

# A LÓGICA FUZZY APLICADA NA ANÁLISE DE USABILIDADE DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS EMBARCADOS

## **Rodrigo Costa dos Santos**

Mestre em Administração pelas faculdades IBMEC-RJ  
Analista de Sistemas das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobrás.  
Av. Marechal Floriano, 19 – 3º andar – Centro  
Rio de Janeiro, RJ – Brasil – CEP.: 20.080-003  
E-mail: rodrigo@eletrobras.com

## **Maria Augusta Soares Machado**

Doutora em Engenharia Elétrica - PUC-RJ  
Professora Adjunta das faculdades IBMEC-RJ  
Av. Presidente Wilson, 118 – 11º andar – Centro  
Rio de Janeiro, RJ – Brasil – CEP.: 22.280-001  
E-mail: mmachado@ibmecrj.br

## **Raphael Correia Zanola**

Pesquisador associado às Faculdades IBMEC-RJ  
Av. Presidente Wilson, 118 – 11º andar – Centro – RJ.  
E-mail: raphaelzanola@hotmail.com

## **Danilo Jusan Santos**

Pesquisador associado às Faculdades IBMEC-RJ  
Av. Presidente Wilson, 118 – 11º andar – Centro – RJ.  
E-mail: danjusan@hotmail.com

## **Resumo**

Os sistemas embarcados estão presentes em quase todo equipamento eletrônico dotado de algum tipo de controle mais avançado, desde telefones celulares até equipamentos militares. Neste sentido, a usabilidade desses sistemas é fundamental, pois é uma característica que determina a facilidade de uso e de aprendizagem, eficiência, eficácia, ocorrências de erros, culminando na satisfação dos seus usuários. O presente estudo propõe uma metodologia com o uso da lógica fuzzy para avaliar um sistema do ponto de vista da usabilidade. Para validar o estudo, foi feita uma análise da Calculadora HP12C tendo em vista ser um equipamento de grande popularidade e utilizado no mundo inteiro para cálculos financeiros. Foram aplicados questionários a fim de medir vários construtos da usabilidade e depois avaliados através da estatística convencional e utilizando a lógica fuzzy. Verificou-se que não existe um valor final para a usabilidade, mas sim várias avaliações, uma para cada métrica estudada.

**Palavras-Chaves:** Sistemas Embarcados; Lógica Fuzzy; Usabilidade; Ergonomia.

## **Abstract**

The Embedded systems are present in almost all electronic appliances endowed with some type of more advanced control, from cell phones up to military equipments. Based on that, the usability of these systems is essential, therefore it is a characteristic that determines the easiness of use and learning, efficiency, effectiveness, occurrences of errors, ending in the satisfaction of its users. The present paper proposes a methodology with the use of the fuzzy logic to evaluate a system of the point of view of the usability. To validate the study, an analysis has done for a HP12C Calculator, which is an equipment of great popularity and used in the whole world for financial calculations. Questionnaires had been applied in order to

measure some constructs of the usability and later evaluated through the conventional statistics and using the fuzzy logic. It was verified that a final value for the usability does not exist, but several evaluations, with one result for each metric.

**Keywords:** Embedded Systems; Fuzzy Logic; Usability; Ergonomics.

## 1. Introdução

Os sistemas embarcados fazem cada vez mais parte do nosso dia-a-dia. Estão presentes nos eletrodomésticos, telefones celulares, MP3 players, nos carros, etc. esses sistemas executam tarefas específicas e rotinas somente com objetivo de dar função ao dispositivo em que está “embarcado”.

Hoje, a demanda desses dispositivos dedicados requer maior sofisticação, incluindo novas funções e, muitas vezes, displays de vídeo para uma melhor experiência por parte do usuário final.

Essa necessidade também reflete na qualidade do sistema, especialmente em uma característica chamada Usabilidade. A usabilidade de um sistema deve prover ao usuário facilidade de interação, com eficácia, eficiência e satisfação, constituindo um fator relevante para motivar o usuário.

O presente artigo propõe uma metodologia para avaliar sistemas embarcados sob o ponto de vista da usabilidade e verificar como essa usabilidade pode tornar a utilização do equipamento mais agradável e ágil, com um alto grau de usabilidade.

Para validar a pesquisa, foi avaliado um sistema de uma Calculadora Científica bastante conhecida no meio financeiro. Os dados foram coletados através de questionários e os resultados obtidos através de dois métodos: a estatística convencional e de uma metodologia usando a Lógica Fuzzy.

Primeiramente é realizada uma revisão da literatura com relação à usabilidade de sistemas, sistemas embarcados e sobre a lógica fuzzy. Depois é apresentada a metodologia utilizada para realização da pesquisa, seguida da avaliação dos resultados. Finalizando com as conclusões da pesquisa.

Verificou-se que não existe um resultado único para avaliar o grau de usabilidade de um sistema, mas sim um conjunto de critérios ou métricas que são selecionados para a avaliação da usabilidade, que podem apresentar resultados diferentes entre si.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Usabilidade de Sistemas

O termo usabilidade é frequentemente usado para se referir à capacidade de um produto ser facilmente usado; porém, somente essa definição simplifica demais o problema, que envolve atender as expectativas do usuário de forma completa.

A usabilidade de sistemas especificamente tem como objetivo elaborar interfaces de sistemas capazes de permitir uma interação fácil, agradável, com eficácia e eficiência. Ela deve capacitar a criação de interfaces transparentes de maneira a não dificultar o seu uso, permitindo ao usuário pleno controle do ambiente sem se tornar um obstáculo durante a interação.

Quando um sistema possui uma interface amigável e possibilita ao usuário utilizá-lo de forma intuitiva, a usabilidade pode se tornar um fator de motivação e ter seu usuário como um aliado, ao passo que se essa motivação não for atingida, essa situação pode-se reverter e se tornar um fator de rejeição do sistema (SHACKEL, 1986).

A usabilidade pode ser medida sob vários aspectos. Segundo a ISO 9241 (1998), por exemplo, a usabilidade de sistemas pode ser medida através de indicadores de eficiência, eficácia e satisfação dos seus usuários.

Com relação às técnicas para avaliação de usabilidade de sistemas, existem várias: baseadas em questionários aplicados aos usuários, baseadas em modelos formais, base de conhecimento, checklists, ensaios de interação ou sistemas de monitoramento (CYBIS, 2006).

No caso de um software que já existente ou que está sendo utilizado em uma empresa, a técnica mais aderente é a aplicação de questionário, pois ninguém melhor do que os próprios usuários para opinarem a respeito da usabilidade do sistema. Eles que estão em contato com o sistema no dia-a-dia.

## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1. Histórico da Usabilidade**

Foi durante a Segunda Guerra Mundial que começaram as primeiras preocupações com a interação entre seres humanos e máquinas. A tecnologia cada vez mais avançada, novos aviões, radares, mísseis, demandavam respostas cada vez mais rápidas dos operadores desses equipamentos, e o manuseio desses equipamentos precisava estar cada vez mais adequado às características físicas, psíquicas e cognitivas humanas. Nascia aí a Ergonomia, área da ciência que estuda a correta adequação de produtos ao trabalho humano (MORAES, 2006).

Com o fim da Segunda Guerra, a ergonomia focou-se nas máquinas do nosso dia-a-dia, como eletrodomésticos, automóveis e equipamentos eletrônicos. Mais tarde a indústria dos computadores veio revolucionar essa área, pois também veio a se beneficiar desses estudos.

A partir da década de 1970, a Ergonomia passou a contribuir também para o desenvolvimento de sistemas interativos. Para reduzir custos de produção e manutenção, os ergonomistas criaram novas metodologias que identificassem problemas relativos ao contexto de uso dos sistemas. Esse conjunto de métodos e técnicas estruturadas passou a ser conhecido como Engenharia de Usabilidade ou simplesmente Usabilidade (NASCIMENTO, 2006).

De acordo com Shackel (1986), a definição de usabilidade foi introduzida por Miller em 1971 através de métricas relacionadas a “facilidade de uso”. Miller identificou vários critérios para mensurar a facilidade de uso, como por exemplo: tempo de aprendizado, número de erros e tolerância à falhas (MILLER, 1971).

Em 1979, Bennett deu início a questão da usabilidade no contexto da Interação Humano-Computador (IHC), que é a área de pesquisa que estuda a comunicação entre pessoas e sistemas, apontando que a usabilidade sugere interação e indicando a possibilidade de mensuração da satisfação do usuário (BENNETT, 1979).

Mais tarde, Shackel (1986) ampliou o conceito de usabilidade incluindo uma visão centrada no usuário e no ambiente em que o sistema está sendo utilizado, e apresentou quatro critérios para medir usabilidade: Eficácia, Aprendizagem, Flexibilidade e Atitude.

Outro estudioso no assunto e que foi considerado o “guru da usabilidade” é Jakob Nielsen (1993) que defende que a usabilidade tem como objetivo proporcionar interfaces agradáveis para o usuário e que permitam fácil interação, com eficácia e eficiência.

Após a apresentação de vários desses trabalhos relacionados à usabilidade, em 1998 a ISO criou a norma 9241 que trata de qualidade de pacotes de sistemas e também considera questões sobre usabilidade tratada sobre a visão do usuário e seu contexto, bem como características ergonômicas do produto e defende que a usabilidade pode ser compreendida como sendo a capacidade que apresenta um sistema interativo de ser operado, de maneira eficaz, eficiente e agradável, em um determinado contexto de operação, para a realização das tarefas de seus usuários (ISO 9241, 1998).

## 2.2. Usabilidade de Sistemas

A usabilidade de sistemas reúne características de um determinado produto de software ser fácil de usar, fácil e rápido de aprender, não provocar erros ou caso ocorram sejam facilmente resolvidos, solucionar as tarefas que ele se propõe a resolver com eficiência e eficácia e oferecer um alto grau de satisfação para seus usuários (ISO 9241, 1998; NIELSEN, 1993; JORDAN, 1998).

A usabilidade de sistemas tem como objetivo orientar na elaboração de interfaces capazes de permitir uma interação fácil, agradável, com eficácia e eficiência. Ela deve capacitar a criação de interfaces transparentes de maneira a não dificultar o seu uso, permitindo ao usuário pleno controle do ambiente sem se tornar um obstáculo durante a interação. A interface é um dos componentes fundamentais para estabelecer a comunicação com o usuário e permitir que ele interaja com o sistema (NORMAN, 1986).

## 2.3. Sistemas Computacionais Embarcados

Os sistemas computacionais embarcados são sistemas especiais que executam funções dedicadas e se encontram encapsulados ao dispositivo ou ao sistema que ele controla. Na grande maioria das vezes esses dispositivos apresentam uma interface para interação com o seu usuário, que podem se apresentar de diversas formas diferentes (CARRO & WAGNER, 2003).

Diferente dos sistemas que são executados em computadores pessoais, um sistema embarcado realiza um conjunto de ações pré-definidas, com objetivo de realizar tarefas específicas.

Sistemas embarcados em equipamentos estão presentes cada vez mais em nosso cotidiano. São exemplos aqueles sistemas que são executados em telefones celulares, máquinas fotográficas digitais, videogames, calculadoras, handhelds, equipamentos médicos, eletrodomésticos, sistema de controle de carros, tens, navios, sonares, radares, controle de vôo e outros sistemas integrados em aeronaves, como sistemas de orientação de mísseis.

## 2.4. Lógica Fuzzy

A Lógica Fuzzy ou matemática nebulosa foi criada em 1965 a partir da publicação do artigo intitulado "Fuzzy Sets" por Lofti A. Zadeh, engenheiro eletrônico e professor da Universidade da Califórnia, Berkeley (COSTA et al, 2005).

Ao contrário da lógica proposta por Aristóteles, filósofo grego (384 - 322 a.C.), que define uma regra rígida, atribuindo às afirmações valores "verdadeiro" ou "falso", a lógica fuzzy é baseada no uso de aproximações e consegue traduzir expressões verbais, imprecisas e vagas, comuns na comunicação humana, em valores numéricos (SIMÕES & SHAW, 1999).

A Lógica Fuzzy é baseada na teoria dos Conjuntos Fuzzy. Esta é uma generalização da teoria dos Conjuntos Tradicionais para resolver os paradoxos gerados à partir da classificação "verdadeiro ou falso" da Lógica Clássica. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou "completamente verdadeiro" ou "completamente falso". 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. Com a incorporação do conceito de "grau de verdade", a teoria dos Conjuntos Fuzzy estende a teoria dos Conjuntos Tradicionais. Os grupos são rotulados qualitativamente (usando termos lingüísticos, tais como: alto, morno, ativo, pequeno, perto, etc.) e os elementos destes conjuntos são caracterizados variando o grau de pertinência (valor que indica o grau em que um elemento pertence a um conjunto). Por exemplo, temperaturas entre 30° (trinta graus) e 40° (quarenta graus) pertencem ao conjunto

das “temperaturas altas”, embora a temperatura de 40° tenha um grau de pertinência maior neste conjunto (OLIVEIRA JR. et al, 2007).

O objetivo de utilizar conjuntos fuzzy vem da necessidade de trabalhar com conjuntos do mundo real que não possuem limites precisos. Um conjunto fuzzy é um agrupamento impreciso ou indefinido, ou seja, um elemento pode ser membro de um conjunto de forma parcial, representado por um valor fracionário dentro de um intervalo numérico (SIMÕES & SHAW, 1999). Esse valor fracionário é representado por uma função de pertinência.

## 2.5. Números Triangulares Nebulosos

Os números triangulares nebulosos são números nebulosos especiais e seguem o modelo matemático a seguir (BRAGA, BARRETO & MACHADO, 1995):

$$f(x: a,b,c) \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x < b \\ (c-x)/(c-b); & b \leq x < c \\ 0; & c \leq x \\ \text{Restrição:} & a < b < c \end{cases}$$

A representação gráfica de um número triangular nebuloso com  $a = 2$ ,  $b = 4$  e  $c = 6$  pode ser observada na figura 1.

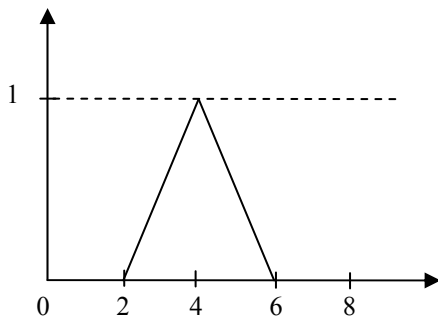


Figura 1 – Representação gráfica de um número triangular nebuloso

Dois conceitos muito importantes acerca dos números triangulares nebulosos são: MODA e AMPLITUDE. A Moda representa o valor do número nebuloso cuja pertinência é igual a 1 (um) e a Amplitude é a metade da base do número nebuloso e representa o intervalo de confiança do número. A Amplitude é inversamente proporcional à confiança que se tem no valor da função de pertinência: Quanto menor amplitude, maior a confiança nos dados; Quando maior a amplitude, menor a confiança nos dados (BRAGA, BARRETO & MACHADO, 1995).

Dado um número nebuloso triangular (4|2), têm-se Moda 4 e Amplitude 2. Em uma escala [0;2;4;6;8], o conjunto nebuloso resultante é:

$$A(X) = 0|0 + 0.5|2 + 1|4 + 0.5|6 + 0|8$$

Sua representação gráfica é idêntica ao da figura 1.

## 3. Metodologia

Dada a importância dos Sistemas Computacionais Embarcados nos dias de hoje e sua crescente comercialização em cada vez maior diversidade de equipamentos, a presente pesquisa apresenta uma metodologia para a análise e avaliação da usabilidade aplicada à esses sistemas. Para validar e demonstrar a metodologia proposta foi escolhido a Calculadora HP modelo 12C, que é uma calculadora financeira produzida pela Hewlett-Packard e muito

utilizada por pessoas que precisam de velocidade e precisão na execução de cálculos financeiros (HP, 2007).

A escolha se deu devido ao fato de ser um dispositivo que possui um sistema embarcado, e por ser um equipamento largamente difundido, haja vista que já se passaram mais de 25 anos do seu lançamento e ainda é utilizada por usuários no mundo inteiro (HP, 2007).

Esse estudo apresenta características de pesquisa aplicada, pois, segundo Vergara (2000), a pesquisa aplicada tem por objetivo utilizar um caso real para fundamentar sua análise. A pesquisa aplicada é motivada pela necessidade de se resolver problemas concretos com finalidade prática.

Para a avaliação da usabilidade de sistemas computacionais embarcados, recorreu-se ao trabalho de Santos e Machado (2007) que apresenta as seguintes métricas para avaliação de usabilidade, e que serão as mesmas utilizadas por esta pesquisa:

- Facilidade de aprender;
- Facilidade de lembrar;
- Controle de erros;
- Eficiência;
- Eficácia;
- Satisfação.

Esse conjunto de métricas foi estabelecido depois de uma revisão da literatura de bases científicas brasileiras entre 1995 a 2006. Essas métricas de usabilidade de sistemas foram baseadas na norma internacional nº 9126 da ISO (*International Organization for Standardization*) e nos critérios de avaliação segundo alguns autores como Shackel, Nielsen, Bastien & Scapin, Jordan, Shneiderman e Quesenbery (SANTOS & MACHADO, 2007).

O próximo passo foi aplicar um questionário aos usuários da Calculadora HP 12C. O questionário foi aplicado no período de 23/07/2007 à 17/08/2007 à uma amostra de trinta usuários, estudantes de curso de graduação em administração e economia de uma universidade do Rio de Janeiro, que utilizam o equipamento com uma frequência alta e com uma média de experiência de uso da calculadora de dois anos.

O questionário possui trinta questões. Para cada questão foi adotada a escala de Likert para a resposta, que é uma escala em que os respondentes são solicitados não só a concordarem ou discordarem das afirmações, mas também a informarem qual o seu grau de concordância ou discordância (MATTAR, 1997). O tamanho da escala de Likert utilizada para medir a usabilidade foi a de cinco pontos: (Muito Baixa; Baixa; Média; Alta; Muito Alta).

Cada questão corresponde à um construto que por sua vez corresponde à uma das seis métricas de usabilidade. Esse conjunto construtos tem como objetivo compor o conceito geral de cada métrica, conforme apresentados a seguir.

Para a métrica **facilidade de aprender** ou inteligibilidade, que segundo a ISO 9126 (2003), é a capacidade de o software possibilitar ao usuário aprender a manuseá-lo, foram avaliados os seguintes construtos:

- A) Facilidade que o usuário tem ao completar uma tarefa pela primeira vez;
- B) Primeira impressão que o usuário tem ao utilizar o sistema;
- C) Número de tentativas realizadas para aprender concluir uma tarefa;
- D) Tempo para conseguir aprender a realizar uma tarefa com sucesso;
- E) Facilidade de aprender uma tarefa;
- F) Número de possibilidades diferentes que o sistema oferece para realizar a mesma tarefa, por exemplo: caminho padrão versus teclas de atalhos, caminhos mais curtos, macros, botões específicos, etc;
- G) Ganho de produtividade com relação à maneira mais rápida que o usuário consegue realizar uma tarefa, comparando com a maneira padrão que o sistema oferece;

- H) Flexibilidade que o sistema tem para executar as tarefas de maneiras diferentes, como por exemplo: personalização de atalhos, valores, menus, macros, etc;
- I) Capacidade de o sistema guiar através de sua execução com dicas, ajuda, avisos, etc;
- J) Agilidade para completar uma tarefa com sucesso no sistema pela primeira vez.

Para a métrica **facilidade de lembrar**, que segundo Nielsen (1993) avalia as funcionalidades do sistema para que sejam fáceis de lembrar, mesmo após o usuário ficar certo período de tempo sem usá-lo, foram avaliados seguintes construtos:

- A) Lembrar como executar uma tarefa após um período de tempo sem utilizar o sistema;
- B) Facilidade para lembrar a utilização do sistema;
- C) Agilidade para lembrar o uso do sistema após um período de tempo sem utilizar o mesmo.

Para a métrica **controle de erros**, que segundo a Nielsen (1993) significa que o sistema deve produzir um número de erros reduzido e caso um erro ocorra, o usuário deve poder resolvê-lo ou ignorá-lo de forma rápida e simples, foram avaliados os seguintes construtos:

- A) Quantidade de erros provocados pelo sistema;
- B) Tempo de retomada ao funcionamento normal do sistema quando um erro ocorre;
- C) Sentimento com relação à quantidade de erros provocados pelo sistema;
- D) Retrabalho devido à quantidade de erros provocados pelo sistema que causa alguma perda de informação;
- E) Tempo gasto para retomar a execução da tarefa no ponto em que se parou quando um erro ocorre;
- F) Satisfação com relação à recuperação do erro por parte do sistema, desfazer, refazer, voltar, salvar antes de fechar, etc.;
- G) Clareza das mensagens de erros apresentadas pelo sistema.

Para a métrica **eficiência**, que segundo a ISO 9126 (2003) é a capacidade de o software possibilitar ao usuário operá-lo e controlá-lo, foram avaliados os seguintes construtos:

- A) Performance apresentada pelo sistema;
- B) Velocidade na realização das tarefas;
- C) Produtividade do sistema;
- D) Manter o sistema sob seu controle.

Para a métrica **eficácia**, que segundo Quesenbery (2001) avalia como as tarefas foram exatamente concluídas, e com que frequência elas produzem erros, foram avaliados os seguintes construtos:

- A) Quantidade de passos para realizar uma tarefa;
- B) Tempo para realizar uma tarefa qualquer no sistema;
- C) Número adequado de passos para realizar uma tarefa no sistema.

Para a métrica **satisfação** ou atratividade, que segundo a ISO 9126 (2003) é a capacidade do software em atrair o usuário, ser agradável, foram avaliados os seguintes construtos:

- A) Interação com a interface do sistema;
- B) Realização das tarefas no sistema, com relação à clareza das mensagens, recuperação de erros, etc.;
- C) Sentimento do usuário ao usar o sistema de maneira geral.

Após a coleta de dados e a consolidação das opiniões dos usuários, foi aplicada uma metodologia Fuzzy, a fim de encontrar um número triangular nebuloso resultante das frequências das opiniões dos usuários para o conjunto dos construtos que compõem a métrica avaliada.

O primeiro passo foi determinar a porcentagem das opiniões dos usuários, conforme tabela 1, e depois normalizar esses valores. Em seguida, para cada questão, foi necessário encontrar um número triangular nebuloso que mais se aproximava à frequência de opinião dos usuários normalizada, através da semelhança entre os conjuntos.

Depois de descoberto todos os números triangulares nebulosos semelhantes para cada questão, o próximo passo foi determinar o conceito de usabilidade para a métrica como um todo. Para isso foi encontrado um número nebuloso médio (NNM) dentre os números triangulares nebulosos encontrados para cada questão e depois normalizá-lo, o que deu origem ao número nebuloso médio normalizado (NNMN), conforme apresentado nas figuras 2 a 7.

Por fim, o NNMN foi comparado aos números triangulares nebulosos de mesma moda e assim encontrou-se o número triangular nebuloso final que representa a classificação final para a métrica.

A partir desse último número nebuloso (NN) encontrado, pode-se chegar a duas conclusões muito importantes:

a) A **Moda** desse número triangular nebuloso final determina o conceito final para a métrica, conforme se segue:

*0 – Muito Ruim; 2 – Ruim; 4 – Média; 6 – Boa; 8 – Muito Boa;*

b) A **Amplitude** desse número triangular nebuloso final determinará a dispersão média das opiniões dos usuários, e por consequência sua qualidade no resultado final. A amplitude está associada à confiança que se tem no valor da função de pertinência. Quanto menor a amplitude do intervalo, maior a confiança nos dados e quanto maior a amplitude do intervalo, menor a confiança que se tem nos dados (BRAGA, BARRETO & MACHADO, 1995).

Para efeito dessa metodologia, a amplitude representa a dispersão das opiniões dos usuários e é interpretada da seguinte forma:

*1 – Mínima; 2 – Média; 3 – Alta; 4 – Muito Alta;*

Quando a amplitude encontrada no resultado final da métrica for maior ou igual a 3 (Alta), recomenda-se que o sistema reavaliado sob o ponto de vista desta métrica e que se aumente a amostra dos usuários pesquisados.

## 4. Resultados

A seguir apresentam-se as estatísticas das opiniões respondidas no questionário preenchido pelos trinta usuários, bem como a descrição da estatística básica e em seguida os números triangulares nebulosos resultantes para cada métrica e sua interpretação.

### 4.1. Descrição estatística da amostra

Para cada construto apurou-se a frequência e a porcentagem da opinião dos usuários desmembrada pela escala do grau de usabilidade (Muito Baixa até Muito Alta). O resultado está apresentado na Tabela 1.

Para a métrica facilidade de aprender, conforme Tabela 1, considerando que esse sistema é usado para execução de cálculos financeiros, observa-se que a interface do sistema apresenta uma discreta facilidade de aprendizagem. Dois construtos chamaram a atenção pelo fato de sua moda se encontrar em um grau de usabilidade muito baixo, são eles o F e o I.



O construto F, que diz respeito ao sistema oferecer caminhos diferentes para executar uma mesma tarefa, deixando assim o usuário mais confortável para escolher a melhor maneira para executar sua tarefa, apontou que 57% dos usuários acham a usabilidade média.

O construto I, que mede uma funcionalidade semelhante ao construto F, que é a flexibilidade de se executar uma tarefa de diferentes maneiras, obteve o pior resultado, 43% dos usuários julgaram a usabilidade como baixa e 30% julgaram como muito baixa, totalizando 73% dos usuários concentrados nos graus Muito baixo e Baixo.

Construto	Grau de Usabilidade				
	0-Muito Baixo	2-Baixo	4-Médio	6-Alto	8-Muito Alto
<b>Facilidade de Aprender</b>					
A - Facilidade que o usuário tem ao completar uma tarefa pela primeira vez	3%	37%	40%	20%	0%
B - Primeira impressão que o usuário tem ao utilizar o sistema	0%	10%	37%	33%	20%
C - Número de tentativas realizadas para aprender concluir uma tarefa	0%	23%	30%	47%	0%
D - Tempo para conseguir aprender a realizar uma tarefa com sucesso	0%	10%	20%	63%	7%
E - Facilidade de aprender uma tarefa	0%	10%	23%	60%	7%
F - Opções de maneiras diferentes para realizar a mesma tarefa	3%	20%	57%	17%	3%
G - Ganho de produtividade em relação ao padrão oferecido	0%	13%	20%	40%	27%
I - Flexibilidade para executar tarefas de maneiras diferentes	0%	30%	33%	27%	10%
J - Capacidade de guiá-lo através de sua execução com dicas, avisos, etc.	30%	43%	20%	7%	0%
L - Agilidade para completar tarefa com sucesso no sistema pela 1ª vez	0%	13%	37%	43%	7%
<b>Facilidade de Relembrar</b>					
A - Relembrar como executar uma tarefa após um tempo sem utilizá-lo	0%	7%	33%	47%	13%
B - Facilidades para relembrar a utilização do sistema	0%	0%	23%	63%	13%
C - Agilidade para relembrar, após um período de tempo sem utilização	0%	3%	50%	40%	7%
<b>Controle de Erros</b>					
A - Quantidade de erros provocados pelo sistema	0%	0%	13%	57%	30%
B - Retomada ao funcionamento normal após a ocorrência de um erro	0%	17%	7%	63%	13%
C - Sentimento com relação à quantidade de erros provocados pelo sistema	0%	10%	40%	33%	17%
D - Quantidade de erros provocados pelo sistema	0%	10%	23%	40%	27%
E - Tempo gasto para retomar a execução da tarefa causada por um erro	3%	10%	40%	40%	7%
F - Satisfação com relação à recuperação do erro por parte do sistema, desfazer, refazer, voltar, salvar antes de fechar, etc.	0%	30%	27%	37%	7%
G - Clareza das mensagens de erros apresentadas pelo sistema	10%	30%	40%	17%	3%
<b>Eficiência</b>					
A - Performance apresentada pelo sistema	3%	0%	7%	60%	30%
B - Velocidade na realização das tarefas	0%	10%	13%	63%	13%
C - Produtividade do sistema	0%	3%	7%	53%	37%
D - Manter o sistema sob seu controle	0%	0%	10%	63%	27%
<b>Eficácia</b>					
A - Quantidade de passos para realizar uma tarefa	0%	10%	13%	63%	13%
B - Tempo para realizar uma tarefa qualquer no sistema	0%	3%	7%	53%	37%
C - Número adequado de passos para realizar uma tarefa no sistema	0%	0%	10%	63%	27%
<b>Satisfação</b>					
A - Interação com a interface do sistema	0%	3%	23%	70%	3%
B - Clareza das mensagens, recuperação de erros, etc.	7%	10%	40%	33%	10%
C - Sentimento do usuário ao usar o sistema de maneira geral	0%	3%	0%	77%	20%

Tabela 1 – Tabulação dos resultados da avaliação da usabilidade do sistema

Para a métrica facilidade de lembrar, conforme Tabela 1, observando-se o resultado isoladamente, os usuários apresentam certa facilidade em lembrar as ações executadas pelo sistema, embora a agilidade nesse processo ainda seja baixa, conforme resultado apresentado construto C, que traz 50% dos usuários concentrados em uma avaliação média de usabilidade.

Para a métrica controle de erros, conforme Tabela 1, aparentemente, os usuários estão medianamente satisfeitos. Embora o sistema aparentemente provoque poucos erros, conforme mostra o construto A em que 87% dos usuários julgaram a usabilidade entre Alta e Muito Alta. A clareza das mensagens de erro ainda é uma barreira na interação com o usuário, conforme construto G, que traz a moda das opiniões no grau Médio de usabilidade.

As métricas Eficácia e Eficiência foram as que apresentaram um resultado mais homogêneo, conforme Tabela 1, aparentemente, os usuários estão satisfeitos com esses quesitos, com as respostas dos usuários concentrando-se no grau Alto de usabilidade.

A métrica Satisfação, que mede a satisfação geral do usuário com relação ao sistema, apresentou um grau de usabilidade Alto, exceto por um quesito que se concentrou no grau Médio, que é justamente no quesito que media o grau de satisfação do usuário com relação à clareza das mensagens de erro e na recuperação de erros.

## **4.2. Números nebulosos**

Os cálculos necessários para análise fuzzy dos resultados das métricas foi realizado utilizando o software matemático MatLab, que gerou os resultados graficamente para cada métrica estudada.

O gráfico apresentado para cada métrica representa dois conjuntos. O primeiro conjunto, simbolizado por uma linha com marcadores em forma de quadrado, representa o número nebuloso médio normalizado (NNMN) que é equivalente a média de todas as frequências encontradas para as questões daquela métrica. O segundo conjunto, simbolizado pela linha com marcadores em forma de círculo, representa o número nebuloso (NN) na forma triangular mais semelhante ao primeiro conjunto, e representa o resultado final para a métrica avaliada.

### **a) Facilidade de Aprender**

O número triangular nebuloso obtido para medir a Facilidade de Aprender está apresentado na figura 2. Observa-se que a opinião média é 6 (satisfação boa) com amplitude 4, indicando uma dispersão Muito Alta na opinião dos entrevistados. Portanto não podemos afirmar que o sistema está adequado em relação à eficácia, pois a confiabilidade é muito baixa. Deve-se aumentar o tamanho da amostra com a finalidade de diminuir a amplitude do resultado.

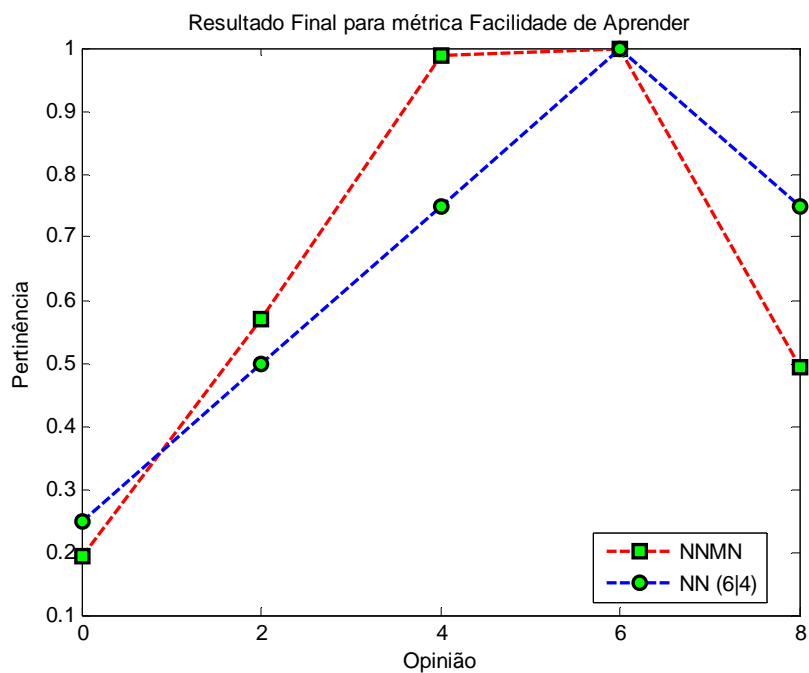


Figura 2 – Gráfico do resultado final para a métrica facilidade de aprender

### b) Facilidade de Relembrar

O número triangular nebuloso obtido para medir a facilidade de relembrar está apresentado na figura 3. Observa-se que a opinião média é 6 (satisfação boa) com amplitude 3, indicando uma dispersão Alta na opinião dos usuários entrevistados.

Não se pode afirmar que o sistema está adequado em relação à facilidade de relembrar. Mesmo com esse resultado, deve-se aumentar o tamanho da amostra com a finalidade de diminuir a amplitude do resultado.

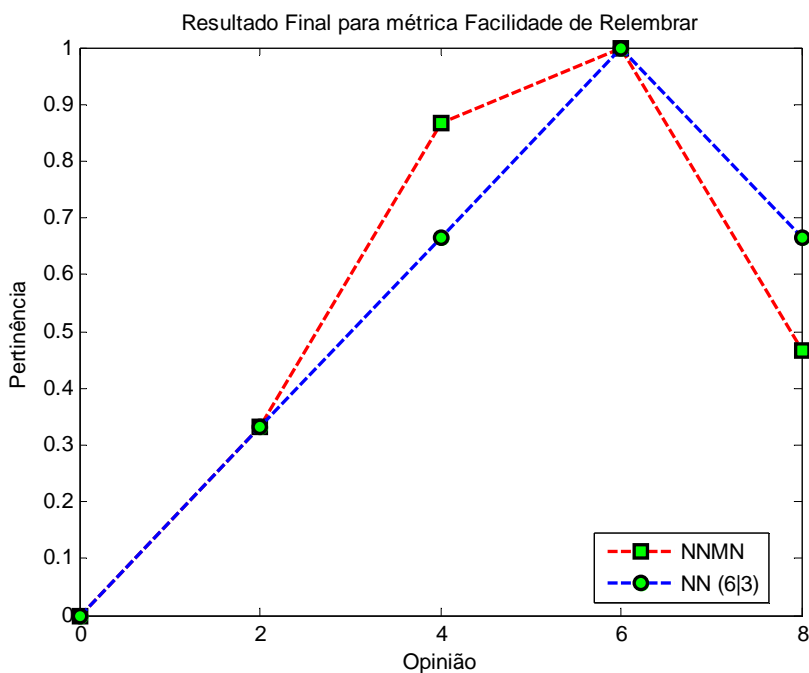


Figura 3 – Gráfico do resultado final para a métrica facilidade de relembrar

### c) Controle de Erros

A métrica controle de erros obteve resultado parecido com a Facilidade de Relembrar. O número triangular nebuloso obtido para medir Controle de Erros está apresentado na figura 4. Observa-se que a opinião média é 6 (satisfação boa) com amplitude 3, indicando uma dispersão Alta na opinião dos usuários entrevistados.

A recomendação é que deve-se aumentar o tamanho da amostra com a finalidade de diminuir a amplitude do resultado.

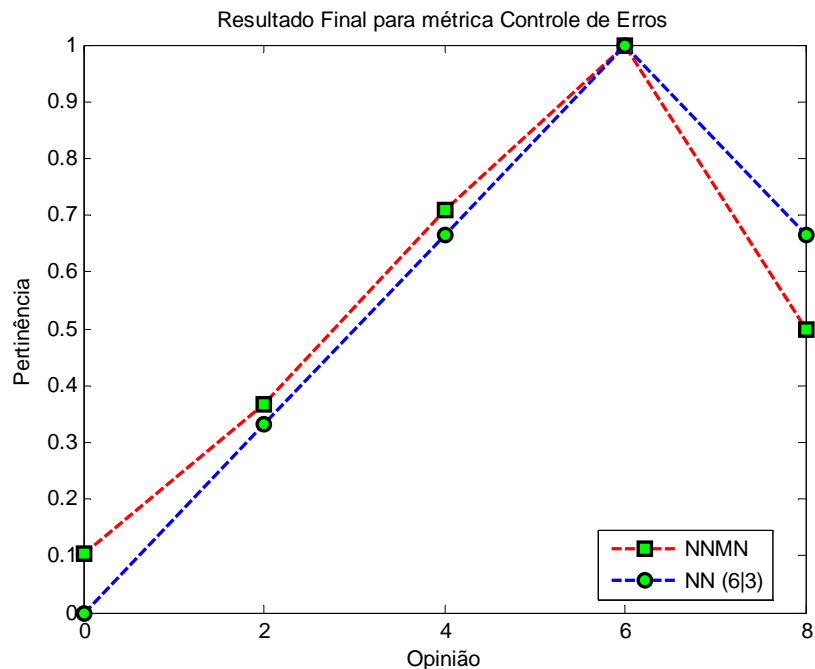


Figura 4 – Gráfico do resultado final para a métrica controle de erros

#### d) Eficiência

O número triangular nebuloso obtido para medir a Eficiência está apresentado na Figura 5. Observa-se que a opinião média é 6 (usabilidade Alta) com amplitude 2, indicando uma dispersão média na opinião dos seus usuários. Pode-se afirmar que o sistema está adequado em relação à eficiência, apresentando um grau de usabilidade Alto.

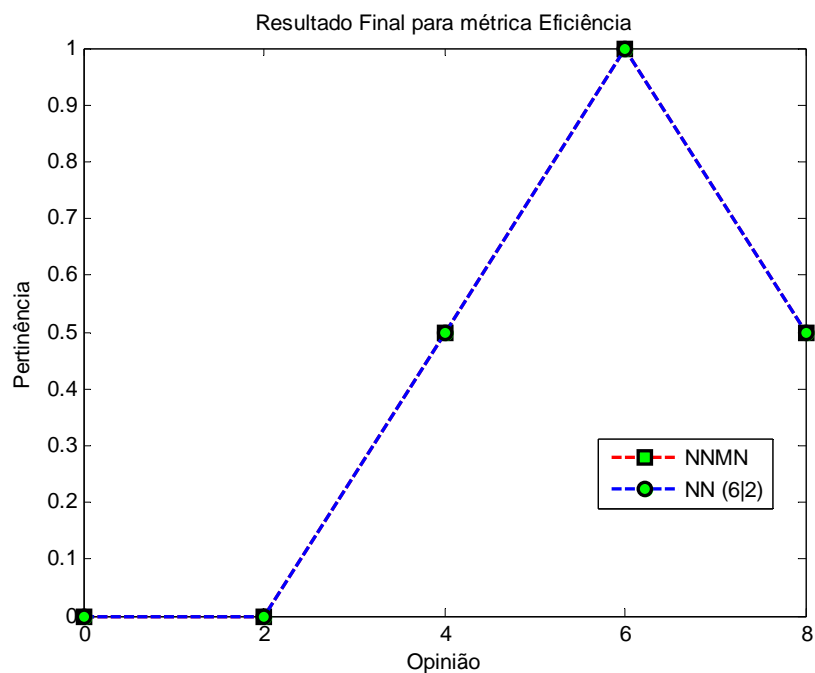


Figura 5 – Gráfico do resultado final para a métrica eficiência

#### e) Eficácia

O número triangular nebuloso obtido para medir a Eficácia está apresentado na Figura 6. Observa-se que a opinião média é 6 (usabilidade Alta) com amplitude 2, indicando uma dispersão média na opinião dos seus usuários entrevistados. Pode-se afirmar que o sistema está adequado em relação à eficácia, apresentando um grau de usabilidade Alto.

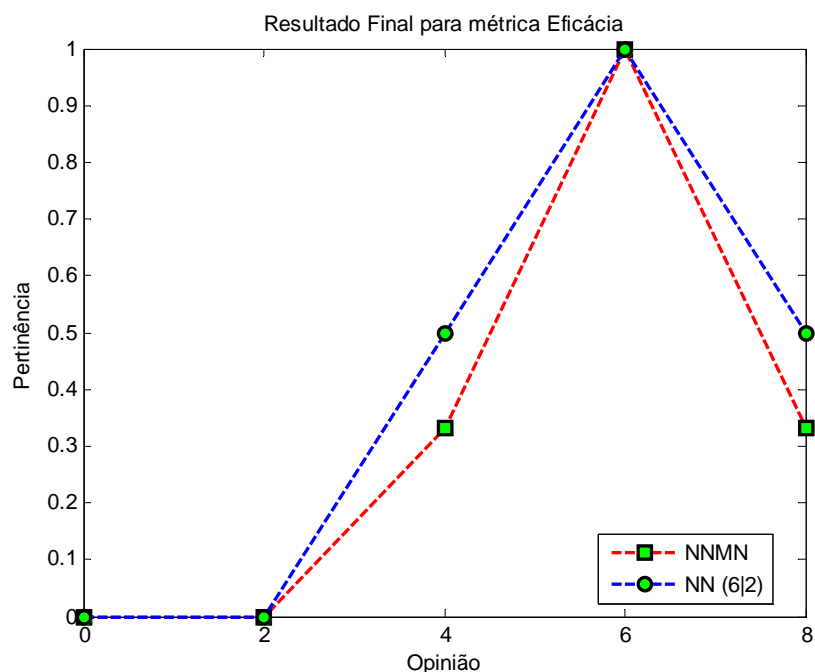


Figura 6 – Gráfico do resultado final para a métrica eficácia

#### f) Satisfação

A métrica Satisfação apresentou resultado semelhante a Eficiência e Eficácia, o número triangular nebuloso obtido está apresentado na Figura 7 e apresenta uma opinião

média igual a 6 (usabilidade Alta) com amplitude 2, indicando uma dispersão média na opinião dos seus usuários entrevistados. Pode-se afirmar, de forma geral, que os usuários estão satisfeitos com relação interação com o sistema.

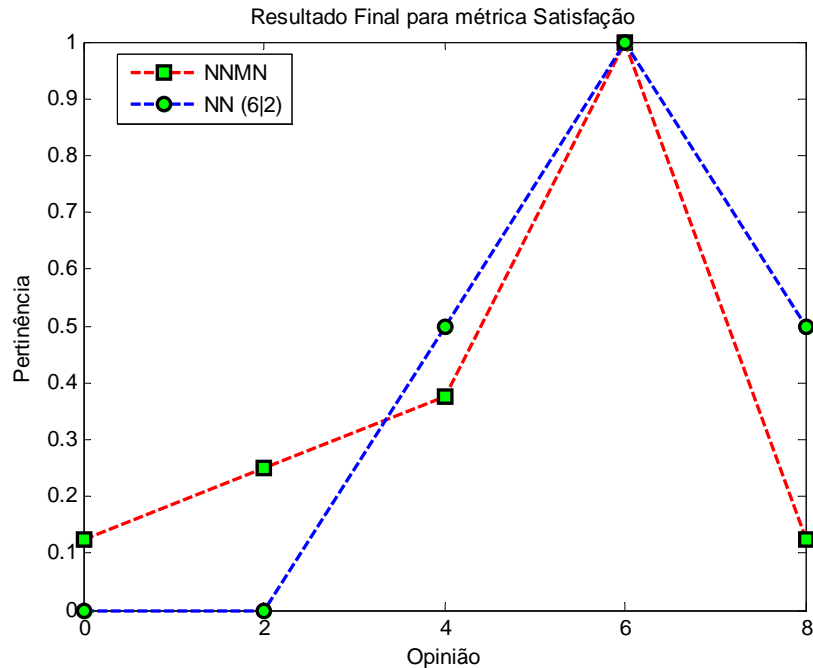


Figura 7 – Gráfico do resultado final para a métrica satisfação

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos com esse estudo visam apresentar uma nova forma para avaliação de usabilidade de sistemas com objetivo de melhoria da interação dos equipamentos providos com sistemas embarcados com seus usuários. Dependendo do sistema analisado, os resultados obtidos com análise e correção dessas métricas de usabilidade podem ser interpretados como aumento de vendas de equipamentos, aumento do lucro, satisfação de funcionários em uma indústria, melhores desempenhos em ambientes de guerra, melhores diagnósticos médicos, entre outros benefícios.

Nesse caso, a metodologia foi aplicada à Calculadora HP12C sobre uma amostra de trinta usuários com uma média de experiência de uso de dois anos.

Após a análise dos resultados parciais dessa pesquisa, obteve-se uma avaliação da usabilidade do sistema embarcado utilizado na Calculadora HP12C, conforme apresentada a seguir:

Com relação às métricas Facilidade de Aprender, Facilidade de Relembrar e Controle de Erros, os resultados obtidos tendem para uma usabilidade Alta, porém com pouca confiabilidade nos dados por haver uma dispersão muito grande das opiniões dos usuários.

Para as métricas Eficiência, Eficácia e Satisfação o grau de confiabilidade nos dados é maior, tendo em vista a baixa amplitude obtida no número triangular nebuloso final, e essas três métricas apresentaram usabilidade Alta.

Percebe-se que às vezes são alguns poucos construtos os responsáveis em diminuir a avaliação de usabilidade de um sistema, ou até mesmo provocar uma dispersão muito grande das opiniões aumentando assim a amplitude do resultado final.

Com relação à Calculadora HP12C, com apenas duas ações de melhoria no sistema poder-se-ia obter graus muito melhores de usabilidade, que são: aumentar a flexibilidade para o usuário realizar suas tarefas de maneiras diferentes e melhorar as mensagens de erros apresentadas pelo sistema.

Outra conclusão foi a de não existir uma avaliação única para usabilidade de um sistema. Na verdade existem vários critérios ou métricas que, em conjunto, acabam por representar a usabilidade do sistema com um todo. Um sistema pode ser fácil de aprender, mas apresentar muitos erros ou falhas que acarretam na perda de informações, por exemplo.

## 6. Referências

BENNETT, John L. **The Commercial Impact of Usability in Interactive Systems**. In: Man/Computer Communication, Inglaterra, Infotech International, v. 2, p. 1-17, 1979.

BRAGA, Mario J. F.; BARRETO, Jorge M.; MACHADO, Maria Augusta S. **Conceitos da Matemática Nebulosa na Análise de Risco**. Rio de Janeiro: Artes& Rabiskus, 1995.

CARRO, L.; WAGNER, F. R. Sistemas Computacionais Embarcados. In: JAI'03 – XXII Jornadas de Atualização em Informática, 2003, Campinas.

COSTA, Alex da; RODRÍGUEZ, Antonio Gabriel; SIMAS, Etienne P. L.; ARAÚJO, Roberto da S. **Lógica Fuzzy: Conceitos e Aplicações**. Disponível em: <[http://www.inf.unisinos.br/~cazella/dss/fuzzy\\_relatorio.pdf](http://www.inf.unisinos.br/~cazella/dss/fuzzy_relatorio.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2006.

CYBIS, Walter de Abreu. **Engenharia de Usabilidade: Uma Abordagem Ergonômica**. Florianópolis, Maio de 2003. Disponível em: <[http://www.unoescsmo.edu.br/poscomp/cybis/Apostila\\_v51.pdf](http://www.unoescsmo.edu.br/poscomp/cybis/Apostila_v51.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2006.

HP – Site da Hewlett-Packard. Disponível em: <http://www.hp.com/>. Acesso em: 27 Jul. 2007.

ISO 9126-1. **Engenharia de software – Qualidade de produto**. Parte 1: Modelo de qualidade. NBR ISO/IEC 9126-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ISO 9241. **Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)**. ISO 9241. Switzerland: ISO, 1998.

JORDAN, Patrick W. **An Introduction to Usability**. London, UK: Taylor & Francis, 1998.

MATTAR, F.. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

MILLER, R. B. **Human ease of use criteria and their tradeoffs**. Relatório técnico. New York: IBM Corporation, 1971.

MORAES, Anamaria de. **História da Ergonomia**. Disponível em: <<http://wwwusers.rdc.puc-rio.br/leui/leui.html>>. Acesso em 03 Out. 2006.

NASCIMENTO, José Antonio Machado do. **Usabilidade no contexto de gestores, desenvolvedores e usuários do website da Biblioteca Central da Universidade de Brasília**. Dissertação de Mestrado do curso de Ciência da Informação. Brasília: Universidade de Brasília, 2006.

NIelsen, J. **Usability Engineering**. Boston, MA: Academic Press, 1993.

OLIVEIRA JR., Hime A., CALDEIRA, André M., MACHADO, Maria A. S., SOUZA, Reinaldo, TANSCHKEIT, Ricardo. **Inteligência Computacional Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab**. Rio de Janeiro, Thompson, 2007.

QUESENBERY, W. **What does usability mean: Looking beyond 'ease of use'**. In: 48th Annual Conference Society for Technical Communication. Chicago, 2001

SANTOS, Rodrigo C.; MACHADO, Maria Augusta S. **Development of a Methodology for Systems Usability Evaluation Using Fuzzy Logic Based on ISO**. In: SIMPOI POMS 2007 - X Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 2007. Rio de Janeiro: FGV-EAESP, 2007

SIMÕES, Marcelo G.; SHAW, Lan. **Controle e Modelagem Fuzzy**. São Paulo: Edgard & Blucher, 1999.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2000.