ciclo de vida. Lisboa: Monitor, 1995
28. TEIXEIRA, Cláudio; URZE, Paula; MACHADO, Tiago – Linha de montagem: um olhar sobre o trabalho compassado. Lisboa: Celta Editora, 2008
29. REFA. Reichs-ausschuss für Arbeitszeitermittlung (Comitê amplo para determinação do tempo de trabalho). Apostila do curso MTM básico. São Paulo: Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V. (Associação para o Estudo do Trabalho e a Organização Empresarial), 1994a.
30. Hudson de Araújo Couto. Ergonomia aplicada ao trabalho. BELO HORIZONTE: Ergo, 2007. 272p.
31. Iida, Itiro. Ergonomia: Projeto e Produção. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1990
32. RUIZ, T. (2006). Inquérito populacional sobre o estilo e a qualidade de vida na terceira idade. Ver Bras Med e Fam e Com, 2 (6) (pp.114-130).
33. REFA. Reichs-ausschuss für Arbeitszeitermittlung (Comitê amplo para determinação do tempo de trabalho). Apostila do curso MTM básico. São Paulo: Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V. (Associação para o Estudo do Trabalho e a Organização Empresarial), 1994a.
34. BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO (2002) - F. FuzzyF – Fuzzy Logic Framework : Uma Solução Software Livre para o Desenvolvimento, Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma.