

Um método Fuzzy para a análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de software

A Fuzzy method for qualitative analysis of risks in software development projects

Un método Fuzzy para el análisis cualitativo de riesgos en proyectos de desarrollo de software

Lídio Mauro Lima de Campos

Doutorando em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGGE da Universidade Federal do Pará, Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará - UFPA e em Tecnólogo em Processamento de Dados pela Universidade da Amazônia – UNAMA, Pará, Brasil
limadecampos@gmail.com

Alberto Sampaio Lima

Doutor em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Informática Aplicada pela Universidade de Fortaleza. Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Estadual do Ceará, Ceará, Brasil
albertosampaio@ufc.br

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJS
Recebido em 16.09.2014
Aprovado em 13.05.2016



Este trabalho foi licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição – Não Comercial 3.0 Brasil

RESUMO

Um gerenciamento efetivo de riscos é fundamental para se obter êxito e melhorar a qualidade dos projetos de desenvolvimento de *software*. Neste trabalho é apresentado um método baseado em lógica *fuzzy* que realiza a análise qualitativa de riscos, priorizando-os para a realização do monitoramento e controle, bem como para o planejamento de respostas a riscos. O objetivo principal do estudo consistiu na classificação dos riscos que afetam um projeto de desenvolvimento de *software*, na medição da exposição a riscos por meio de duas métricas *fuzzy*: índice de exposição a riscos e pontuação de riscos. Foi realizado um estudo de caso em um projeto de desenvolvimento de *software* em uma empresa de TI onde o método *fuzzy* proposto aumentou as possibilidades de tomada de decisão do gerente de projetos, dada a abrangência de valores assumidos pelas variáveis linguísticas e combinações de regras possíveis. As métricas apresentadas melhoraram a sensibilidade na detecção, classificação, planejamento de respostas e controle dos riscos. Gestores afirmaram que o método proposto é útil e preferível em relação aos métodos atuais utilizados por eles.

Palavras-chave: Gerência de projetos de *software*; Análise de Riscos; Lógica *Fuzzy*; Desenvolvimento de *software*.

ABSTRACT

Organizations need an effective risk management to improve quality in project management. In this work we presented a fuzzy logic based system to execute qualitative analysis of risks, prioritizing risk monitoring, control processes and risk responses. Our main objective was to rank the risks in a software development project and measure the project's exposure to risks, using two metrics based on fuzzy values: index of risks exposure and risk punctuations. We proceeded a case study in a software development project at an IT company, and the results indicate that our proposed fuzzy method increased the possibilities of project's manager decision making, because of values scope assumed by linguistic variables and possible rules combination. The presented metrics improved the sensibility in detection, classification, responses planning and risks control. Our proposed method was considered useful and preferable in relation to current solutions adopted by managers.

Keywords: Software project management; Risk analysis; Fuzzy Logic; Software development.

RESUMEN

La gestión eficaz del riesgo es fundamental para tener éxito y mejorar la calidad de los proyectos de desarrollo de *software*. En este trabajo se presenta un método basado en la lógica difusa que lleva a cabo un análisis cualitativo de riesgos, dando prioridad a ellos para llevar a cabo el seguimiento y control, así como para la planificación de respuestas a los riesgos. El objetivo principal del estudio fue la clasificación de los riesgos que afectan a un proyecto de desarrollo de *software*, la

medición de la exposición al riesgo a través de dos métricas fuzzy: índice de exposición a los riesgos y las puntuaciones de riesgo. un estudio de caso se llevó a cabo en un proyecto de desarrollo de software en una empresa de TI, donde el método difuso propuesto aumenta las posibilidades de que la toma de decisiones de un jefe de proyecto, dada la gama de valores asumidos por las variables lingüísticas y las posibles combinaciones de reglas. Los indicadores muestran una mejor sensibilidad en la detección, clasificación, planificación de respuesta y control de riesgos. Los gerentes dijeron que el método propuesto es útil y preferible a los métodos actuales utilizados por ellos.

Palabras clave: gestión de proyectos de software; Análisis de Riesgo; La lógica fuzzy; Desarrollo de software.

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos do mercado globalizado fazem com que as empresas busquem constantemente atingir metas cada vez mais desafiadoras, através da aplicação de novas metodologias ou por meio da utilização das melhores práticas de mercado no desenvolvimento de seus produtos e serviços.

Nem toda empresa que trabalha com projetos utiliza métodos para a gestão dos riscos, prejudicando assim a sua atuação, devido aos imensuráveis impactos de um risco para o negócio. Vários fatores de risco imprevisíveis e de difícil controle, tais como as inovações tecnológicas e as mudanças constantes nos requisitos do cliente, envolvem a atividade de desenvolvimento de *software*. O ambiente complexo que envolve a atividade muitas vezes contribui para que uma grande parte dos projetos de desenvolvimento de *software* exceda o prazo e o orçamento previstos, além de não atender às expectativas do cliente em termos de funcionalidades e qualidade.

Caso a organização opte por analisar qualitativamente os riscos, essa análise deve ser realizada tão logo sejam identificados os riscos no projeto. Durante análise qualitativa de riscos, gerentes de projetos enfrentam o problema da incerteza epistêmica, relacionada a alguma coisa que se poderia saber, mas não se sabe de fato. Esse tipo de incerteza é envolvida na medida em que alguns parâmetros são necessários durante essa análise e se precisa estimar os valores desses parâmetros, pois o gerente de projetos não conhece esses valores de

forma precisa, o que o obriga a usar algum tipo de estimativa, o que pode comprometer o tratamento dos riscos.

Objetivando o tratamento da incerteza epistêmica e uma melhoria na atividade de análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de *software*, o presente trabalho apresenta um método para realizar a análise qualitativa de riscos nesses projetos, baseado em regras linguísticas e lógica *fuzzy*. Os resultados de um estudo de caso realizado em um projeto de desenvolvimento de *software* e de um exercício de *face validity* indicaram que o método é útil e preferível aos métodos atuais utilizados pelos gestores entrevistados, além de tratar a incerteza envolvida na atividade. A principal contribuição desta pesquisa consiste no próprio método *fuzzy* para análise qualitativa de riscos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A tomada de decisão sobre um contexto que leva em consideração a incerteza é uma das situações mais frequentes na gestão de projetos, principalmente no período de planejamento de atividades. A incerteza pode surgir a partir de diversas fontes ou ser classificada em diferentes tipos, por vezes não sendo adequado representá-la de forma matemática, devido à falta de disponibilidade de informação para tal representação. De acordo com Muto et al. (2008), quanto mais o projeto avança para o seu final, maior o impacto vai ficando. A incerteza indica o quanto a ocorrência do risco tende a reduzir.

No geral, pesquisadores costumam adotar o termo incerteza na tomada de decisão em relação à incerteza epistêmica, que considera alguma coisa que se poderia saber, mas não se sabe de fato. Um outro tipo de incerteza que geralmente a maioria das metodologias não considera é a incerteza aleatória (também conhecida por variabilidade, incerteza irreduzível, incerteza inerente, incerteza estocástica ou incerteza estatística, entre outros). Essa incerteza, como o próprio nome indica, se refere a valores desconhecidos os quais, conforme são medidos, vão variando. A teoria da utilidade ajuda na representação gráfica sobre desejável ou indesejável em uma determinada situação de risco. De um lado tem-se o tomador de decisão *averso ao risco* (*risk averse*) que prefere situações conservadoras e não está disposto a pagar o preço de sua escolha para obter a

utilidade desejada. Já o tomador de decisão *amante do risco (risk seeker)*, gosta da incerteza e normalmente arrisca para obter o impacto da oportunidade. Existe ainda o tomador de decisão *indiferente ao risco (risk neutral)*. A incerteza aleatória não foi tratada na presente pesquisa.

O risco e a incerteza possuem uma relação muito próxima nos processos de tomada de decisão. Assim como a incerteza, o risco é classificado a partir de várias definições encontradas na literatura. As três definições mais comuns para risco são:

1. A probabilidade de alguma coisa indesejável acontecer (um evento, a falha em se atingir um resultado desejado, etc.);
2. Um valor esperado de impacto: multiplica-se a probabilidade de um evento por seu impacto ao acontecer; e
3. Uma medida da variabilidade de resultados, abordagem essa encontrada no setor financeiro.

Nesta pesquisa foi utilizada a segunda definição de risco, recomendada pelo PMI (2008), onde o risco consiste no valor esperado de impacto.

O PMI (2008) recomenda a utilização dos seguintes processos para uma gestão efetiva de riscos em projetos:

- a) *Planejamento da Gestão dos Riscos*: Qual abordagem dá ao gerenciamento de riscos? Como será o planejamento e a execução das atividades de gerenciamento de riscos?
- b) *Identificação dos Riscos*: Identificar os riscos e documentar suas características.
- c) *Análise Qualitativa dos Riscos*: Prioriza os riscos do projeto, através de uma análise da probabilidade e impactos dos riscos no projeto.
- d) *Análise Quantitativa dos Riscos*: Analisa os impactos dos riscos nos objetivos do projeto, numericamente.
- e) *Planejamento das Respostas aos Riscos*: Busca desenvolver atividades que vão servir como modo de reagir aos riscos, para maximizar as oportunidades e diminuir as ameaças.
- f) *Monitoramento e Controle dos Riscos*: Acompanha e monitora os riscos identificados, identifica novos riscos, executa os planos de

respostas aos riscos e avalia a eficácia dessas respostas durante todo o ciclo de vida do projeto.

Albeny e Martins (2009) abordaram a medição da eficiência do gerenciamento de riscos, analisando e propondo métricas para essa finalidade. Cavalcanti (2009) apresentou uma abordagem conceitual e prática para gestão de risco, entretanto poucos são os trabalhos que utilizam técnicas de inteligência computacional para abordar o problema, como foi o caso da presente pesquisa.

Conforme Muto et al. (2008), o planejamento da gestão dos riscos é o processo inicial do gerenciamento de riscos, o qual possui como objetivo garantir que os outros processos irão ser bem executados.

De acordo com Carvalho e Junior (2009), no planejamento da gestão dos riscos define-se as abordagens adequadas a cada organização, para a identificação, gerenciamento e categorização dos vários tipos de riscos: riscos técnicos, riscos da gestão do projeto, riscos da organização e riscos externos.

De acordo com Chapman (2006), os objetivos do gerenciamento dos riscos são aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e reduzir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos do projeto. A análise qualitativa dos riscos envolve métodos subjetivos, que priorizam os riscos do projeto, qualificando-os. As definições gerais dos níveis de probabilidade e impacto são adaptadas a cada projeto durante o processo planejar o gerenciamento de riscos. A Tabela 1 é um exemplo de definições de impactos negativos que poderiam ser usados na avaliação dos impactos de riscos (PMI, 2008).

Tabela 1
Definição de Escalas de impactos para quatro objetivos do Projeto

Condições definidas para escala de impacto de um Risco em objetivos importantes do Projeto.					
	São mostradas Escalas Relativas ou Numéricas				
Objetivo do Projeto	Muito Baixo /0.05	Baixo /0.10	Moderado /0.20	Alto /0.40	Muito Alto /0.80
Custo	Aumento de Custo não	Aumento de Custo	Aumento de Custo de 10	Aumento de Custo de 20	Aumento de Custo

	Significativo	< 10%	a 20%	a 40%.	> 40%.
Tempo	Aumento de tempo não Significativo	Aumento de Tempo < 5%	Aumento de Tempo de 5 a 10%	Aumento de Tempo de 10 a 20%	Aumento de Custo maior que 20%.
Escopo	Diminuição de Escopo Quase imperceptível	Áreas Menos importantes do Escopo Afetadas	Áreas importantes de escopo Afetadas	Redução de Escopo Inaceitável pelo Patrocinador	Item final do projeto sem nenhuma utilidade
Qualidade	Degradação da Qualidade quase imperceptível	Somente as aplicações mais críticas são afetadas	Reduções da Qualidade exigem aprovação do Patrocinador	Redução da Qualidade Inaceitável para o Patrocinador.	Item final do projeto sem nenhuma utilidade

Fonte: PMI - Project Management Institute (2008). *Project Management Body of Knowledge (PMBOK GUIDE)*, Pensilvânia.

Uma das ferramentas utilizadas para a análise qualitativa de riscos é a matriz de probabilidade e impacto (Tabela 2), em que os riscos podem ser priorizados para uma posterior análise quantitativa, conforme o “Processo 11.4” e a resposta com base em sua classificação, “Processo 11.6”. A matriz de probabilidade e impacto especifica as combinações de probabilidade e impacto que resultam em uma classificação dos riscos como de prioridade baixa, moderada ou alta. A área cinza escuro (com os números maiores) representa alto risco, a área de cinza médio (com números menores) representa baixo risco, e a área cinza claro (com os números intermediários) representa risco moderado (PMI, 2008).

Tabela 2
Matriz de Probabilidade e Impacto

Matriz de Probabilidade e Impacto					
Probabilidade	Ameaças				
0.90	0.045	0.09	0.18	0.36	0.72
0.70	0.035	0.07	0.14	0.28	0.56
0.50	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40
0.30	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24
0.10	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
Matriz de Probabilidade e Impacto					
Probabilidade	Oportunidades				
0.90	0.045	0.09	0.18	0.36	0.72
0.70	0.035	0.07	0.14	0.28	0.56
0.50	0.025	0.05	0.10	0.20	0.40
0.30	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24
0.10	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08
	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80

Fonte: PMI - Project Management Institute (2008). *Project Management Body of Knowledge (PMBOK GUIDE)*, Pensilvânia.

O PMI (2008) afirma que as técnicas mais utilizadas na análise quantitativa de riscos são: análise da sensibilidade (avaliar os riscos do projeto quanto a sua variação e impacto), análise do valor monetário esperado (retorno médio esperado em cenários incertos), árvore de decisão (o que vai ser construído para se chegar ao valor monetário esperado), modelagem e simulação. Das técnicas de modelagem e simulação, a *Análise Monte Carlo* é a mais utilizada.

O planejamento de resposta aos riscos consiste no processo que busca a minimização das probabilidades e impactos dos riscos negativos e o oposto para os riscos positivos, vinculadas aos objetivos do projeto (PMI, 2008).

Riscos Negativos:

- **Prevenir** – Usadas quando o risco é inaceitável, tem alta probabilidade de ocorrência e alto impacto negativo. Esse tipo de resposta busca eliminar completamente a ameaça do risco mais crítico.
- **Transferir** – Transfere o risco para terceiros, normalmente usada em riscos financeiros, não elimina o risco (seguros, garantias).
- **Mitigar** – Reduz a probabilidade e o impacto gerado pelo risco, através de ações de mitigação.

Riscos Positivos:

- **Explorar** – Faz com que a oportunidade seja mais certa de acontecer.
- **Compartilhar** – Semelhante à estratégia de transferir; a organização busca parceiros que irão ajudá-la a explorar as oportunidades.
- **Melhorar** – Semelhante à estratégia de mitigação, só que o inverso, agirá diretamente nas causas-raiz dos riscos para maximizar as oportunidades.

Riscos Positivos e Negativos:

- **Aceitar** – Existem dois tipos de aceitação: uma utilizará reservas de contingência caso os riscos ocorram; na outra a equipe de gerenciamento do projeto não tomará nenhuma ação.

2.1 Incerteza e a lógica fuzzy

O tratamento da incerteza epistêmica existente no problema apresentado nesta pesquisa foi realizado por meio da utilização da lógica *fuzzy*. A lógica matemática tradicional trabalha com os conceitos de pertinência ou não pertinência de um elemento a um conjunto estabelecido. O problema é que os paradigmas tradicionais de classificação costumam exigir a tomada de decisões abruptas (“*crisp*”, na terminologia “*fuzzy*”), descartando os tons de “cinza” entre o absolutamente “preto” e o absolutamente “branco”, além de proibir a coexistência de conceitos qualitativamente antagônicos” (Oliveira Jr., 1999).

A representação tradicional do conhecimento é baseada na lógica bivalente, enquanto o pensamento e comportamento humano são estritamente conectados

com a imprecisão e a incerteza (Zimmermann, 1991). A lógica *fuzzy* (Zadeh, 1998) pode tratar de forma eficiente esses fatores, pelo fato de poder utilizar termos linguísticos para definir e modelar soluções *fuzzy* para a solução de vários tipos de problemas. Chen (2000) afirmou que a utilização da lógica *fuzzy* permite tratar de um modo adequado expressões verbais, imprecisas, qualitativas, que possuem vários graus de imprecisão, e pode sistematicamente traduzir os termos difusos da comunicação humana em valores compreensíveis por computador.

O ponto de partida para construir um sistema *fuzzy* é obter uma coleção de regras *SE-ENTÃO* de especialistas humanos baseados em conhecimento. O passo seguinte é combinar essas regras em um sistema simples: sistema *fuzzy* puro, *takagi- sugeno* ou sistema *fuzzy* com *fuzzificador* e *defuzzificador* que, de acordo com Wang (2000), é composto de quatro componentes como mostra a Figura 1, onde $U=U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n \subset R^n$ e $V \subset R$.

Base de Regras Fuzzy – Consiste num conjunto de regras *fuzzy* *SE-ENTÃO*, o conhecimento humano é representado dessa forma, todos os outros componentes são usados para implementar as regras de modo eficiente e razoável. Especificamente, a base de regras *fuzzy* compreende as seguintes regras *fuzzy* *SE-ENTÃO* (Wang, 2000):

$Ru^{(i)}: SE \langle x_1 \text{ é } A_1^i \rangle \text{ e } \langle x_2 \text{ é } A_2^i \rangle \text{ e } \dots \text{ e } \langle x_n \text{ é } A_n^i \rangle$

$ENTÃO \langle y \text{ é } B^i \rangle$, onde A^i e B^i são conjuntos fuzzy em $U_i \subset R$ e $V \subset R$, respectivamente, e $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in U$ e $y \in V$, são as variáveis linguísticas de entrada e saída.

Máquina de Inferência Fuzzy – Na máquina de inferência *fuzzy*, os princípios da lógica *fuzzy* são utilizados para combinar as regras *fuzzy* “SE-ENTÃO” existentes na base de regras em um mapeamento de um conjunto *fuzzy* de entrada para um conjunto *fuzzy* de saída (Wang, 2000).

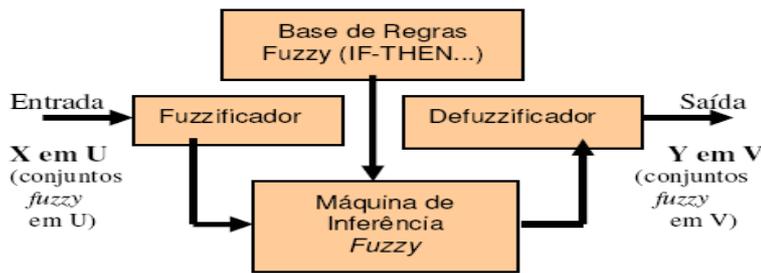


Figura 1
Organização genérica de um sistema *fuzzy*.

Fonte: Wang, Li-Xin. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc..

Fuzzificadores – A principal função de um *fuzzificador* é converter os valores reais de entrada (escalar ou vetorial) em um grau de pertinência a conjuntos *fuzzy* para que sejam tratados pela máquina de inferência. Dentre os *fuzzificadores* mais utilizados, Wang (2000) destacou os seguintes: *Singleton*, *Gaussiano*, *Triangular*.

Defuzzificador - é definido como um mapeamento de um conjunto *fuzzy*, produzido pela máquina de inferência, em valor real. Isto é, especificar um ponto de saída que melhor represente o conjunto *fuzzy*. Na escolha do *defuzzificador*, os critérios de plausibilidade, simplicidade computacional e de continuidade devem ser observados. Wang (2000) cita como *defuzzificadores* mais usados: *centro de gravidade*, *centro ponderado*, e *máximo*.

A utilização da lógica *fuzzy* como ferramenta para a análise de riscos é um assunto que vem sendo discutido há algum tempo na literatura. Pokoradi (2002) apresentou aspectos de como a lógica *fuzzy* poderia ajudar na avaliação de riscos de segurança. Ru e Elloff (1996) apresentaram uma metodologia para modelagem da análise de riscos com base na lógica *fuzzy*, avaliando aspectos relacionados à segurança da informação.

Nieto-Morote e Ruz-Vila (2011) propuseram uma metodologia para avaliação de riscos adequada para tratar um grande número de riscos, baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy* e em AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Deng et al. (2011) apresentou uma abordagem baseada em *fuzzy* e na teoria da evidência de *Dempster-Shafer* em que o depois foi utilizado para combinar o risco de componentes para determinar o risco de um sistema.

A lógica *fuzzy* também foi utilizada como ferramenta por Lazzerini e Mkrtyan (2011): e os autores sugeriram um *framework* para análise de riscos em projetos de *software* que utilizava mapas cognitivos *fuzzy* (*E-FCMs*) e *E-FCMs* estendidos, por conta de uma representação gráfica especial para análise de risco.

Foi apresentado em Chen (2011) um novo método para análise de riscos *fuzzy* baseado no *ranking* generalizado de membros *fuzzy* com alturas esquerdas e direitas diferentes, visando resolver alguns problemas dos métodos *fuzzy* atuais, referentes à análise de risco. Já Bathia e Kapoor (2011) apresentaram uma ferramenta para a predição de riscos em desenvolvimento de produtos de *software*, baseada em mapas cognitivos *fuzzy*, visando ajudar na análise de riscos.

O trabalho de Wu et al. (2013) apresentou um modelo *fuzzy* estocástico para suporte à gestão de risco na terceirização do gerenciamento da cadeia de suprimentos. O modelo proposto utilizava a teoria da utilidade para o tratamento de dados e incerteza estocásticos e a lógica *fuzzy* para o tratamento da incerteza, considerando os graus de aversão a risco e vários níveis de incerteza *fuzzy*.

Lu et al. (2013) apresentaram uma variação do modelo de tomada de decisão *fuzzy* AHP, utilizando a relação de preferência linguística *fuzzy* para avaliar o grau de impacto relativo dos fatores de risco em um projeto de desenvolvimento de *software* para dois grupos de especialistas.

Já Manalif et al. (2012) apresentaram uma proposta que combinou uma técnica baseada em lógica *fuzzy* com a metodologia de avaliação de riscos em projetos de *software* denominada *expert COCOMO*. Apesar do método avaliado ter sido diferente do escopo do presente trabalho, houve alguma compatibilidade de resultados, por se ter obtido um maior nível de sensibilidade na identificação de riscos, ao se comparar os resultados de utilização da metodologia *fuzzy* em relação ao uso da metodologia tradicional. De forma similar ao que foi realizado nesta pesquisa, os resultados da pesquisa de Manalif et al. (2013) foram comparados apenas à abordagem tradicional, tendo obtido melhores resultados. O método avaliado nesta pesquisa pode ser considerado bem mais simples do que o *expert COCOMO*, por se tratar de uma recomendação básica do PMI

(2008), ainda muito utilizada pelos gerentes de projetos nas atividades de gerenciamento de riscos. O tratamento específico do custo não foi uma das prioridades neste trabalho.

Durante a revisão de literatura realizada, confrontada com os resultados das entrevistas com gestores, foi identificado que, apesar da existência de inúmeras abordagens que utilizavam lógica *fuzzy* para melhorar o processo de gerenciamento de riscos, a maioria dos gestores entrevistados ainda utilizava os métodos tradicionais, recomendados pelo guia PMBOK (PMI, 2008), por conta da dificuldade de acesso aos novos métodos, da alta curva de aprendizado das soluções apresentadas na literatura, pelo fato de sua rotina operacional envolver muita carga de trabalho, entre outros fatores restritivos. Foi identificada a necessidade de um método efetivo que melhorasse o processo de análise qualitativa de riscos convencional (PMI, 2008), tratando a incerteza envolvida no processo. Tal método deveria mais simples e mais fácil de aprender. Esse foi um dos pontos que motivou a presente pesquisa e diferencia esta proposta das demais abordagens para análise qualitativa de riscos identificadas na literatura.

2.2 Gerenciamento de riscos em projetos de desenvolvimento de software

De acordo com Penha et al. (2014), não existe um modelo específico para o gerenciamento de risco em projetos de desenvolvimento de *software*, entretanto existem grandes riscos que podem ocorrer durante todo o desenvolvimento desses projetos. Krause (2011) afirma que existe uma escassez de práticas de gerenciamento de riscos e que os projetos de tecnologia de informação possuem características marcantes que os diferenciam dos demais – são projetos em que o controle sobre as incertezas e as indefinições são fortes fatores de determinação do sucesso ou do fracasso do empreendimento. |

Wideman (1992), citado por Vargas (2009) afirmou que um projeto possui uma série de características específicas que devem ser conhecidas e, também, gerenciadas. Pode-se identificar, na Tabela 3, a descrição de cada característica inerente aos projetos.

Tabela 3
Características específicas de projetos, segundo Wideman (1992)

Característica	Função
Raridade	A definição dos objetivos do projeto faz com que ele seja único, ou relativamente pouco frequente.
Restrições	Tempo limitado. Capital limitado. Recursos limitados.
Multidisciplinaridade	Os esforços realizados entre áreas diferentes da organização, ou entre organizações, requerem integração. O trabalho interdisciplinar necessita de coordenação através dos limites organizacionais. Diversas habilidades podem requerer coordenação específica.
Complexidade	Objetivos divergentes entre as partes envolvidas no projeto necessitam de gerenciamento. A tecnologia pode ser modificada em métodos e análises. A tecnologia pode ser complexa por sim mesma.

Fonte: Vargas, R. V. (2009). *Gerenciamento de Projetos: Estabelecendo Diferenciais Competitivos* (7a ed.). Rio de Janeiro: Brasport.

Cleland (1999) descreveu as possíveis necessidades relacionadas à utilização da gestão de projetos para solucionar questões inerentes a cada tipo de organização, conforme mostrado na Figura 2. Esses fatores podem ser identificados de forma individualizada ou até em grupos.



Figura 2
Necessidades de utilização de gestão de projetos nas organizações.

Fonte: Cleland, D. L. (1999). *Project Management: Strategic Design and Implementation*. New York: McGraw-Hill.

Existem três tipos de riscos de *software*: risco de projeto de *software*, risco de processos de *software* e riscos de produto de *software*. Os riscos de projeto podem ocorrer devido aos limites de recursos, *interfaces*, relacionamento com fornecedor ou restrições de contratos. Os riscos de processo de *software* normalmente são relacionados a algum problema técnico ou de gerência. Os riscos de produto de

software são riscos relacionados às características dos produtos. Penha et al. (2014) buscaram avaliar como o gerenciamento de riscos poderia aumentar a taxa de entrega de projetos de *software* na data planejada.

No *RUP (Rational Unified Process)*, o gerenciamento de riscos baseia-se nas fases de desenvolvimento do produto, sendo focado normalmente a riscos na arquitetura do *software*, requisitos de negócio, construção do produto e utilização do *software*. Esses riscos estão distribuídos em quatro fases: *Concepção, Elaboração, Construção e Transição*. Para o *SEI (Instituto de Engenharia de Software)* a gerência de risco possui três fases: *avaliação de riscos, controle de riscos e relatórios de riscos*.

3 SOLUÇÃO PROPOSTA

O objetivo desta pesquisa consistiu no desenvolvimento de um método baseado em lógica *fuzzy* para realizar a análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de *software*, calculando o valor esperado de um risco, sem a necessidade da utilização convencional da combinação da probabilidade e impacto de riscos apresentados na Tabela 2.

A abordagem proposta neste trabalho utiliza a saída de um sistema *fuzzy*, com *fuzzificador singleton*, máquina de inferência produto e *defuzzificador centro ponderado*. Maiores detalhes sobre o *fuzzificador* e *defuzzificador* adotados podem ser vistos em Wang (2000).

Ao seguir a recomendação do PMI (2008) e utilizar a Tabela 2, o gerente de projetos fica restrito à escolha de valores para tomada de decisão, visto que não é possível escolher valores intermediários de probabilidade e impacto. Com a utilização de regras linguísticas e lógicas *fuzzy* a amplitude de combinação de valores de probabilidade e impacto aumenta consideravelmente, haja vista que o especialista poderá escolher valores intermediários dessas duas variáveis linguísticas, com isso a classificação dos riscos em médio, moderado e alto se torna mais precisa, diminuído as chances de imprecisão.

Os valores esperados *fuzzy* (VEF) calculados pelo sistema *fuzzy* proposto são utilizados para o cálculo de métricas usadas no monitoramento e controle de

riscos, o índice de exposição a riscos *fuzzy* (IRRF) e a pontuação de riscos *fuzzy* (PRF). Essas métricas são análogas às métricas propostas por Hilson (2004) e Royer (2000), que utilizam o método convencional para o cálculo do valor esperado de um risco.

Na implementação do método *fuzzy* proposto nesta pesquisa, foi utilizada a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox/Matlab* (MATWORKS, 2013). As variáveis de entrada foram divididas em duas categorias, envolvendo a probabilidade e o impacto de um risco acontecer. Os valores *fuzzy* definidos para essas variáveis e os correspondentes conjuntos *fuzzy* foram definidos tomando-se por base a Tabela 2 (PMI, 2008). O sistema proposto tem como saída o risco classificado como “baixo”, “moderado” e “alto”, de acordo com a variável de saída risco. As variáveis de entrada e saída são descritas na Tabela 4.

Tabela 4
Variáveis Linguísticas utilizadas no Método

Variável Linguística	Universo de Discurso	Descrição do conjunto Fuzzy
Probabilidade (Entrada)	[0..1]	muito baixa (função característica trapezoidal [0 0 0.1 0.2]. baixa (função característica trapezoidal [0.1 0.2 0.4 0.5]. Moderada (função característica trapezoidal [0.4 0.5 0.6 0.7] Alta (função característica trapezoidal [0.6 0.7 0.8 0.9] Muito Alta (função característica trapezoidal [0.8 0.9 1 1].
Impacto	[0..1]	muito baixo (função característica trapezoidal [0 0 0.05 0.1]. baixo (função característica trapezoidal [0.05 0.1 0.15 0.2]. Moderado (função característica trapezoidal [0.15 0.2 0.35 0.4]. Alto (função característica trapezoidal [0.35 0.4 0.75 0.8]). Muito Alto (função característica trapezoidal [0.75 0.8 1 1].

Risco	[0..0.72]	Baixo (função característica trapezoidal [0 0 0.05 0.06]. Moderado (função característica trapezoidal [0.05 0.06 0.14 0.18]), Alto (função característica trapezoidal [0.14 0.18 0.72 0.72]).
--------------	-----------	---

Fonte: baseada em PMI - Project Management Institute (2008). *Project Management Body of Knowledge (PMBOK GUIDE)*, Pensilvânia.

A definição de regras do método foi baseada na Tabela 2, procurando-se incluir todas as regras e a eliminação de conflitos entre elas. Além disso, considerou-se o conhecimento explícito do especialista em gerência de projetos. A Tabela 5 ilustra as regras do método.

Tabela 5
Definição de Regras

Regra	IF	AND	THEN
	PROBABILIDADE	IMPACTO	RISCO
1	qualquer	Muito Baixo	Baixo
2	Muito baixo	Baixo	Baixo
3	Baixo	Baixo	Baixo
4	Moderada	Baixo	Baixo
5	Alta	Baixo	Moderado
6	Muito Alto	Baixo	Moderado
7	Muito baixo	Moderado	Baixo
8	Baixo	Moderado	Moderado
9	Moderada	Moderado	Moderado
10	Alta	Moderado	Moderado
11	Muito Alto	Moderado	Alto
12	Muito baixo	Alto	Baixo
13	Baixo	Alto	Moderado
14	Moderada	Alto	Alto
15	Alta	Alto	Alto

16	Muito Alto	Alto	Alto
17	Muito baixo	Muito Alto	Moderado
18	Baixo	Muito Alto	Alto
19	Moderada	Muito Alto	Alto
20	Alta	Muito Alto	Alto
21	Muito Alto	Muito Alto	Alto

O método *fuzzy* proposto utiliza o *fuzzificador singleton*, *máquina de inferência produto* e *defuzzificador centro ponderado*. A saída do método, valor esperado *fuzzy* (VEF) é dado pela equação 1.1.

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^i (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i))}{\sum_{i=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i))} \quad (1.1)$$

4 METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de caso em um projeto de desenvolvimento de *software* de uma empresa de TI do estado do Ceará, cujo nome não será revelado por razões de confidencialidade do negócio. Face à natureza da investigação avaliativa, que abordou as opiniões de gestores (gerentes de projetos e de TI) na avaliação de um método para a análise qualitativa de risco, empregou-se na avaliação o método *ex post-facto*, conforme afirma Alzina (2004), também conhecido como método estatístico (Gil, 1999; Gil, 2001) ou método correlacional (Kerlinger, citado por Lee, 2002).

Foi realizada uma entrevista semiestruturada com gerentes de projeto e gestores de empresas dos setores de TI, financeiro e indústria de alimentos.

O estudo realizado obedeceu às seguintes etapas:

1. Validação da problemática através de entrevistas;
2. Revisão de literatura;
3. Desenvolvimento do método para análise qualitativa de riscos;

4. Execução do método para a análise qualitativa de riscos em um projeto de desenvolvimento de *software*;
5. Apresentação do método, resultados parciais do estudo, com realização de entrevistas com os gerentes de projeto e gestores;
6. Tabulação e análise dos resultados;
7. Publicação dos resultados.

4.1 População e amostra

A amostra da pesquisa envolveu o gerente e 10 membros da equipe, entre analistas e arquitetos de *software* (n=11). De forma complementar, responderam ao questionário e foram entrevistados 16 gerentes de projetos e 14 gestores de TI (N = 30).

Foram realizadas entrevistas iniciais visando o levantamento de informações sobre a problemática abordada com profissionais do mercado (P=20), da área de gerência de projetos de *software*. O objetivo dessas entrevistas iniciais foi verificar a existência de dificuldades na utilização da Tabela 2 durante as atividades de análise qualitativa de riscos, o que caracterizou a existência da incerteza epistêmica na atividade.

Dessa forma, pode-se afirmar que um total de 61 pessoas (T=11 + 30 + 20) estiveram envolvidas durante a execução da presente pesquisa. Todos os envolvidos (N=61) possuíam alguma formação em gerência de projetos e utilizavam o guia PMBOK.

4.2 Instrumento de coleta de dados

Empregou-se um questionário com cinco perguntas destinadas à avaliação de cada uma das cinco hipóteses relacionadas ao método de análise qualitativa de riscos baseada em lógica *fuzzy*: *acurácia/precisão*; *tratamento de incerteza*; *preferência*; *utilidade*; *completude*. As respostas do questionário visando à validação das hipóteses de pesquisa pelos envolvidos diretamente na utilização do método *fuzzy* (n=11) consistiram de opções *sim* ou *não*.

A metodologia e os resultados da pesquisa foram apresentados a um grupo de gerentes de projetos e gestores de TI (N=30) visando à identificação dos pontos

positivos e negativos do método avaliado, por meio de entrevistas semiestruturadas e questionário.

Buscou-se observar as recomendações de Runerson e Host (2009) e de Wohlin et al. (2000) relativas à validade da aparência e construção dos instrumentos durante a fase de planejamento da pesquisa e projeto do questionário utilizado.

4.3 Estudo de caso

De acordo com Mishina (2006), o uso da lógica *fuzzy* na aplicação de problemas de análise de risco permite representar variáveis incertas ou vagas, modelar problemas cujas teorias clássicas apresentam deficiências, além de ser adaptável e flexível.

O projeto avaliado possuía complexidade entre pequena e média, envolvendo o desenvolvimento de solução para plataforma *web*, metodologia de desenvolvimento ágil integrada às práticas recomendadas pelo guia PMBOK . A equipe envolvida no projeto consistia de 11 pessoas, incluindo o gerente de projeto, analistas e arquitetos de *software*.

A identificação dos riscos do projeto de desenvolvimento de *software* foi realizada pelo gerente de projetos, equipe envolvida e patrocinadores. A entrada dos dados foi realizada com base nos termos linguísticos. Na Tabela 6 são apresentados os riscos identificados pelos sujeitos.

Os riscos foram classificados segundo critérios qualitativos, **Probabilidade de ocorrer** – Muito Alta (MA), Alta(A), Moderada (PM), Baixa(PB), Muito Baixa (MB). **Impacto nos Objetivos do Projeto** - Muito Alto (IA), Alto (A), Moderado (IM), Baixo (IB), Muito Baixo (IMB). Risco Alto (A), Moderado (M), Baixo (B).

4.4 Análise dos resultados

Quando da análise dos resultados relativos ao primeiro risco, a equipe do projeto chegou a um consenso em relação à assertiva de que uma mudança no escopo de um projeto em andamento compromete moderadamente o projeto (impacto moderado) e tem uma probabilidade moderada de acontecer.

Tabela 6

Identificação dos riscos de um projeto de desenvolvimento de software

Seq.	Risco identificado	Classificação	
		Probabilidade	Impacto
1	Solicitação de mudança no conteúdo do projeto que compromete o que está em desenvolvimento	PM	IM
2	Saída de recursos humanos da equipe de projeto	PA	IA
3	Atraso nos pagamentos previstos conforme quadro de custos do projeto	PB	IM
4	Solicitação de mudança constante no escopo do projeto	PB	IM
5	Mudança do fornecedor da hospedagem do site da empresa na Internet	PB	IM
6	Fornecedor da hospedagem do site parar a atividade sem avisar	PM	IA
7	Mudança técnica interna no fornecedor da hospedagem do site	PB	IM
8	Ambiente instável, interrupção no sistema, sistema não disponível para utilização normal	PM	IA
9	Tempo de resposta do sistema de informações insuficiente (na visão do usuário)	PB	IM
10	Mudança no site da empresa (conteúdo institucional) exigir alterações nas atividades do projeto não previstas originalmente	PB	IM

Fonte: dados da pesquisa.

Verificou-se que o sistema *fuzzy* classificou o risco como moderado, como mostrado na Figura 3. Percebe-se que, para uma probabilidade moderada (0.518) e impacto moderado (0.219), se obtém um risco moderado (0.108). Esse valor é a saída do sistema *fuzzy* dada pela equação 1.1, valor esperado *fuzzy* (VEF).

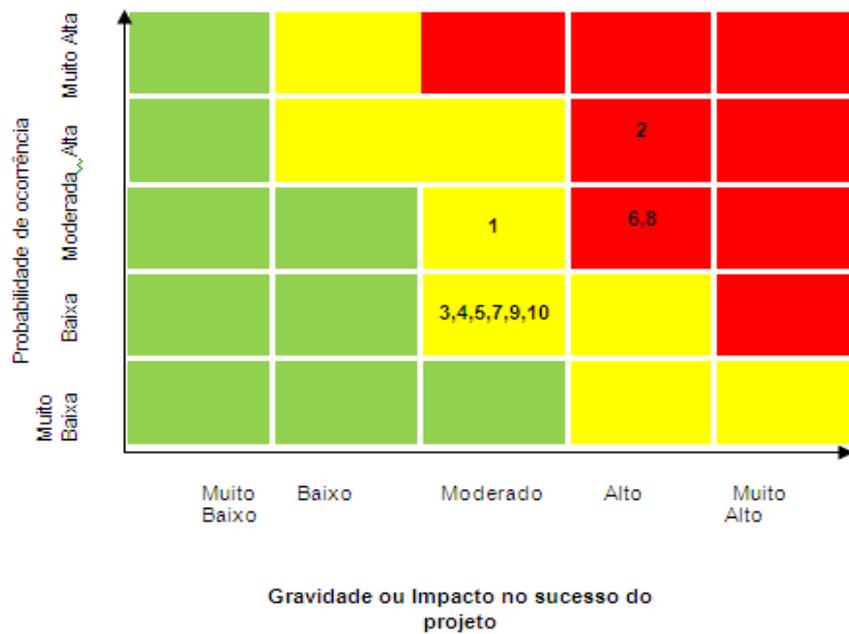


Figura 3
Resultado da análise qualitativa dos riscos
Fonte: dados da pesquisa.

Ao se analisar o segundo risco, considerou-se que a rotatividade de pessoal pode ser alta no projeto, dada as ofertas de emprego crescentes no mercado de informática, considerando probabilidade alta (0.702) e impacto alto (0.577), possuindo um risco classificado como alto (0.442).

Em relação ao terceiro risco, considera-se que existe uma probabilidade baixa de não ocorrerem pagamentos conforme o planejado; caso isso viesse a ocorrer, impactaria moderadamente o projeto. Para esse caso o sistema apresentou os seguintes valores: probabilidade baixa (0.225), impacto moderado (0.305) e risco moderado (0.108). A Tabela 7 mostra todos os resultados possíveis e as classificações dos riscos indicadas pelo sistema *fuzzy* que implementou o método proposto nesta pesquisa.

Tabela 7

Classificação dos Riscos e Valores Esperados *Fuzzy*

Risco	PROBABILIDADE	IMPACTO	VEF
1	0.518(PM)	0.219(IM)	0.108(M)
2	0.702(PA)	0.577(IA)	0.577(A)
3	0.225(PB)	0.305(IM)	0.108(M)
4	0.381(PB)	0.268(IM)	0.108(M)
5	0.28 (PB)	0.295(IM)	0.108(M)
6	0.564(PM)	0.668(IA)	0.442(A)
7	0.353(PB)	0.323(IM)	0.108(M)
8	0.509(PM)	0.768(IA)	0.438(A)
9	0.261(PB)	0.332(IM)	0.108 (M)
10	0.307(PB)	0.323(IM)	0.108(M)

Fonte: dados da pesquisa.

A Figura 4 apresenta o resultado da análise qualitativa dos riscos realizada pelo método *fuzzy* proposto, envolvendo todos os riscos identificados, percebendo-se que todos os riscos ou são moderados ou são altos.

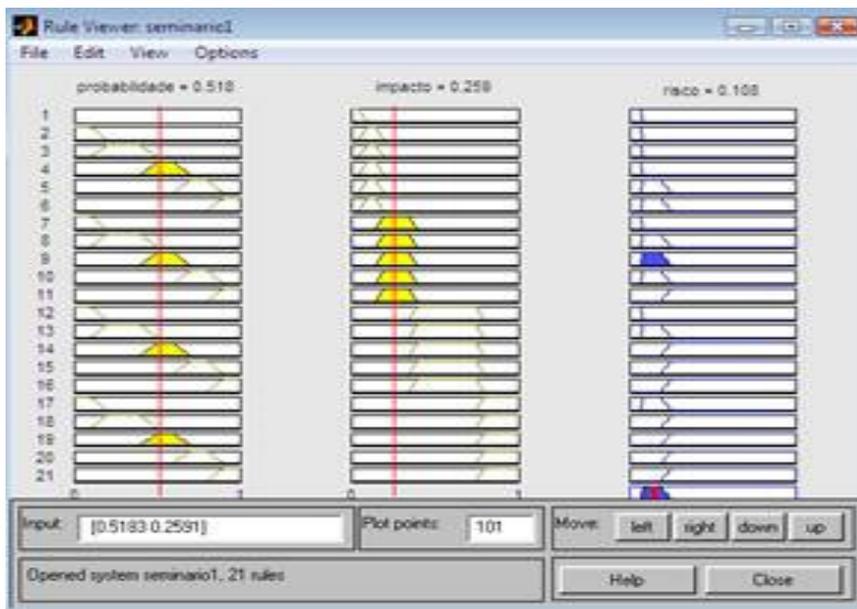


Figura 4
Classificação do primeiro risco realizado pelo sistema *fuzzy*.
Fonte: dados da pesquisa

Uma vantagem de se utilizar sistemas *fuzzy* consiste na possibilidade de se verificar a resposta do mesmo para entradas (variáveis linguísticas), cujos valores se situam em regiões intermediárias como, por exemplo, valores de probabilidade que não seja totalmente muito baixa nem totalmente baixa, o mesmo valendo para o impacto e a partir desses valores se obter a classificação do risco. Utilizando-se apenas a Tabela 2 isso não é possível. O gerente de projetos fica muito limitado e pode ser levado a gerar resultados incorretos ou imprecisos.

A Figura 5 apresenta os resultados do sistema implementado via ferramenta *Matlab* (Matworks, 2013), com o valor esperado *fuzzy* (VEF) de forma tridimensional. Na região amarela estão os riscos classificados como altos, em azul claro os moderados e em azul escuro os riscos baixos.

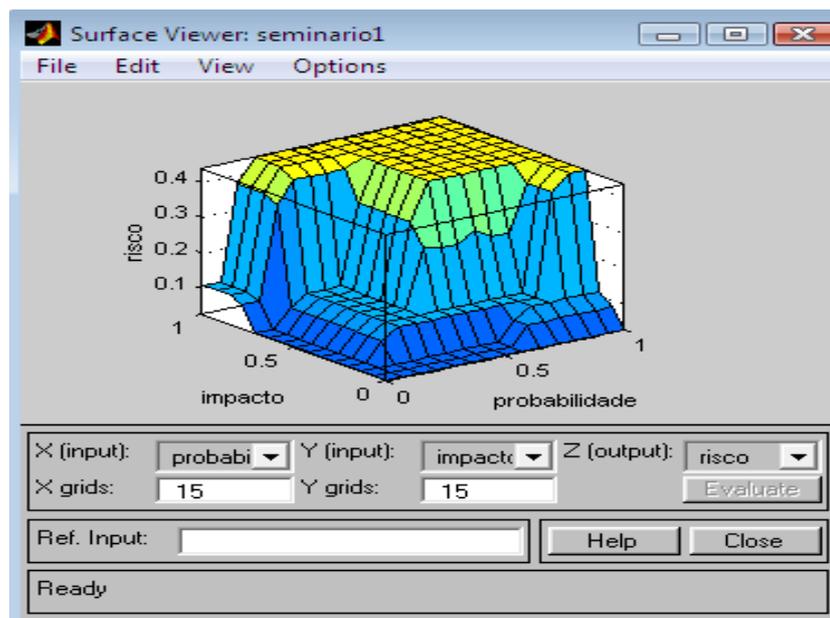


Figura 5
Curva de superfície para o problema avaliado
Fonte: dados da pesquisa.

Hilson (2004) propôs uma métrica que calcula o índice de exposição ao risco, dado pela equação 1.2; o valor VEic é o valor esperado *fuzzy* corrente e VEib é o esperado base. Royer (2000) utiliza uma medida de pontuação de riscos dado pela equação 1.2, VEi é o valor esperado corrente do risco e n o número de riscos.

$$IRR = \frac{\sum_{i=1}^R (VEic) (\overline{VEic})}{\sum_{i=1}^R (VEib) (\overline{VEib})}$$

R=Número de Riscos Identificados (1.2)

$$PR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (VEi)^2}{n}}$$

(1.3)

Na presente pesquisa foram utilizadas as métricas dadas pelas equações 1.2 e 1.3, entretanto os Valores esperados foram *fuzzy*, dados pela equação 1.4 e 1.5.

$$VEic = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^l (\prod_{i=1}^n u_{A_i^l(x)})}{\sum_{i=1}^M (\prod_{i=1}^n u_{A_i^l(x)})}$$

(1.4)

$$\overline{VEic} = \left(\frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^l (\prod_{i=1}^n u_{A_i^l(x)})}{\sum_{i=1}^M (\prod_{i=1}^n u_{A_i^l(x)})} \right)$$

(1.5)

Com a substituição das equações 1.2 e 1.3 pelas equações 1.4 e 1.5, foram obtidos os valores de *IRRF* (*Índice de Exposição aos Riscos Fuzzy*) e *PRF* (*Pontuação de Riscos Fuzzy*), expressos na Tabela 8.

Tabela 8
Monitoramento e Controle dos Riscos

Probabilidade	Impacto	VEF	VE=Pxl	VEB
0,518	0,219	0,108	0,113442	0,0966
0,702	0,577	0,577	0,405054	0,3675
0,225	0,305	0,108	0,068625	0,0966
0,381	0,268	0,108	0,102108	0,0966
0,28	0,295	0,10	0,0826	0,0966
0,564	0,668	0,442	0,376752	0,3675
0,353	0,323	0,108	0,114019	0,0966
0,509	0,768	0,438	0,390912	0,3675
0,261	0,332	0,108	0,086652	0,0966
0,307	0,323	0,108	0,099161	0,0966
	MEDIA	0,233889	0,183933	0,17787
	PR	0,228909	PRF	0,281091
	IRR	1,069329	IRRF	1,556167

Fonte: dados da pesquisa.

Pelos valores obtidos, o projeto pode ser comprometido caso não sejam planejadas respostas adequadas para diminuir os valores de *IRRF* e *PRF*. Com relação ao primeiro risco (Tabela 6), foi definido que toda mudança fosse analisada conforme o fluxo de controle de mudanças e que toda a equipe participará da análise e decisão de mudanças no projeto; com isso a probabilidade e impacto foram atenuados. Com relação ao risco 8, foi considerada a busca de dois fornecedores alternativos para o serviço de hospedagem. Dessa forma, os valores de *IRRF* e *PRF* diminuíram para 1,0801 e 0,1987 respectivamente. O Gráfico da Figura 6 mostra a evolução desses valores, à medida que respostas são planejadas ao risco e que o monitoramento e controle vai sendo realizado. A partir da adoção dessas medidas corretivas, o projeto vai afastando a possibilidade de insucesso, pois o risco permanece sob controle.

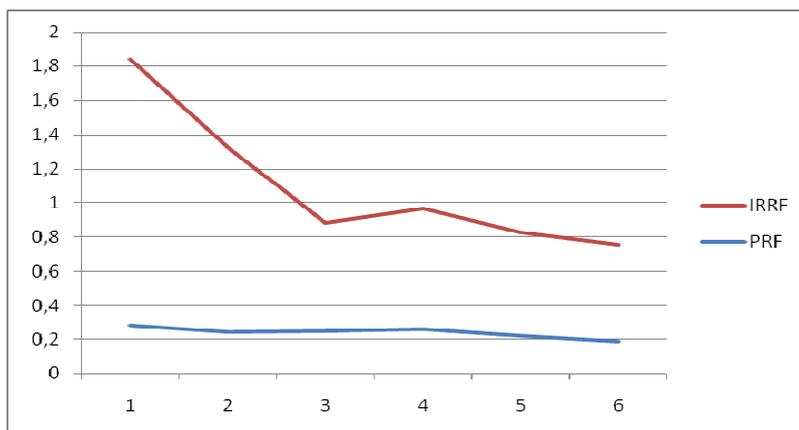


Figura 6
Gráfico: exposição do Projeto a Riscos
Fonte: dados da pesquisa.

4.4.1 Um exercício de validade de aparência para a solução proposta

Validar um método como o que foi apresentado neste trabalho é um esforço que leva muito tempo. Nesta pesquisa foi utilizada uma abordagem rápida, visando o estabelecimento da *validade de aparência* (Runerson & Host, 2009). Em outras palavras, o método aparenta ser razoável em sua apresentação para as pessoas que conhecem o sistema real? Foi desenvolvido um questionário com cinco

perguntas para avaliação das hipóteses, aplicado a 41 profissionais da área de gerenciamento de projetos, entre gerentes de projeto, gestores de TI e membros de equipe, envolvendo empresas dos setores financeiro, indústria e de tecnologia da informação. A teoria completa do método foi apresentada aos profissionais antes da avaliação. Utilizou-se um teste estatístico binomial com 5% de significância para produzir os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9

Hipóteses para testar a validade de aparência do método proposto

Hipóteses	% quem acredita	Existe evidência estatística suficiente para aceitar a hipótese?
Preferência: os gestores preferem o método fuzzy em relação ao método atual de análise qualitativa de riscos.	100	sim
Utilidade: Os gestores consideraram o método útil.	100	sim
Completude: Os gestores consideraram o método suficientemente completo.	90	sim
Acurácia e precisão: Os gestores consideraram o método suficientemente acuraz e preciso.	80	sim
Intangíveis: Os gestores consideraram que o método consegue tratar a subjetividade e incerteza envolvidos no processo de análise qualitativa de riscos.	100	sim

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados indicaram que foi estabelecida a *validade de aparência* (Runerson & Host, 2009) para todas as dimensões avaliadas. Os gestores consideraram o método *fuzzy* para análise qualitativa de riscos como sendo "útil" e "preferível" em relação à forma atual utilizada para a análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de *software*. Foram realizadas outras perguntas por meio de conversas pessoais com os gestores. A simplicidade do método proposto, que procura seguir as recomendações do guia PMBOK com o mínimo de intrusão, foi uma das vantagens citadas pelos gestores entrevistados para sua preferência em relação aos métodos convencionais adotados (como, por exemplo, a utilização da Tabela 2).

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho foi proposto um método que utiliza um conjunto de regras linguísticas e conceitos de lógica *fuzzy* para execução da análise qualitativa de riscos em projetos de desenvolvimento de *software*, o qual atendeu perfeitamente aos requisitos identificados para a atividade.

A principal contribuição desta pesquisa se constitui no próprio método, baseado no modelo convencional de análise qualitativa de riscos proposto pelo PMI (2008) e ainda utilizado por muitos gestores no Brasil. O tratamento da incerteza epistêmica através da utilização de lógica *fuzzy* possibilitou a proposta de uma abordagem simples e fácil de usar, com baixa curva de aprendizado em relação às propostas existentes na literatura, e que foi bem avaliada pelos gestores.

Através da análise dos resultados do estudo de caso realizado, percebe-se que todos os riscos do projeto de desenvolvimento de *software* foram classificados a contento e com precisão. Além disso, pela definição de valores intermediários para as variáveis linguísticas, pode-se inferir que os sistemas *fuzzy* aumentam sobremaneira a faixa de valores para tomada de decisão.

Ao se utilizar sistemas *fuzzy*, os gestores puderam verificar a resposta desta proposta em função das entradas (variáveis linguísticas), cujos valores podem ser situados em regiões intermediárias como, por exemplo, valores de probabilidade que não sejam totalmente muito baixos nem totalmente baixos, o mesmo valendo para o impacto. A partir dos valores dessas variáveis linguísticas de entrada, foi possível se obter uma classificação de risco mas precisa, considerando a incerteza envolvida no processo. O uso da Tabela 2 no método tradicional deixava o gerente de projetos muito limitado, com uma maior possibilidade de obtenção de resultados incorretos ou imprecisos.

Os valores obtidos para *IRRF* e *PRF*, em comparação com os valores tradicionais *IRR* e *PR*, tornam o sistema mais sensível a riscos e com probabilidade alta e impacto alto, pois esses elevam os valores obtidos para essas métricas, melhorando o controle de exposição do projeto a riscos. Houve uma diminuição das chances de insucesso dos projetos.

O método apresentado neste trabalho foi considerado preferível em relação aos métodos atuais, completo para o que se propõe, suficientemente acurado e preciso, procedendo o tratamento da subjetividade e incerteza envolvidos no processo de análise qualitativa de riscos (intangíveis).

Apesar da validade de aparência ser um passo adiante, ainda existem algumas ameaças à viabilidade desta pesquisa. As principais são delineadas abaixo:

- *Validade operacional.* Verificação da acurácia da proposta. A validade operacional foi verificada através de um estudo de caso. Foi possível observar que a incerteza tratada na proposta permite uma melhor acurácia da saída na presença de alguns parâmetros de entrada incertos, apesar de não garantir essa acurácia.
- *Validade dos dados.* Esse tipo de validade garante que os dados necessários para construir, avaliar e testar a proposta, bem como conduzir experimentos, são adequados e precisos. A principal ameaça consistiu na incerteza sobre os parâmetros de entrada. Por esse motivo foi incluído o tratamento da incerteza epistêmica nesta proposta.
- *Validade da conclusão.* Devido à quantidade de repetições do estudo, existe uma deficiência na significância estatística dos resultados. Por outro lado, todas as hipóteses analisadas utilizaram dados dos gestores e demais atores envolvidos no processo de análise qualitativa de riscos. Não existe uma ameaça à viabilidade da pesquisa nesse ponto.

Os resultados obtidos pelo método *fuzzy* foram comparados com a abordagem tradicional recomendada pelo PMI (2008), tendo sido muito bem avaliados. Acredita-se que os resultados desta pesquisa sejam generalizáveis para qualquer projeto na área de TI, entretanto essa possibilidade de generalização ainda precisa ser avaliada em trabalhos futuros. Limitações de tempo, prazo, escopo e financiamento impediram uma maior abrangência do estudo realizado.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver uma ferramenta de *software* de fácil utilização para os gestores para implementar o método apresentado, bem como utilizar o método estendido para o tratamento de outros tipos de referências para cálculo de risco, considerando as estratégias de aversão, busca e neutralidade de ações em função do risco. A análise qualitativa de riscos relativa a projetos de outras áreas de conhecimento também está prevista.

REFERÊNCIAS

- Albeny, R. M., & Martins, M. R. (2009). Medição de eficiência do gerenciamento de riscos em projetos. *Revista Brasileira de Gerenciamento de Projetos*, 7(1).
- Alzina, R. B. (2004). *Metodología de la Investigación Educativa*. Madrid: Editorial la Muralla.
- Bathia, N., & Kapoor N. (2011). Fuzzy Cognitive Map based Approach for Software Quality Risk Analysis. *SIGSOFT Software Engineering Notes*, 36(6), 1–9.
- Carvalho, M., & Junior R. R. (2009). *Construindo Competência para Gerenciar Projetos: Teoria e Casos* (2a ed., 2a reimpressão). São Paulo: Atlas.
- Cavalcanti, D. C. (2009). Gestão de Riscos : Abordagem de conceitos e aplicações. *Revista Brasileira de Gerenciamento de Projetos*, 7 (1).
- Cleland, D. L. (1999). *Project Management: Strategic Design and Implementation*. New York: McGraw-Hill.
- Chapman, R. J. (2006). *Simple Tools and Techniques for Enterprise Risk Management*. J. Wiley& Sons.
- Chen, Z. (2000). *Computational Intelligence for Decision Support*. New York: CRC Press LLC.
- Chen, S., Munif A., Chen, G., Kuo, B., & Liu, H. (2011). A New Method for Fuzzy Risk Analysis Based on Ranking Generalized Fuzzy Numbers with Different Left Heights and Right Heights. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*.
- Deng, Y., Sadiq, R., Jiang, W., & Tesfamariam, S. (2011). Risk analysis in a linguistic environment: A fuzzy evidential reasoning-based approach. *Expert Systems with Applications*, 38, 15438–15446.

- Gil, A. C. (1999). *Métodos e Técnicas da Pesquisa Social*. São Paulo: Editora Atlas.
- Gil, A. C. (2001). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Hilson, D. (2004). Measuring changes in risk exposure. *The Measured*, 4(3), 11-14. Disponível em <http://www.risk-doctor.com> Acesso em 04.04.2009.
- Hong, D., & Xiahong, Q. (2011). Evaluation Method of Software Development Risk Based on Grey Decision-making Theory. *Proceedings of International Conference on Management and Service Science (MASS)*.
- Krause, W. (2011). *Gerenciamento de Risco: Como garantir o sucesso dos projetos de TI?*. Rio de Janeiro: Brasport.
- Lazzerini, B., & Mkrtchyan, L. (2011). Analyzing Risk Impact Factors Using Extended Fuzzy Cognitive Maps. *IEEE Systems Journal*, 5(2).
- Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: métodos de investigación en ciencias sociales*. México: McGraw Hill.
- Lu, S., Yu, S., & Chang, D., Su, S. (2013). Using the Fuzzy Linguistic Preference Relation Approach for Assessing the Importance of Risk Factors in a Software Development Project. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2013, pp. 1-9, Article ID 376375.
- Manalif, E., Capretz, L. F., & Nassif, A. B. (2012). Fuzzy-ExCOM Software Project Risk Assessment. *Proceedings of 11th International Conference on Machine Learning and Applications*.
- Matworks. (2013). *Fuzzy Toolbox User's Guide: for use with MATLAB*. Natick, MA: The MathWorks, Inc..
- Mishina, K. D. V. (2006). Modelo para avaliação qualitativa do risco em oleodutos através da lógica fuzzy segundo a metodologia da IBR. *Anais do 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*.
- Muto, A., Pereira, C., & Taveira, B. (2008). *Exame PMP: A Bíblia - Manual Para Certificação*. Rio de Janeiro: Editora Brasport.
- Nieto-Morote, A., Ruz-Vila, F. (2011). A fuzzy approach to construction project risk assessment. *International Journal of Project Management*, 29, 220–231.
- Oliveira Jr., H. (1999). *Lógica Difusa: aspectos práticas e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Penha, R., Kniess, C. T., Bergman, B. R., & Biancolino, C. A. (2014). Emprego de Técnicas de Gerenciamento de Riscos Técnicos em uma Empresa de Desenvolvimento de Softwares. *Revista Gestão & Tecnologia*, 14 (1).
- Pokoradi, L. (2002). Fuzzy logic-based risk assessment. *ARRMS*, 1 (1), 63–73.

- PMI - Project Management Institute, *Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. Pensilvânia, 2008.
- Royer, P. S. (2000). Risk Management : The undiscovered dimension of Project Management. *Project Management Journal*, 31 (1), 6-13.
- Ru, W. G., & Eloff, J. H. P. (1996). Risk analysis modelling with the use of fuzzy logic, *Computers G Security*, 15 (3), 239-248.
- Runerson, P., & Host, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering, *Springer: Empiric Software Eng.*, 14,31-164, DOI 10.1007.
- Vargas, R. V. (2009). *Gerenciamento de Projetos: Estabelecendo Diferenciais Competitivos* (7a ed.). Rio de Janeiro: Brasport.
- Wang, Li-Xin. (1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc..
- Wideman, R. Max. (1992). *A framework for Project and Program Management Integration*. Upper Darby: Project Management Institute.
- Wohlin, C., Runerson, P., Host, M., Ohlsson, B. R., Wesslén, A. (2000). *Experimentation in Software Engineering - An introduction*. Kluwer Academic Publishers.
- Wu, D., Dash, D., Zhang, Y., & Olson, D. (2013). Supply chain outsourcing risk using an integrated stochastic-fuzzy optimization approach. *Information Sciences*, 235, 242–258.
- Zadeh, L. A. (1998). Fuzzy Logic, *IEEE Transaction Comput.*, 25.
- Zimmermann, H. J. (1991). *Fuzzy set theory and its applications* (2nd revised edition). Kluwer Boston.