

Tomada de decisão em ambiente *fuzzy*: Avaliação da qualidade na produção de *software*

Alfredo N. P. Boente

Universidade Estácio de Sá
IST-Rio - NUPPE

alfredoboente@faetec.rj.gov.br

Jesús Domech Moré

Universidade Estácio de Sá

jesus.more@estacio.br

RESUMO

Este artigo trata da tomada de decisão em ambiente fuzzy a partir da avaliação da qualidade na produção de software buscando visar sua melhoria constante. A pesquisa teve caráter descritivo e foi realizada junto à equipe de doze especialistas no desenvolvimento de software de certa fundação. Foram utilizados questionários estruturados como instrumento de análise dos critérios de qualidade na produção de software; e o aplicativo da Microsoft, o Excel, para tabulação, processamento dos dados e criação de gráficos. Com base nos resultados obtidos, foram apresentados o grau de presença, o grau de importância e o índice de qualidade na produção de software. Por fim, procurou-se identificar pontos vulneráveis que pudessem resultar numa produção de software com um índice de qualidade inferior daquele esperado pela equipe de desenvolvimento, segundo as normas definidas pela Engenharia de Software.

Palavras-Chave: *Fuzzy*; Tomada de decisão; Produção de *software*.

1. INTRODUÇÃO

Na área de produção de *software* há uma urgente necessidade de focar a questão de qualidade. Segundo Mecenas e Oliveira (2005), a produção de *software* deixou de ser, há algum tempo, uma atividade baseada apenas na intuição ou na experiência dos desenvolvedores. O processo de desenvolvimento de *software* tem sido objeto de inúmeros estudos, há mais de três décadas, numa tentativa de derivar modelos que possibilitem o gerenciamento das fases de produção de software que apresentem a qualidade desejada por seus clientes (PRESSMAN, 2006).

Este artigo está organizado em quatro seções. A seção 1 faz introdução contextualizada do problema. A seção 2 trata da abordagem teórica do trabalho, enfatizando os aspectos subjacentes, bem como apresentando e aplicando em ambiente *fuzzy* a teoria dos conjuntos nebulosos como ferramenta de aferição da qualidade na produção de *software*. A metodologia está descrita na seção 3. Finalmente os resultados e conclusões estão na seção 4.

2. ABORDAGEM TEÓRICA

2.1. QUALIDADE DE SOFTWARE

Qualidade é o sucesso para o negócio de *software*, como em qualquer outro. Uma questão-chave é verificar se realmente a produção de *software* apresenta um índice de qualidade satisfatório. Normas de engenharia de *software* garantem que a produção de *software* seja desenvolvida com os princípios de qualidade requeridos. Soares (2004) propõe que, ao se aplicarem as normas de engenharia de *software*, os resultados iniciais em termos de qualidade, de confiança, de datas de entrega e de custo sejam promissores. Neste contexto,

certa fundação apresentou a necessidade de avaliar o índice de qualidade na produção de *software*, visando à melhoria da qualidade dos produtos de *software* desenvolvidos. Como a avaliação da qualidade na produção de *software* é um aspecto de representação imprecisa, composto, em sua maioria, por conceitos subjetivos e de avaliação não trivial, utilizou-se a teoria dos conjuntos *fuzzy* como ferramenta para avaliação do índice desse índice. Por meio desse índice, especialistas em produção de *software* tiveram a possibilidade de analisar e interpretar dados que possam ser obtidos a partir da opinião deles mesmo.

Rocha (1994) afirma que qualidade pode ser entendida como um conjunto de características a serem satisfeitas em um determinado grau, de modo que o produto de *software* atenda às necessidades explícitas e implícitas de seus usuários. A qualidade deve ser construída ao longo do processo de produção do *software* e também após a entrega do mesmo. De acordo com Belchior (1997, p. 15) para que se obtenha a qualidade desejada na produção de *software*, fazem-se necessários modelos que viabilizem a avaliação dessa qualidade.

A garantia da qualidade na produção de *software* está diretamente relacionada com a garantia do processo e com a garantia do produto de *software* a ser desenvolvido e, esta garantia envolve aplicação de métodos técnicos, realização de revisões técnicas formais, atividades de teste de *software*, aplicação de padrões, controle de mudanças, métrica de *software* e manutenibilidade do produto (BOENTE, OLIVEIRA e ALVES, 2008, p.8). Numa perspectiva de mensuração, a qualidade na produção de *software* deve ser definida em termos de atributos de produtos de *software* que são de interesse do cliente. Nesta ótica, existem diversos modelos propostos para avaliação da qualidade na produção de *software*. Este artigo baseia-se nos modelos ISO/IEC 9126-1 e ISO/IEC 12119, sendo composto por: Lista de Verificação, Manual do Avaliador e Modelo de Relatório de Avaliação (BOENTE, 2009).

De acordo com Simão e Belchior (2003) existem seis características de qualidade para componentes de *software*: funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade, conforme mostra o Quadro 1.

Características de Qualidade de <i>Software</i>
Funcionalidade
Confiabilidade
Usabilidade
Eficiência
Manutenibilidade
Portabilidade

Quadro 1: Características da qualidade para componentes de *software*

Estas características, por sua vez, podem ser divididas da seguinte forma:

- a) Funcionalidade: Adequação, Acurácia, Autocontido, Coesão Funcional, Interoperabilidade, Segurança de Acesso e Conformidade com a Funcionalidade;
- b) Confiabilidade: Maturidade, Tolerância a Falhas, Recuperabilidade, Avaliabilidade e Conformidade com a Confiabilidade;
- c) Usabilidade: Acessibilidade, Legibilidade, Inteligibilidade, Facilidade de Uso, Apreensibilidade, Operacionalidade, Atratividade e Conformidade com a Usabilidade;

d) Eficiência: Comportamento em Relação ao Tempo, Comportamento em Relação aos Recursos, Comportamento em Relação ao Estado, Escalabilidade, Nível de Granularidade e Conformidade com a Eficiência;

e) Manutenibilidade: Analisabilidade, Implementabilidade, Modificabilidade, Estabilidade, Testabilidade e Conformidade com a Manutenibilidade;

f) Portabilidade: Adaptabilidade, Capacidade de ser Instalado, Coexistência, Substituibilidade e Conformidade com a Portabilidade.

A Figura 1 ilustra o modelo de qualidade da ISO/IEC 9126-1 onde são descritas as seis características de qualidade para componentes de *software*.



Figura 1: Modelo de qualidade da ISSO/IEC 9126-1

Para realizar tal avaliação, esta pesquisa utilizou a teoria dos conjuntos *fuzzy* como ferramenta de aferição por apresentar dados imprecisos e incertos.

2.2. TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

De acordo com Cosenza et al. (2006), em 1965, o Professor Lotfi A. Zadeh formalizou o que, anos depois vinha a ser uma das maiores revoluções no setor matemático: a Lógica *Fuzzy* ou Lógica Nebulosa ou Lógica difusa. Esta teoria trata dos conjuntos não totalmente verdadeiros nem tampouco dos totalmente falsos. Em outras palavras, a lógica *fuzzy* deve ser vista como uma teoria matemática formal para a representação de incertezas.

Simões e Shaw (2007, p. 21) afirmam que essa teoria é baseada no fato de que os conjuntos existentes no mundo real não possuem limites precisos. Os conjuntos *fuzzy* podem ser vistos como uma generalização da noção de conjunto na qual a função de pertinência assumi valores no intervalo [0,1] (FARIA, et al., 2008, p. 5). Através da representação matemática de um conjunto ordenado de conceitos da linguagem natural através de conjuntos *fuzzy*, Prucole (2006) afirma que a discretização *fuzzy* $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ do universo Ω tal que $\forall x \in \Omega, \exists A_i, \mu_{A_i}(x) \neq 0$, pode gerar o Gráfico 1, que apresenta um exemplo de discretização *fuzzy* para o caso de uma variável dividida em cinco conjuntos *fuzzy*.

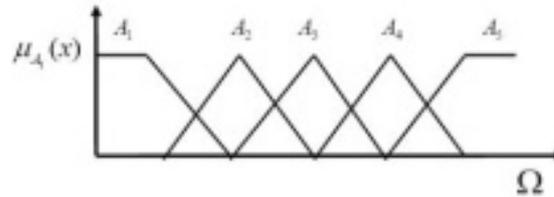


Gráfico 1: Discretização *fuzzy* para uma variável dividida em cinco conjuntos *fuzzy*

A representação da informação em diversos níveis de generalização é permitida por meio de diferentes discretizações do universo. Quanto maior o número de conjuntos *fuzzy*, maior será a precisão encontrada. O processo de agregação permite obter um grau de consenso entre as informações disponíveis, calculando-se um valor final. Se estes dados forem extraídos de especialistas, se têm a taxa de aceitação ou rejeição entre eles, isto é, o grau pelo qual especialistas concordam em suas estimativas, tornando possível a elaboração de classificações das avaliações realizadas (BELCHIOR, 1997).

De acordo com Moré (2004, p. 47) a maior parte da linguagem natural contém ambigüidades e multiplicidade de sentidos. Em particular, os adjetivos que utilizamos para caracterizar objetos ou situações não nos permitem clareza suficiente, sendo ambíguos em termos de amplitude de significados. Portanto, o uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* é recomendado para se poder mensurar esse “algo” impreciso.

2.3. MODELO FUZZY ELABORADO

Partindo da hipótese que é possível mensurar o índice de qualidade na produção de *software* de certa fundação, por meio da teoria dos conjuntos *fuzzy*, elaborou-se um modelo *fuzzy* que fosse capaz de realizar tal validação. Esse modelo utilizou como base as opiniões dos especialistas envolvidos na produção de *software*, coletadas por meio dos questionários estruturados, os dados levantados para que fosse possível julgar os aspectos de qualidade na produção de *software*. A Figura 2 ilustra o modelo *fuzzy* utilizado nesta pesquisa.

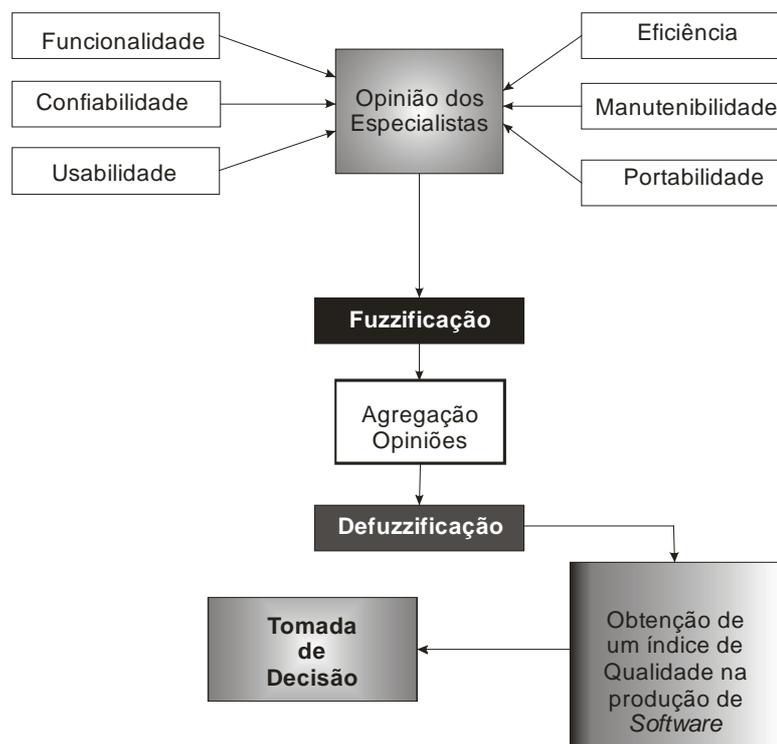


Figura 2: Descrição do modelo *fuzzy* elaborado

Os conjuntos *fuzzy* representam os conceitos vagos, expressos na linguagem natural, conforme o contexto o qual são inseridos (ZIMMERMANN, 1996). Por este motivo aplicamos o modelo ilustrado na Figura 2 nesta pesquisa.

2.4. APLICAÇÃO DO MODELO

Para aplicar o modelo proposto, foi necessário usar oito etapas conforme descrito a seguir.

Primeira etapa: Determinação das variáveis lingüísticas do modelo. Nesta etapa as variáveis lingüísticas foram determinadas através de uma revisão bibliográfica que permitiu identificar seis construtos de qualidade de *software* - funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade. Entende-se por variável lingüística toda variável qualitativa não mensurável quantitativamente (ROSS, 2004).

Segunda etapa: Escolha dos termos lingüísticos a serem utilizados para as medições a serem realizadas a partir dos dados coletados por meio dos questionários estruturados ministrados na etapa seguinte. Para medir o quão presente estão os critérios de qualidade na produção de *software* desenvolvidos em certa fundação foram escolhidos cinco termos lingüísticos: totalmente ausente, baixa presença, moderadamente presente, altamente presente e totalmente presente (Quadro 2).

Escala	Equivalência	Descrição
0	Totalmente ausente	Indica total ausência do critério de qualidade avaliado
1	Baixa presença	Indica um baixo grau de presença do critério de qualidade avaliado
2	Moderadamente presente	Indica um grau de presença moderada do critério.
3	Altamente presente	Indica um alto grau de presença do critério, mas não de forma plena.
4	Total Presença	Indica que não há dúvidas de que o critério está totalmente presente.

Quadro 2: Escala usada para medição dos graus de presença dos critérios de qualidade na produção de *software*

Para medir o quão importante resulta a presença dos critérios de qualidade na produção de *software*, foram escolhidos também cinco termos lingüísticos: sem importância, pouco importante, moderadamente importante, importante e muito importante (Quadro 3).

Escala	Equivalência	Descrição
0	Sem importância	Indica que o critério que está sendo apresentado não tem nenhuma importância.
1	Pouco importante	Indica que o critério que está sendo apresentado tem pouca importância.
2	Moderadamente importante	Indica que o critério que está sendo apresentado tem importância em algumas circunstâncias, mas nem sempre.

3	Importante	Indica que o critério que está sendo apresentado é importante.
4	Muito importante	Indica que não há dúvidas com que o critério que está sendo apresentado é imprescindível.

Quadro 3: Escala que mede os graus de importância dos critérios de qualidade na produção de sw

Terceira etapa: Criação das funções de pertinências para os termos *fuzzy* apresentados na segunda etapa. Para representar as avaliações imprecisas e subjetivas nas opiniões dos gerentes foram escolhidos os conjuntos *fuzzy* triangulares pela capacidade que possuem de representar essa incerteza e para que seja computada facilmente pelo computador (TANAKA, 1997). Os conjuntos *fuzzy* correspondentes aos graus de presença de critérios de qualidade na produção de *software* foram: totalmente ausente (TA), baixa presença (BP), moderadamente presente (MoP), altamente presente (AP) e total presença (TP).

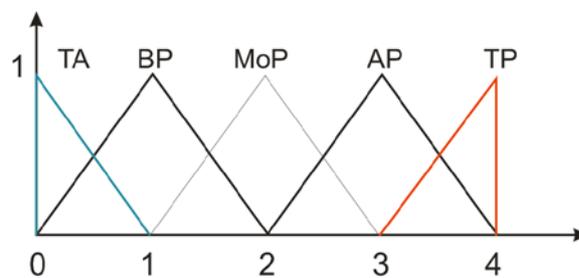


Figura 3: Conj. *fuzzy* dos termos relacionados aos graus de presença de critérios de qualidade de sw

Os conjuntos *fuzzy* correspondentes aos graus de importância dos critérios de qualidade na produção de *software* foram: muito importante (MI), importante (I), moderadamente importante (MoI), pouco importante (PI) e sem importância (SI).

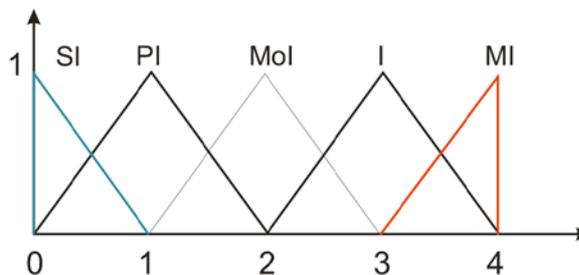


Figura 4: Conj. *fuzzy* dos termos referentes aos graus de importância dos critérios de qualidade de sw

Nas figuras 3 e 4 foram representadas as funções de pertinências dos conjuntos *fuzzy* utilizados nesta pesquisa. O Quadro 4 ilustra os números triangulares *fuzzy* correspondentes aos conjuntos *fuzzy* escolhidos.

Valor do termo <i>fuzzy</i>	Número triangular <i>fuzzy</i>	Grau de Presença	Grau de Importância
4	(3, 4, 4)	Total Presença (TP)	Muito Importante (MI)
3	(2, 3, 4)	Alta Presença (AP)	Importante (I)
2	(1, 2, 3)	Moderada Presença (MoP)	Moderadamente Importante (MoI)

1	(0, 1, 2)	Baixa Presença (BP)	Pouco Importante (PI)
0	(0, 0, 1)	Totalmente Ausente (TA)	Sem Importância (SI)

Quadro 4: Números *fuzzy* triangulares correspondentes aos conjuntos *fuzzy* escolhidos

Quarta etapa: Elaboração dos questionários estruturados. Nesta etapa foram elaborados três questionários com o objetivo de levantar o grau de presença e importância de critérios de qualidade na produção de *software* e determinar o peso de cada um dos especialistas envolvidos na produção de *software* de certa fundação.

Quinta etapa: Aplicação dos questionários estruturados aos especialistas em produção de *software*. Em seguida os questionários foram aplicados aos 12 especialistas envolvidos no processo de produção de *software* de certa fundação.

Sexta etapa: Para identificar os pesos dos especialistas em produção de *software* (coeficiente de importância) foram usadas diferentes escalas de medição, atribuídas de acordo com os itens de interesse levantados (nível de experiência, prática, nível de conhecimento, grau de instrução, participação em projetos de produção de *software*, participação em congressos e currículo do especialista). Cada item avaliado recebeu uma pontuação subjetiva entre 0 e 1. Na Tabela 1 aparecem os valores atribuídos a cada especialista (E01, E02, E03, ..., E12). O coeficiente de importância (peso dos especialistas) é calculado a partir da divisão da somatória das pontuações subjetivas recebidas por item pela somatória total das pontuações recebidas de todos os especialistas ($\Sigma=64,00$), segundo a fórmula a seguir:

$$CI_{\text{especialista}_i} = \frac{\sum_{i=1}^7 \text{Avaliações Itens Especialistas}_i}{\sum_{i=1}^{12} \text{Avaliações Especialistas}}$$

Tabela 1: Levantamento do coeficiente de importância de cada especialista

Peso Empregado aos Especialistas na Produção de Software												
Itens	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12
Experiência	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,50	0,75	0,50	0,50	0,75	0,50
Prática	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	0,50
Conhecimento	1,00	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	0,75	1,00	0,50	1,00	0,75	0,50
Grau Instrução	1,00	0,75	0,50	0,75	1,00	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,75	0,25
Participação em Projetos	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,50	1,00	1,00	0,75
Participação em Congressos	0,75	1,00	0,50	0,50	0,75	0,25	0,50	0,25	0,25	0,75	0,50	0,50
Currículo	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75
$\Sigma= 64,00$	6,50	6,50	5,75	5,25	6,50	5,75	4,50	4,75	3,50	5,75	5,50	3,75
Peso dos especialistas	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,07	0,07	0,05	0,09	0,09	0,06

($\Sigma=1,00$)												
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

O Gráfico 2, elaborado a partir dos coeficientes de importância (pesos) obtidos ilustra os pesos atribuídos aos especialistas em produção de *software*.

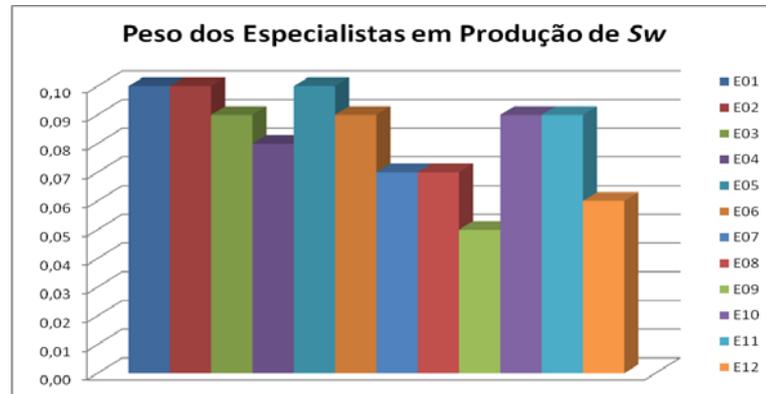


Gráfico 2: Pontuação *fuzzy* (entre 0 e 1) associadas aos especialistas

Sétima etapa: As respostas obtidas (*fuzzificação*) a partir dos questionários aplicados foram coletadas e tabuladas (coleta de dados).

Oitava etapa: Tratamento dos dados. Na fase de agregação das opiniões *fuzzy* foi utilizada a fórmula da média *fuzzy*. Neste caso considerou-se a avaliação *fuzzy* de cada gerente por critério $(Aval)_{crit}$, ponderada pelo coeficiente de importância de cada gerente $(CI)_{esp}$, obtendo-se assim os triângulos *fuzzy* agregados $(a,m,b)_{agreg}$.

$$(a, m, b)_{agreg_j} = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{18} CI_{esp_i} * (Aval)_{crit_j}$$

Os três valores que formam cada triângulo *fuzzy* têm diferentes significados: *a*, representa o menor grau de pertinência do triângulo *fuzzy*; *m*, o valor médio do grau de pertinência do triângulo *fuzzy* e *b*, o maior grau de pertinência do triângulo *fuzzy*.

Para se obter um valor preciso ou *crisp* representativo por cada conjunto *fuzzy* (*defuzzificação*), ou seja, um único valor numérico discreto que melhor representasse o valor *crisp* inferido das variáveis lingüísticas utilizou-se a seguinte fórmula:

$$V_{crisp} = \frac{(a + 2m + b)_{agreg_j}}{4}$$

Onde *a*, *m* e *b* são os valores do triângulo *fuzzy* obtido a partir da agregação das opiniões dos especialistas. Cada valor *crisp* obtido foi dividido pelo valor máximo entre todos os valores *crisp* (processo de normalização), isto é, o valor normalizado calculado de acordo com a fórmula a seguir:

$$V_{norm} = \frac{V_{crisp}}{V_{max}}$$

Uma vez conhecidos os valores *crisp* foram calculadas as distâncias (*gap*) entre as demandas de qualidade dos produtos de *software* (graus de importância dos critérios de qualidade) e o atendimento a essas exigências pela instituição (graus de presença desses critérios de qualidade). Para isto, de acordo com Hsu e Chen (1996), tivemos que subtrair do

valor *crisp* correspondente ao grau de presença o valor *crisp* referente ao grau de importância, para cada um dos dezoito critérios apresentados (ver fórmula a seguir).

$$D_{crisp} = V_{crisp} P - V_{crisp} I$$

Na Tabela 2 aparecem representados os valores de distância (*gap*). Uma distância negativa significa que a oferta de qualidade na produção de *software*, não cobre as necessidades ou expectativas.

Tabela 2: GAP entre as demandas de critérios de qualidade na produção de *software*

Critérios	Pres.	Imp.	Gap	Critérios	Pres.	Imp.	Gap
Q01	2,74	2,83	-0,09	Q22	2,15	2,84	-0,69
Q02	2,41	2,84	-0,43	Q23	2,42	3,10	-0,68
Q03	2,33	2,78	-0,45	Q24	2,81	3,14	-0,33
Q04	2,58	2,99	-0,41	Q25	2,69	3,06	-0,37
Q05	2,81	2,99	-0,18	Q26	2,77	2,97	-0,2
Q06	2,67	3,13	-0,46	Q27	2,31	3,06	-0,75
Q07	2,77	3,14	-0,37	Q28	2,59	3,00	-0,41
Q08	2,80	3,13	-0,33	Q29	2,38	2,40	-0,02
Q09	2,70	3,20	-0,5	Q30	2,76	2,77	-0,01
Q10	2,68	2,89	-0,21	Q31	2,92	2,61	0,31
Q11	2,42	3,04	-0,62	Q32	2,58	1,18	1,4
Q12	1,92	2,67	-0,75	Q33	1,64	1,49	0,15
Q13	2,59	3,04	-0,45	Q34	3,03	3,07	-0,04
Q14	2,44	3,03	-0,59	Q35	2,47	3,13	-0,66
Q15	2,12	3,25	-1,13	Q36	2,49	3,19	-0,7
Q16	2,45	2,96	-0,51	Q37	2,29	3,19	-0,9
Q17	2,51	3,13	-0,62	Q38	2,04	3,12	-1,08
Q18	1,78	2,84	-1,06	Q39	2,14	3,03	-0,89
Q19	1,66	2,84	-1,18	Q40	2,62	3,03	-0,41
Q20	2,65	2,99	-0,34	Q41	2,68	2,84	-0,16
Q21	2,48	3,03	-0,55				

Isto resulta num hiato e nesse caso é preciso aplicar recursos organizacionais com o objetivo de melhorar o critério de qualidade. Já uma distância positiva significa que a oferta supera a demanda e nesse caso não é preciso aplicar recursos. Graficamente é possível visualizar estas distâncias através do Gráfico 3.

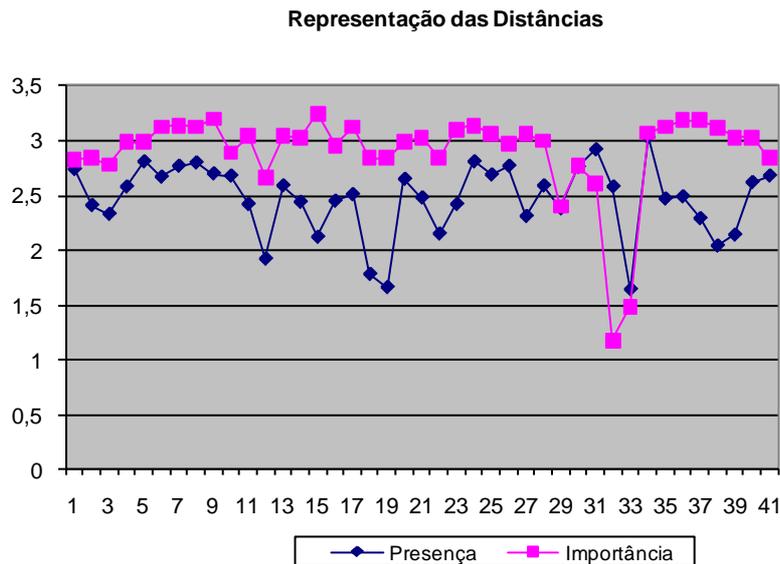


Gráfico 3: Grau de presença versus grau de importância dos critérios de qualidade na produção de sw

Muitas vezes o valor de distância (*gap*) não constitui informação relevante no momento de priorizar os recursos para investir em melhorias de critérios (ISHII, LEE e YEH, 2007). Nesse caso o grau de semelhança entre conjuntos fuzzy (importância versus presença) vem a complementar o processo de tomada de decisão. Sendo assim buscou-se identificar o grau de semelhança entre os conjuntos *fuzzy* de importância e presença para cada um dos critérios de qualidade na produção de *software* utilizando para isto a seguinte fórmula:

$$Gsem(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{AI}{AT} = \frac{\min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x))}{\max(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x))}$$

Onde \tilde{A} é o triângulo *fuzzy* agregado do conjunto critérios de qualidade, \tilde{B} é o triângulo *fuzzy* agregado do conjunto importância de critérios de qualidade na produção de *software*, AI é a área de interseção dos triângulos *fuzzy* (\tilde{A}, \tilde{B}) e AT é a área total dos triângulos *fuzzy* (\tilde{A}, \tilde{B}) . A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 3: Semelhança entre os graus de presença e os graus de importância dos critérios de qualidade na produção de *software*

Item	Nº Triang. Fuzzy			Nº Triang. Fuzzy			Área de	Área	Grau
	I - Presença			II - Importância			Interseção	Total	Semelhança
Q01	1,77	2,77	3,66	1,88	2,88	3,68	0,838201	1,006799	0,833
Q02	1,43	2,43	3,33	1,86	2,86	3,77	0,568658	1,336342	0,426
Q03	1,33	2,33	3,33	1,80	2,80	3,71	0,585225	1,369775	0,427
Q04	1,58	2,58	3,58	2,07	3,07	3,77	0,570025	1,279975	0,445
Q05	1,90	2,90	3,52	2,09	3,09	3,70	0,631142	0,983858	0,641
Q06	1,70	2,70	3,59	2,24	3,24	3,77	0,482143	1,227857	0,393
Q07	1,83	2,83	3,58	2,29	3,29	3,71	0,475457	1,109543	0,429
Q08	1,84	2,84	3,67	2,25	3,25	3,77	0,550929	1,124071	0,490
Q09	1,77	2,77	3,49	2,34	3,34	3,77	0,384448	1,190552	0,323
Q10	1,68	2,68	3,68	1,96	2,96	3,67	0,739600	1,115400	0,663

Q11	1,52	2,45	3,26	2,11	3,11	3,84	0,365331	1,369669	0,267
Q12	1,08	1,91	2,77	1,67	2,67	3,67	0,325269	1,519731	0,214
Q13	1,68	2,68	3,30	2,13	3,13	3,77	0,422500	1,207500	0,350
Q14	1,52	2,44	3,35	2,12	3,12	3,77	0,396047	1,343953	0,295
Q15	1,28	2,11	2,97	2,40	3,40	3,77	0,087339	1,442661	0,061
Q16	1,52	2,45	3,39	2,05	3,05	3,67	0,462784	1,282216	0,361
Q17	1,60	2,53	3,37	2,24	3,24	3,77	0,346984	1,303016	0,266
Q18	0,84	1,78	2,70	1,86	2,86	3,77	0,183750	1,701250	0,108
Q19	0,81	1,64	2,53	1,86	2,86	3,77	0,118757	1,696243	0,070
Q20	1,69	2,69	3,54	2,07	3,07	3,77	0,584027	1,190973	0,490
Q21	1,53	2,53	3,34	2,11	3,11	3,77	0,417928	1,317072	0,317
Q22	1,15	2,15	3,15	1,93	2,93	3,59	0,372100	1,457900	0,255
Q23	1,46	2,46	3,30	2,21	3,21	3,77	0,322853	1,377147	0,234
Q24	1,90	2,90	3,52	2,26	3,26	3,77	0,490000	1,075000	0,456
Q25	1,75	2,75	3,50	2,16	3,16	3,77	0,513029	1,166971	0,440
Q26	1,86	2,86	3,50	2,07	3,07	3,69	0,623445	1,006555	0,619
Q27	1,31	2,31	3,31	2,16	3,16	3,77	0,330625	1,474375	0,224
Q28	1,68	2,59	3,48	2,10	3,10	3,71	0,503810	1,201190	0,419
Q29	1,50	2,42	3,17	1,40	2,40	3,40	0,645514	1,189486	0,543
Q30	1,79	2,79	3,67	1,84	2,84	3,55	0,890665	0,904335	0,985
Q31	1,96	2,96	3,77	1,64	2,64	3,54	0,656947	1,198053	0,548
Q32	1,74	2,64	3,29	0,59	1,04	2,04	0,023684	1,476316	0,016
Q33	0,79	1,59	2,59	0,86	1,40	2,31	0,750577	0,874423	0,858
Q34	2,09	3,09	3,84	2,17	3,17	3,77	0,796829	0,878171	0,907
Q35	1,58	2,54	3,21	2,25	3,25	3,77	0,275928	1,299072	0,212
Q36	1,49	2,49	3,49	2,33	3,33	3,77	0,336400	1,383600	0,243
Q37	1,39	2,28	3,22	2,33	3,33	3,77	0,204149	1,430851	0,143
Q38	1,19	2,03	2,93	2,23	3,23	3,77	0,128947	1,511053	0,085
Q39	1,21	2,12	3,12	2,09	3,09	3,84	0,265225	1,564775	0,169
Q40	1,64	2,64	3,55	2,09	3,09	3,84	0,558010	1,271990	0,439
Q41	1,68	2,68	3,68	1,88	2,88	3,70	0,810000	1,100000	0,736

O Gráfico 4, ilustra a variação do grau de semelhança entre a demanda e a oferta por critério de qualidade na produção de *software*.

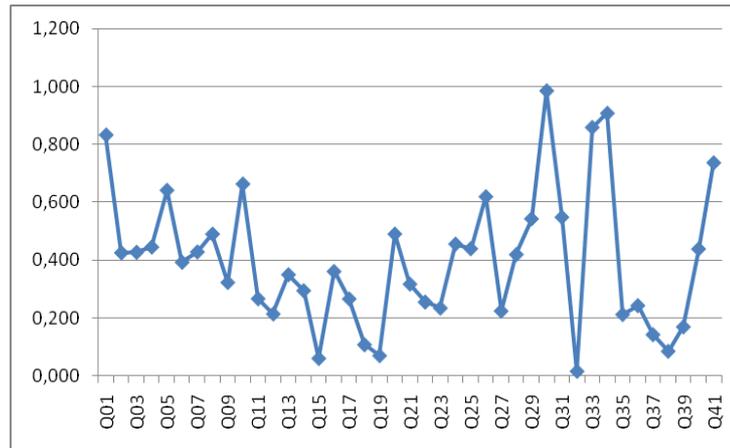


Gráfico 4: Representação do grau de semelhança entre o conjunto *fuzzy* presença e o conjunto *fuzzy* importância para cada critérios de qualidade na produção de *software*

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é uma investigação descritiva, pois ao avaliar as variáveis que serviram de parâmetro para estimar as opiniões dos especialistas envolvidos no processo de produção de *software* quanto aos aspectos da qualidade, teve como principal objetivo tornar algo inteligível descrevendo-lhe os motivos. Ela também é caracterizada como explicativa, por ter criado uma teoria aceitável a respeito de um fato ou fenômeno (índice de qualidade).

Além de ter um cunho bibliográfico, a pesquisa é caracterizada também como pesquisa de campo, pois levou em conta seu caráter empírico, onde as fontes coletadas ocorreram por meio de questionários estruturados visando assim, levantar o grau de qualidade na produção de *software*.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A partir dos valores normalizados, um índice de qualidade de produção de *software* foi obtido utilizando a média ponderada dada pela fórmula a seguir:

$$I_{Qual} = \frac{\sum_{i=1}^{41} (G_{IMP_i} * G_{PRES_i})}{\sum_{i=1}^{41} G_{IMP_i}} = 0,82$$

Existe uma possibilidade alta (0,82) de que os critérios de qualidade estejam presentes nos produtos de *software* que são desenvolvidos tomando em conta os graus de importância (G_{imp}) e presença (G_{pres}) desses critérios. Pelos resultados observa-se que as maiores distâncias aparecem nos critérios Q19 - Localizabilidade Externa (0,35), Q32 - Existência de Capital (0,49) e Q38 - Adequabilidade de Cronograma (0,29). São estas as variáveis que merecem uma atenção especial, no processo de tomada de decisão para minimizar as possibilidades de produzir *software* com baixa ou nenhuma qualidade efetivamente.

Ao calcular o grau de semelhança existente entre os conjuntos *fuzzy* “presença” e os conjuntos *fuzzy* “importância” dos critérios de qualidade na produção de *software*, obteve-se para o item Q30 - Relevância de Benefícios (característica que avalia se as estimativas de benefícios tangíveis e intangíveis são aceitas como relevantes por desenvolvedores) o maior grau de semelhança (0,985) e para o item Q32 - Existência de Capital (característica que avalia se a organização possui capital suficiente para custear a produção de *software*), o menor grau de semelhança (0,016).

Constata-se que independentemente do índice ser elevado (0,82) ainda falta um caminho por percorrer (0,18) para chegar ao “ótimo”. Neste sentido haverá necessidade de aplicar recursos nos itens Q15 (acessibilidade - característica que avalia se qualquer usuário autorizado pode facilmente consultar a especificação e/ou obter uma cópia da mesma), Q18 (localizabilidade interna - característica que avalia se existem facilidades para se localizar todos os elementos, dentro de uma especificação, relacionados com determinado aspecto ou assunto), Q19 (localizabilidade externa - característica que avalia se existem facilidades para se localizar todas as especificações e demais documentos relacionados a um determinado aspecto ou assunto), Q35 (disponibilidade de tecnologia - característica que avalia se a equipe encarregada do desenvolvimento tem disponível a tecnologia necessária para conduzir o desenvolvimento), Q37 (disponibilidade de mão de obra - característica que avalia se estão disponíveis os recursos humanos com o conhecimento e experiência necessária para a realização do desenvolvimento e operação do *software*), Q38 (adequabilidade do cronograma - característica que avalia se o *software* pode ser produzido no tempo previsto pelo cronograma, considerando as possíveis ocorrências de imprevistos e sem descuidar da qualidade definida para o produto) e Q39 (flexibilidade de cronograma - característica que avalia se o cronograma aceito para o desenvolvimento pode atender, na medida do possível fatores tais como introdução de atividades não projetadas, contingências etc.), apresentam insuficiência de recursos ou falta de informação, o que requer um tratamento minucioso em busca de melhorar o grau de presença destes critérios de qualidade na produção de *software* dessa fundação.

Este artigo apresentou o aspecto da tomada de decisão em ambiente *fuzzy* por meio da teoria dos conjuntos *fuzzy* utilizada como ferramenta para avaliação da qualidade na produção de *software* de certa fundação. Isso foi possível a partir de um conjunto de 41 critérios de qualidade necessários à produção de *software*, identificados a partir dos modelos de qualidade ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 12.119, abordados nesta pesquisa.

A abordagem *fuzzy* permitiu tratar de forma matematicamente sólida, medidas subjetivas a incertezas, obtidas a partir da opinião pessoal dos 12 especialistas em produção de *software* respondentes.

Foi obtido um índice de qualidade de produtos de *software* (0,82) considerado muito bom. Apesar disso, foram identificadas lacunas não tão satisfatórias, o que permitiu aprimorar o processo de tomada de decisão dessa fundação em busca da melhoria contínua da qualidade aplicada na produção de *software*, nesta fundação.

5. REFERÊNCIAS

BELCHIOR, A.D. Um Modelo Fuzzy para Avaliação da Qualidade de Software. Tese de Doutorado, Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, RJ, 1997.

BOENTE, A.N.P. Um Modelo Fuzzy para Avaliação da Qualidade de Produtos de Software e da Satisfação dos Gerentes de Projetos numa Fundação Pública Estadual. Dissertação de Mestrado, Administração e Desenvolvimento Empresarial, Universidade Estácio de Sá, RJ, 2009.

BOENTE, A.N.P.; OLIVEIRA, F.S.G.; ALVES, J.C.N. RUP como Metodologia de Desenvolvimento de Software para Obtenção da Qualidade de Software. Anais: V Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, out. 2008.

COSENZA, H.J.S.R. et al. Aplicação de Um Modelo de Hierarquização Como Instrumento para Tomada de Decisão: Caso de uma Multinacional. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, 2006, Fortaleza, 2006.

FARIA, M.N. et al. Um Sistema de Avaliação em EAD baseado em Lógica Fuzzy. Revista Eletrônica Horizonte Científico. Minas Gerais, edição 2008, dez/2008.

- HIS-MEI-HSU.; CHEN-TUNG-CHEN.** Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. *Fuzzy Sets and Systems*. vol 29 pp. 279-285,. 1996
- ISHII, H.; LEE, Y.L.; YEH, K.Y.** Fuzzy facility location problem with preference of candidate sites. *Science Direct. Fuzzy Sets and Systems*. N. 158 (2007). 1922-1930. 2007.
- MECENAS, I.; OLIVEIRA, V.** *Qualidade de Software - Uma Metodologia para Homologação de Sistemas*. Rio de Janeiro: Alta Books, 2005.
- MORÉ, J.D.** Aplicação da lógica Fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som. Tese de Doutorado submetida ao programa de pós-graduação de Engenharia Metalúrgica e dos Materiais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2004.
- PRESSMAN, R.** *Engenharia de Software*. 6 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- PRUCOLE, E.S.** Avaliação de Combinações de Classificadores Fuzzy. Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, COOPE/URFJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COOPE, RJ, 2006.
- ROCHA, A.R.C. da.;** et al. Uma Experiência na Definição do Processo de Desenvolvimento e Avaliação de Software segundo a Norma ISSO, Relatório Técnico ES-302/94, COPPE/UFRJ, jun. 1997.
- ROSS, T. J.** *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons, Ltd, Chincester, England, 2004.
- SIMÃO, R.P.S.; BELCHIOR, A.D.** Componentes de Negócio: Uma Avaliação das Características de Qualidade. In: Conferência IADIS Íbero Americana WWW/Internet, 2003.
- SIMÕES, M.G. e SHAW, I.S.** *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2. ed. Revisada e Completa. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2008.
- SOARES, M.S.** Metodologias Ágeis Extreme Programming e Scrum para o Desenvolvimento de Software. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação*. vol. 3, p. 8-13. 2004.
- TANAKA, K.** *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*. Springer-Verlag, New York, 1997.
- ZIMMERMANN, H. J.** *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. 3rd ed., Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 1996.