

## A aplicação da lógica fuzzy para avaliação do produto canote do garfo

Ruy Sidney Nascimento dos Santos (UFPA) [ruvsidney@bol.com.br](mailto:ruvsidney@bol.com.br)

Dr. Carlos Tavares da Costa Júnior [cartav@ufpa.br](mailto:cartav@ufpa.br)

*Resumo: De acordo com o avanço tecnológico o setor de engenharia tem buscado soluções que ofereçam resultados positivos em prol do crescimento de sua empresa ou organização. Métodos de simulação para avaliação do comportamento mecânico de produtos submetidos a cargas estáticas e cargas dinâmicas são extremamente necessárias para redução dos custos de fabricação dos produtos. O uso de ensaios mecânicos e virtuais é de vital importância para avaliação do produto. O presente trabalho teve como objetivo a utilização da lógica fuzzy em um produto chamado canote do garfo da bicicleta, onde foi analisado além do grau de pertinência variado entre 0 e 1, o grau de veracidade também variado entre 0 e 1, tendo como foco principal o comportamento do produto canote do garfo e sua validação.*

*Palavras-chave: Primeira palavra; Segunda palavra; Terceira palavra.*

### 1. Introdução

A qualidade de um serviço ou produto é o maior fator responsável pelo sucesso e garantia de sobrevivência do mesmo no mercado de trabalho, onde cada vez mais as empresas e organizações travam uma luta contínua em busca de qualificação tanto para seus funcionários e colaboradores como máquinas e equipamentos. A tecnologia da informação tem desempenhado um papel fundamental neste processo tecnológico e inovador, que através de programas e softwares como o MatLab 7.0 utilizado como ferramenta de apoio para a Lógica Fuzzy neste artigo, desencadeou os recursos necessários para conclusão da pesquisa feita. A engenharia de softwares, além de desenvolver programas necessários oferece diversos recursos a uma empresa ou instituição no que diz respeito à Informática, suprindo às necessidades em diversas áreas existentes, sejam administrativas, financeiras ou produtivas, seja no ramo industrial ou comercial o objetivo é sempre o mesmo, a satisfação do cliente. No entanto, quando pensamos em um serviço ou um produto que será oferecido ao mercado ou cliente, devemos analisar diversos fatores que estarão envolvidos neste processo, e um deles é a qualidade, a qual é responsável por sua garantia, por isso, foi utilizado na Lógica Fuzzy o MatLab 7.0, ou seja, um programa de software interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico.

Através dos cálculos numéricos necessários para os resultados obtidos, a fase de testes mecânicos do produto canote do garfo junto com a metodologia, foram responsáveis por alcançar o objetivo esperado do produto, por meio da análise e desempenho do mesmo, tendo como resultado o sucesso de aprovação.

Após a fase de simulação, o grau de pertinência e veracidade confirmou se a matéria prima utilizada na composição física da peça foi a mais viável ou não, oferecendo assim precisão e confiança para a empresa responsável pela fabricação do produto canote do garfo da bicicleta.



## 2. Metodologia

Para o desenvolvimento deste artigo foi criada uma parceria do fornecedor Produfer Comércio de Ferramentas Ltda e uma empresa que atua no Pólo Industrial de Manaus (PIM) de Duas Rodas, cujo foco é a fabricação de bicicletas. Os dados levantados foram baseados na quantidade de experimentos feitos de acordo com as normas NBR 5426 [1] e NBR 5427 [2], com o produto canote do garfo acoplado ao quadro da bicicleta e regras criadas para a utilização da lógica fuzzy. Através de um experimento realizado na peça canote do garfo, os ensaios mecânicos e virtuais foram observados, servindo como base para a análise comportamental do produto. Todas as simulações foram realizadas com base em três etapas da lógica fuzzy: a fuzzyficação, inferência e defuzzyficação.

A descrição da lógica fuzzy foi baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou é 'completamente verdadeiro' ou é 'completamente falso'. Partindo desse princípio, os dois extremos utilizados na preposição lógica foram: ou está 'completamente aprovado', ou está 'completamente reprovado'.

Entretanto, na lógica fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente aprovado ou parcialmente reprovado. O funcionamento de controle da lógica fuzzy foi executado imitando um comportamento baseado em regras ao invés de um controle explicitamente restrito a modelos matemáticos como equações diferenciais. O objetivo da lógica fuzzy foi de gerar uma saída lógica a partir de um conjunto de entradas não precisas, com ruídos ou até mesmo faltantes.

Então, através das variáveis de entrada e do comportamento baseado no seqüenciamento de criação de regras, foi possível observar a aprovação ou reprovação do produto canote do garfo por meio da geração de saídas lógica, alcançado com isso o objetivo do estudo.

## 3. A modelagem do Sistema Fuzzy

Conforme observado, à lógica fuzzy trabalhou neste artigo o grau de a teoria dos conjuntos fuzzy e a Lógica Fuzzy, às quais foram generalizações dos conjuntos ordinários e da lógica clássica, que proporcionaram uma estrutura sistemática para representar conhecimentos qualitativos e com eles raciocinar [3].

O conceito de conjunto fuzzy foi sintetizado com o objetivo de generalizar a idéia representada pelos conjuntos ordinários que podem ser denominados como abruptos (crisp sets). Pode-se encará-los como uma espécie de predicado lógico cujos valores percorrem o intervalo [0,1] [4].

O grau de pertinência foi definido por meio de uma função característica generalizada, chamada de função de pertinência.

Um conjunto A da teoria dos conjuntos clássica pode ser visto como um conjunto nebuloso específico, denominado usualmente de *crisp*, onde a pertinência é do tipo "tudo ou nada", "sim ou não", "aprovado ou reprovado" e não gradual como para os conjuntos fuzzy [5].

Levando em consideração os dados abordados até o presente momento, assim como a matéria prima utilizada na composição do produto canote do garfo, as informações mostradas na tabela 1 foi que serviram como base para a criação das funções de pertinência para o sistema.

Tabela 1 – Condições para validação do canote do garfo

Bucha de 1 ¼"	Canote de 1"	Soma	Validação
3.00 mm	2.00 mm	5.00 mm	Aprovado
3.00 mm	1.90 mm	4.90 mm	Aprovado
2.25 mm	1.50 mm	3.75 mm	Reprovado
2.00 mm	1.20 mm	3.20 mm	Reprovado

Conforme os dados da tabela 1, as informações coletadas serviram como condições para análise e modelagem do sistema fuzzy que interagido com o programa de software MatLab, tornou-se possível as simulações realizadas, que chegaram aos resultados esperados.

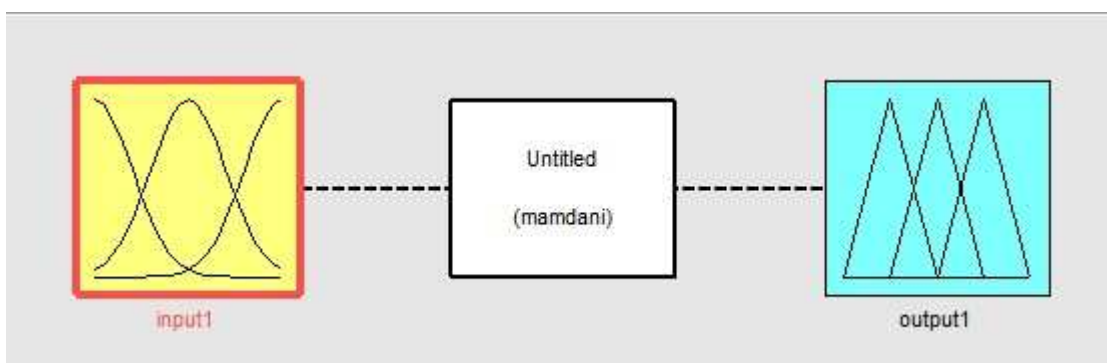


Figura 1 – Sistema Fuzzy

Acima podemos visualizar a tela gráfica do sistema fuzzy, o qual foi utilizado para obtenção de resultados de variáveis com o objetivo da validação do produto canote do garfo, onde os dados de entrada encontram-se descritos na tabelas 1.

Levando em consideração o conjunto nebuloso que corresponde ao grau de pertinência variando entre 0 e 1, e a lógica difusa, ou fuzzy grau de veracidade variável entre 0 e 1, pode-se chegar a condição de Aprovado e Reprovado após a validação do produto.

De acordo com a figura 1 e conforme visto anteriormente, o processo da Lógica Fuzzy foi dividido em três etapas ou fases, a fuzzyficação que corresponde a transformações das variáveis do problema em valores fuzzy, a inferência e a defuzzyficação.

### Fuzzyficação

Nesta etapa ocorreram as transformações das variáveis numéricas de entrada e de saída em termos ou adjetivos lingüísticos, tais como aprovado e reprovado, ambas definidas por conjuntos fuzzy, o qual determinou os correspondentes graus de pertinência das variáveis de entrada em relação aos conjuntos fuzzy. Para cada valor de entrada associamos uma função de pertinência, que permite obter o grau de verdade da proposição.

- Determinar o grau de pertinência de cada conjunto (proposição);
- Limitar o valor da entrada entre 0 e 1;

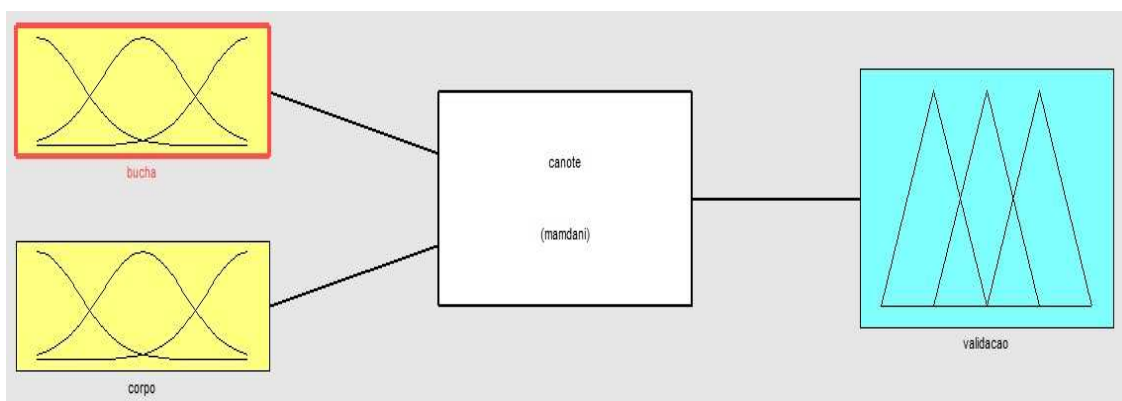


Figura 2 – Variáveis de entrada da bucha e corpo do canote

## Inferência

Esta segunda etapa chamada de inferência realizou a aplicação dos operadores fuzzy, assim como os operadores da lógica nítida. Os operadores usados na lógica fuzzy foram SE e Então, conhecidos como operadores de relação. Na lógica fuzzy são utilizados para definir o grau máximo e mínimo de pertinência do conjunto.

Ainda nesta fase ocorreu a aplicação do operador de implicação, usado para definir o peso no resultado e remodelar a função, ou seja, consistiu em criar uma hipótese de implicação. Como no exemplo abaixo:

- Se (bucha é RUIM) e (corpo é BOM) ENTÃO (validação é REPROVADO).

O exemplo acima só foi possível devido a formação do conjunto seqüencial de regras do tipo SE-ENTÃO. Essas regras foram definidas por especialistas ou considerando-se valores da literatura. Como condições, foram criadas o seguinte seqüenciamento de regras:

1. Se (bucha é RUIM) e (corpo é RUIM) Então (validação é REPROVADO) (1)
2. Se (bucha é RUIM) e (corpo é BOM) Então (validação é REPROVADO) (1)
3. Se (bucha é BOM) e (corpo é RUIM) Então (validação é REPROVADO) (1)
4. Se (bucha é BOM) e (corpo é BOM) Então (validação é APROVADO) (1)

Os resultados acima foram ativados no sistema através dos valores das variáveis de entrada fuzzyficados, os quais passaram para a etapa de inferência, com seus graus de pertinência em relação aos correspondentes conjuntos fuzzy.

A saída para cada seqüenciamento de regra definiu o grau de ativação da mesma. Em seguida os resultados obtidos com a ativação das regras foram condensados em um conjunto fuzzy de saída [6].

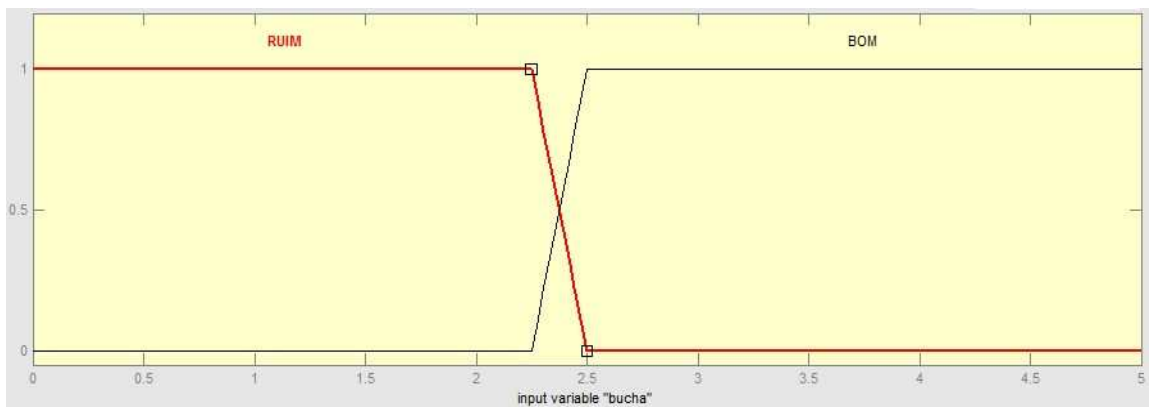


Figura 3 – Variável de entrada da bucha

As variáveis de entrada da bucha na figura 3 foram relacionadas com a figura 1, onde as condições para validação do canote dependeram dos valores atribuídos a bucha, os quais influenciaram nas saídas dos resultados obtidos, assumindo as primícias de RUIM e BOM.

Outro fator analisado foi o grau de pertinência variando entre 0 e 1, e a variação da espessura da bucha entre 0 e 5 mm.

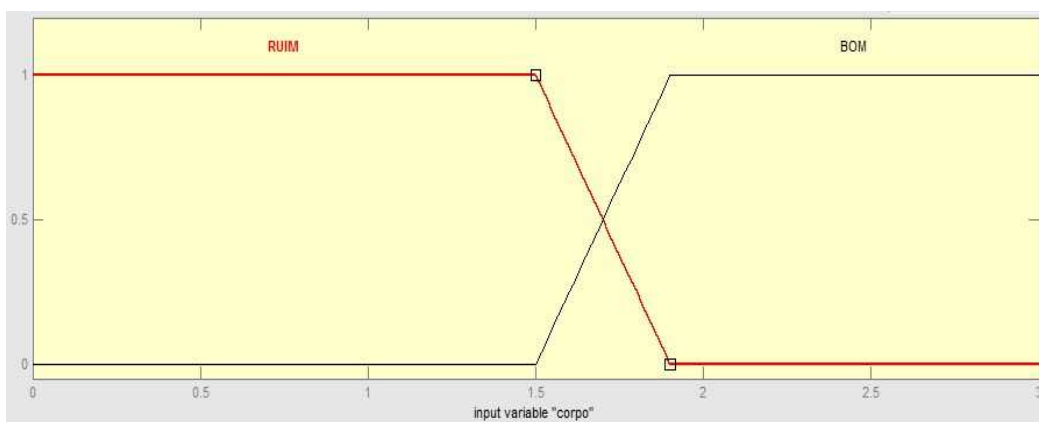


Figura 4 – Variável de entrada do corpo (canote)

Na figura 4 acima foi analisado o grau de pertinência e sua variação entre 0 e 1 respectivamente e a variação do corpo ou canote entre 0 e 3 mm, condições criadas conforme as regras feitas para a validação da peça.

Nas figuras 3 e 4, foram mostradas as funções de pertinência da margem de contribuição, sendo ambas trapezoidais, denominadas Aprovado e Reprovado.

## Defuzzyficação

Nesta última etapa ocorreu a combinação de todas as saídas fuzzy possíveis, ou seja, uma combinação de todas as saídas em um único conjunto fuzzy, algo semelhante ao processo de união e intersecção, na teoria dos conjuntos abruptos.

O resultado da base de seqüenciamento de regras foi um conjunto fuzzy, e em algumas aplicações fez-se necessário obter um valor crisp que represente este conjunto. Com este objetivo efetuou-se a defuzzyficação. O método de defuzzyficação utilizado foi o centróide, que fornece um valor correspondente à abscissa do baricentro do gráfico da função de pertinência da variável considerada. O resultado obtido foi interpretado como uma espécie de valor esperado do conjunto fuzzy, traçando-se uma analogia com as distribuições de probabilidade.

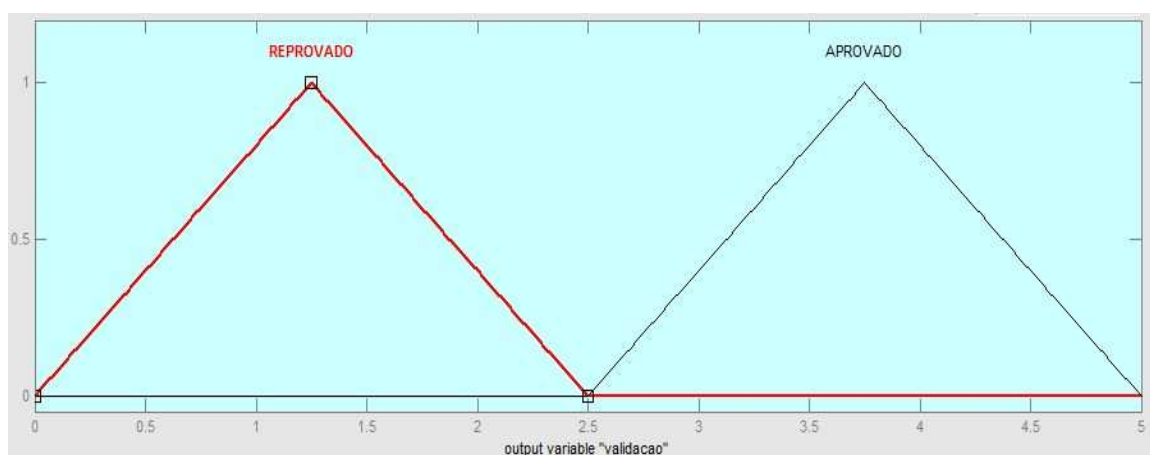


Figura 5 – Saída das variáveis de validação

Na figura 5, foi analisado o último passo no processo do raciocínio fuzzy, chamado de ‘defuzzyficação’ o qual consistiu em retornar os valores, obtivendo um valor numérico dentro da faixa estipulada pela lógica fuzzy.

## 4. Análise de resultados

Através do visualizador de regras foi permitida a interpretação do processo de inferência fuzzy de uma só vez, onde foi mostrada como a forma de adesão de algumas funções obteve influência no resultado como um todo, demonstrando cada regra e o resultado do sistema [7].

Os indicadores de entrada foram obtidos por intermédio de valores descritos conforme a tabela 1 em análise conjunta dos especialistas da empresa, tendo como visão a validação do produto canote do garfo.

Foi levada em consideração a descrição técnica da matéria prima utilizada para a fabricação do produto bem como a sua aprovação, onde os valores da mesma foram estimados em função de suas ações previstas no ambiente de manufatura do canote.

Foi definido um valor entre 0 ~ 5 para bucha do canote do garfo – bucha = 3, e definido um valor entre 0 ~ 3 para o corpo do canote do garfo – corpo = 1.9.

O resultado final do sistema foi de validação = 3.75, demonstrando que a condição mínima para que o produto fosse aprovado no teste de validação, foi de 3 mm para a bucha e 1.9 mm para o corpo do canote, onde após o processo de defuzzyficação chegasse na margem esperada de 3.75 mm, valor correspondente para a condição de aprovação do produto canote.

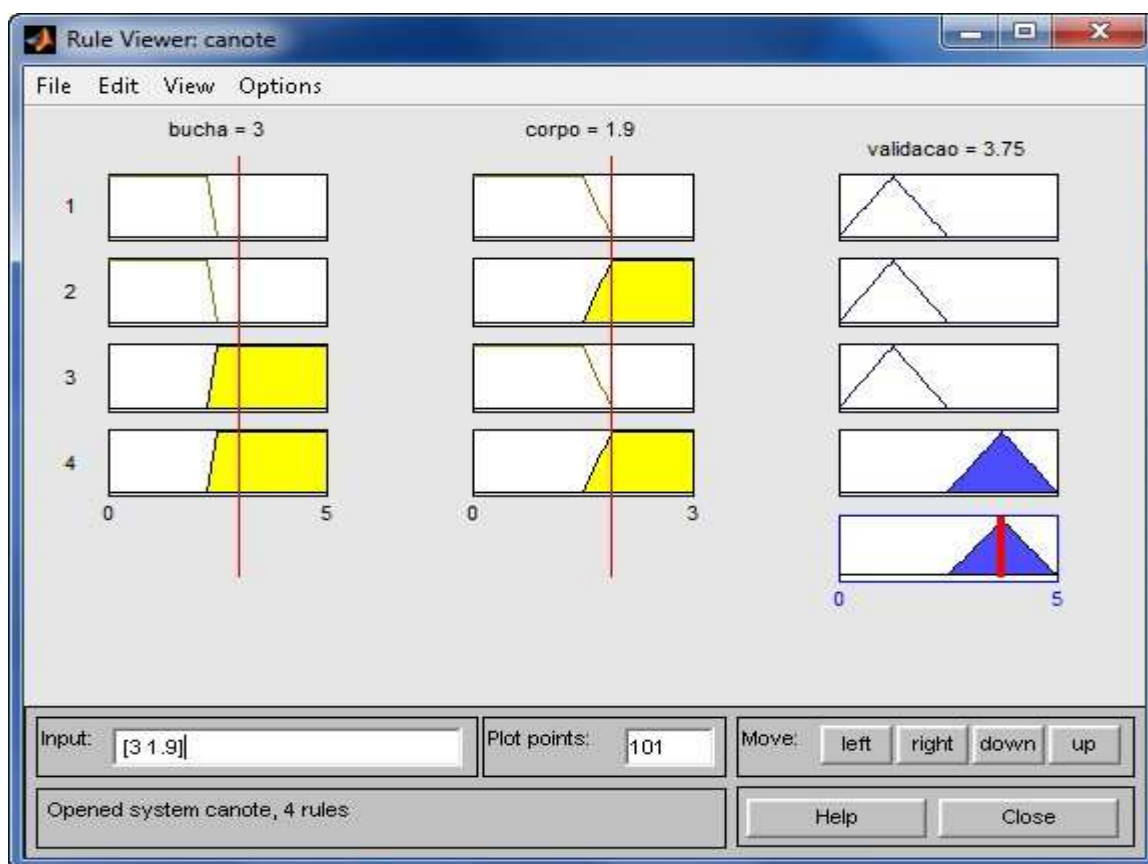


Figura 6 – Saída do sistema de seqüenciamento

## 5. Considerações Finais

Conforme a preparação para a validação do produto canote do garfo, aprendemos que alguns dos fatores relevantes a este processo de simulação da peça foram fundamentais para a aprovação do produto canote do garfo. A descrição técnica da matéria prima (aço carbono), o programa de software MatLab 7.0 e a aplicação da Lógica Fuzzy, contribuíram para alcançar a aprovação do canote.

Após o processo de transformações das variáveis numéricas de entrada e de saída, segundo os respectivos valores inseridos na mesma, foi possível realizar na inferência o grau de pertinência que mostrou a qualidade do produto, sendo bom ou ruim, ou seja, aprovado ou reprovado segundo o processo de defuzzyficação, o qual mostrou as saídas das variáveis de validação atingindo o objetivo para o qual foi projetado.

## **6. Conclusões**

A partir da aplicação da lógica fuzzy utilizada neste artigo, foi analisado o comportamento mecânico e virtual do produto canote do garfo frente aos testes de simulações realizados no programa matLab 7.0, onde ficou evidente que a peça em questão atingiu a meta para qual foi elaborada, chegando ao resultado esperado durante o processo de fuzzyficação, sendo validada e aprovada conforme o seqüenciamento das regras criadas como condições para alcançar o resultado final.

Neste processo virtual, o aprendizado que resultou dos recursos tecnológicos computacionais contribuiu em prol do sucesso alcançado, onde a ferramenta computacional MatLab 7.0 e a utilização da Lógica Fuzzy, juntamente com as variáveis de entradas baseadas nos dados da tabela 1, específicas para este produto, aliadas de precisão e qualidade, foram os fatores determinantes que contribuíram para o sucesso dos ensaios virtuais realizados. Podemos então afirmar com certeza que baseado nas simulações realizadas neste artigo, a empresa responsável pela fabricação do canote do garfo usufruiu das ferramentas computacionais de informática, onde a mesma economizou tempo e custo ganhando com isso precisão nos resultados referente ao material a ser utilizado, além da eficiência e qualidade oferecida pelo programa de software.

**AGRADECIMENTOS.** Ao Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia – ITEGAM, pelo convênio firmado com a Universidade Federal do Pará – UFPA, do curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Processos Industriais/ CMPPI.

## **Referências**

1. NBR5426: 1985 – NIRIO. Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, [S.d.], 63p.
2. NBR5427: 1977 – NIRIO. Guia para utilização da norma NBR 5426 planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos - Procedimento. RC: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, [S.d.], 48p.
3. G. J. P. Saraiva, Lógica fuzzy, Ciência e Tecnologia do Exército, v. 17, n. 3, pp. 43-66, (2000).
4. H. A. Oliveira Júnior. “Lógica Difusa Aspectos Práticos e Aplicações”, Ed. Interciência, 1999.
5. S. Sandri, C. Correa, Lógica Nebulosa, V Escola de Redes Neurais, ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), pp. c073-c090, 1999.
6. L. A Zadeh. Fuzzy Sets, Information and Control, vol. 8, pp. 338-353, (1965).
7. FUZZY LOGIC TOOLBOX USER`S GUIDE – For Use with MATLAB, version 2, 1999.