



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Uma Abordagem Fuzzy para Avaliação de Riscos em Gerenciamento de Projetos

Estudo de Caso: Projeto de Expansão

Nilton Alejandro Cuellar Loyola

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS - CCS

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

Pós-graduação lato sensu em Gerenciamento de Projetos

Rio de Janeiro, Maio de 2014



Nilton Alejandro Cuellar Loyola

Uma Abordagem Fuzzy para Avaliação de Riscos em Gerenciamento de Projetos

Estudo de Caso: Projeto de Expansão

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho de Conclusão de Curso do programa MBA em Gerenciamento de Projetos apresentada ao programa de pós-graduação lato sensu em Administração da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Gerenciamento de Projetos.

Orientador: Prof. Khrause, Walter

Rio de Janeiro, Maio de 2014

Agradecimentos

Dedicado aos meus pais e a meus irmãos que dia a dia me incentivaram a seguir trabalhando.

Resumo

Cuellar Loyola, Nilton Alejandro; Khrause, Walter. **Uma Abordagem Fuzzy para Avaliação de Riscos em Gerenciamento de Projetos**. Rio de Janeiro, 2014. 101p. Trabalho de Conclusão de Curso — Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho procura apresentar a importância e o funcionamento da avaliação dos riscos dentro do gerenciamento de projetos utilizando a adoção de modelos baseados na Lógica Fuzzy, como metodologia complementar ao estipulado segundo o PMBOK-PMI. Este estudo aborda inicialmente as definições de risco e incertezas, enfatizando no seu entendimento, suas diferenças e algumas técnicas para desenvolver uma ótima identificação, sendo todo isto, um passo importante para realizar a avaliação dos riscos. Continua-se com um estudo exaustivo sobre a teoria da Lógica Fuzzy, descrevendo brevemente os fundamentos teóricos e matemáticos sobre o qual está definida. Para sustentar todo o estudo proposto, nós tomamos um caso real de projetos, de uma empresa que desenvolve projetos EPC(Engineering, Procurement and Construction). Neste projeto, será desenvolvido um planejamento dos riscos, avaliando os fatores qualitativos com a abordagem fuzzy e priorizando os mesmos para a realização do controle e as possíveis respostas ao risco.

Com os resultados obtidos, mostraremos o aumento das possibilidades de sucesso comparados com as avaliações desenvolvidas por ferramentas comuns utilizadas no dia a dia, suas limitações e desvantagens respeito nossa abordagem proposta serão comentadas para ter uma melhor visão e tomar providências ao momento de gerenciar riscos. E por fim, comenta-se como seria importante usar este trabalho como base para desenvolver futuras avaliações de riscos em qualquer tipo de projetos.

Palavras-chave

PMBOK; Riscos; Incertezas; Lógica Fuzzy

Abstract

Cuellar Loyola, Nilton Alejandro; Khrause, Walter (Advisor). **A Fuzzy Approach to Risk Assessment in Project Management**. Rio de Janeiro, 2014. 101p. Final Report — Business Administration Department. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work seeks to present the importance and operation of risk assessment within the project management using the adoption of models based on Fuzzy Logic, as a complementary method according to PMBOK.-PMI. This study first discusses the definitions of risks and uncertainties, emphasizing in their understanding, their differences and some techniques to develop a great identification, being all this, an important step to perform the risk assessment. It continues with a comprehensive study on the theory of Fuzzy Logic, briefly describing the theoretical and mathematical foundations on which it is defined. Order to sustain all the proposed study, we take a real case of projects, a company that develops EPC (Engineering, Procurement and Construction). In this project will be developed a risk planning, assessing the qualitative factors with fuzzy approach and prioritizing them for the realization of control and possible responses to risk.

The results showed increased chances of success compared to the ratings developed by common tools used in everyday life, its limitations and disadvantages regarding our proposed approach will be committed for a better view and take action now to manage risks. Finally, he comments on how important it would be to use this work as a basis for developing future risk assessments for any type of project.

Keywords

PMBOK; Risk; Uncertainties; Fuzzy Logic

Sumário

1	Introdução	10
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivos Gerais	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
1.2	Roteiro do trabalho	13
2	Gerenciamento de Riscos em Projetos	14
2.1	Definição de Riscos e Incertezas	14
2.2	Planejar o Gerenciamento dos Riscos	19
2.3	Identificação dos Risco	20
2.4	Avaliação Qualitativa dos Riscos	22
2.5	Avaliação Quantitativa dos Riscos	24
2.6	Resposta a Riscos	25
2.7	Controle de Risco	27
3	Abordagem Fuzzy	30
3.1	Logica Fuzzy	30
3.2	Conjuntos Fuzzy	31
3.2.1	Operações entre Conjuntos Fuzzy	34
3.3	Relações Fuzzy	36
3.3.1	Conjunto Potência Fuzzy	39
3.3.2	Altura de Conjuntos e Relações Fuzzy	40
3.3.3	Núcleo de Conjuntos e Relações Fuzzy	40
3.3.4	Suporte de Conjuntos e Relações Fuzzy	40
3.3.5	α – cut de Conjuntos e Relações Fuzzy	41
3.3.6	Composição entre Relações Fuzzy Binárias	42
3.3.7	Convexidade de Conjuntos e Relações Fuzzy	44
3.4	O Princípio de Extensão	46
3.5	Números Fuzzy	48
3.5.1	Tipos de Números Fuzzy	51
3.5.2	Operações de Números Fuzzy	54
3.6	Variáveis Linguísticas	61
3.6.1	Raciocínio Aproximado	65
3.7	Sistema Fuzzy	67
3.7.1	Fuzzificação	68
3.7.2	Base de Regras	68
3.7.3	Inferência	69
3.7.4	Defuzzificação	71
4	Estudo de Caso	73
4.1	Descrição do Projeto	73
4.2	Identificando os Riscos	74
4.2.1	Mapas Cognitivos	78
4.3	Metodologia de Avaliação Qualitativa de Riscos	80

4.4	Resposta aos Riscos	90
4.5	Monitoramento e Controle dos Riscos	92
5	Conclusões e Futuros Trabalhos	93
	Referências Bibliográficas	95
A	Primeiro Apêndice	98
A.1	Riscos, Causas e Efeitos	98
A.2	Estratégia e Respostas ao Risco	100

Lista de figuras

2.1	Velho Mundo - Novo Mundo (Adaptado de Oben [9]).	14
2.2	Exemplo de um Registro de Riscos	22
2.3	Matriz de Probabilidade e Impacto.	23
3.1	Função Caraterística $\mu_A(x)$ (linhas tracejadas) e Função de Pertinência $\mu_A(x)$ (linhas contínuas)	33
3.2	(a) Função de pertinência μ_A do conjunto fuzzy \mathcal{A} ; (b) Função de pertinência μ_{A^c} do complemento fuzzy \mathcal{A}^c .	34
3.3	(a) Funções pertinência μ_A e μ_B dos conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} ; (b) Função de pertinência $\mu_{\mathcal{A} \cap \mathcal{B}}$ da interseção fuzzy $\mathcal{A} \cdot \mathcal{B}$.	35
3.4	(a) Funções pertinência μ_A e μ_B dos conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} ; (b) Função de pertinência $\mu_{\mathcal{A} \cup \mathcal{B}}$ da união fuzzy $\mathcal{A} \cup \mathcal{B}$.	35
3.5	Conjunto Fuzzy \mathcal{A} com as propriedades de Altura, suporte, núcleo e α -cut.	43
3.6	Aplicação da condição de convexidade (??) para (a) Um conjunto fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$ (b) Um conjunto fuzzy $\mathcal{B} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$	45
3.7	Aplicação da condição de convexidade (3-50) para (a) Um conjunto fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$ (b) Um conjunto fuzzy $\mathcal{B} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$	46
3.8	Mapeamento: simples entrada - simples saída	46
3.9	Ilustração do Principio de Extensão quando: (a) $f(x)$ é contínuo. (b) $f(x)$ é discreto.	48
3.10	Uma comparação de um número real e intervalo crisp com um número fuzzy e um intervalo fuzzy respectivamente.	50
3.11	Número Fuzzy Triangular.	51
3.12	Número Fuzzy Gaussiano.	52
3.13	Número Fuzzy Exponencial	53
3.14	Intervalo Fuzzy Exponencial	53
3.15	Singleton Fuzzy	54
3.16	Avaliação do Principio de Extensão para a adição de dois números fuzzy	55
3.17	Descomposição de um número fuzzy em \tilde{a} intervalos	58
3.18	Números fuzzy \tilde{a}_1 e \tilde{a}_2 e suas representações descompostas P_1 e P_2 para $m = 2$	60
3.19	Produtos de números fuzzy $\tilde{b} = \tilde{a}_1 \tilde{a}_2$ e sua representação descomposta $Q = P_1 \cdot P_2$	61
3.20	Variável Linguística Temperatura com cinco valores linguísticos.	63
3.21	Modificadores Linguísticos (<i>Hedges</i>).	64
3.22	Componentes de um Sistema Fuzzy.	67
3.23	Gráfico do Método de inferência Mamdani (<i>Max - Min</i>) com entradas crisp	71
3.24	Gráfico do Método de inferência Mamdani (<i>Max - Produto</i>) com entradas crisp	72
4.1	Ciclo de vida e fases do projeto.	74
4.2	Estrutura Analítica do Projeto (EAP).	75

4.3	Estrutura Analítica de Riscos.	77
4.4	Mapa Cognitivo de Riscos.	79
4.5	Modelagem para calcular o Risco.	80
4.6	Funções de Pertinência da variável de entrada Prazo e Custo.	82
4.7	Funções de Pertinência da variável de entrada Probabilidade e Impacto.	83
4.8	Funções de Pertinência da variável de saída Risco	84
4.9	Funções de Pertinência da variável de saída Risco	86
4.10	a)Superfície do Impacto. b)Superfícies da Matrix Risco. c)Superfície da Matriz Risco Fuzzy 1. d)Superfície da Matriz Risco Fuzzy 2.	89
4.11	Digrama de Bolhas dos riscos	90

Lista de tabelas

2.1	Definição de Incerteza e Risco	15
2.2	Definição de Incerteza e Risco	17
2.3	Definição de Incerteza e Risco	29
3.1	A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.	68
4.1	Fragmento de um Registro de Riscos.	76
4.2	Escala de valores para o Custo e Prazo.	80
4.3	Escala de valores para a Probabilidade.	81
4.4	Fuzzificação das variáveis Custo e Prazos.	81
4.5	Base de Regras.	82
4.6	A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.	83
4.7	A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.	83
4.8	Base de Regras	84
4.9	Primeiro resultados na estimação dos Riscos	85
4.10	A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.	87
4.11	Base de Regras	87
4.12	Segundo resultados na estimação dos Riscos	87
4.13	Fragmento do registro de respostas	91
4.14	Controle de Risco. Fonte Amaral [33].	92
A.1	Registro de respostas ao Riscos	98
A.2	Fragmento dos resultados na estimação dos Riscos	100

1

Introdução

Como as avaliações de risco tornaram-se rapidamente auxiliares importantes no processo de tomada de decisões relacionadas com a gestão de fontes e eventos indesejados, a questão da incerteza tomou uma importância primordial de estudo. Os riscos envolvidos nas indústrias estão relacionados a vários fatores, tais como propriedades físicas e químicas, probabilidade de incidentes, propagação dos incidentes se ocorrerem, atividade e efeito sobre o homem e o ambiente, etc. Muitos desses fatores colocam informação escassa e imprecisa. Nestas situações, a avaliação da incerteza não pode ser negligenciada. Além disso, a tomada de decisão baseada em risco são mais eficazes quando o risco é realista, mas na prática, a incerteza é irreduzível a partir dos dados e modelos. Portanto, é necessário considerar o impacto da incerteza sobre a tomada de decisão com base em modelos de avaliação de riscos.

O análise de risco, especialmente nas fases iniciais do projeto, é complicado porque a natureza do risco é geralmente afetado por inúmeros fatores, incluindo o erro humano, os dados e informações disponíveis. Em muitas circunstâncias, pode ser extremamente difícil de avaliar os riscos associados a um projeto devido à grande incerteza envolvida.

Os projetos são quase sempre concebidos, implementados, integrados, e operados em condições inevitáveis de risco e incerteza e muitas vezes são esperados para atingir múltiplos e conflitantes objetivos. Devem constituir parte integrante e explícita do processo global de tomada de decisão e não deve ser uma idéia de último momento por separado.

O corpo de conhecimento em avaliação de riscos e gestão, ganhou atenção significativa durante as últimas três décadas (e especialmente desde o atentado do 11 de setembro de 2001 contra os Estados Unidos), desenvolvendo muitas disciplinas que abrangem aspectos empíricos e quantitativos, bem como normativos e julgamentos de tomada de decisão.

Em diversos projetos que podemos encontrar no dia a dia, por exemplo, a indústria da construção seja talvez mais do que outro que tenha assolado por vários riscos, muitas vezes resultando um desempenho ruim com o aumento dos custos, tempo de atraso, levando até a falência do projeto. A natureza da

construção tornou-o um regimen difícil de lidar com os riscos [1].

Os riscos são influenciados sempre por fatores qualitativos e quantitativos. Portanto, isto sugere que qualquer metodologia a ser utilizada para avaliar riscos deve ser capaz de manipular dados qualitativos e quantitativos. O tratamento destes fatores poderia ser problemático, sobre tudo nos fatores qualitativos, devido à falta de um procedimento para realizar eficientemente sua avaliação e algumas vezes é deixado de lado considerando somente os fatores quantitativos.

Muitas técnicas de avaliação quantitativa de riscos, atualmente utilizados são relativamente maduras, tais como Análise do árvore de falhas, árvore de eventos, Análise por Monte Carlo, Análise de Cenários, Análise de Sensibilidade, Programa de avaliação e revisão técnica. No entanto, para aplicações eficazes destas técnicas quantitativas sofisticadas, os dados de alta qualidade são um pré-requisito necessariamente [2].

A modelagem probabilística, são muitas vezes predominantes na avaliação dos riscos. Eles tornaram-se uma base essencial para o tomada de decisão sobre riscos em distintas áreas. Mas os modelos de probabilidade desenvolvido sobre a teoria dos conjuntos clássicos (crisp) poderiam não ser capaz descrever alguns riscos de uma forma significativa e prática.

Este trabalho está focado sobre a aplicação prática da teoria da logica fuzzy e conjuntos fuzzy, introduzido pelo matemático Lotfi A. Zadeh em 1965, para a avaliação de riscos no gerenciamento de projetos. Ao contrario da teoria da probabilidade, a teoria da lógica fuzzy admite a incerteza de forma implícita, podendo facilmente incorporar informações descritas em termos linguísticos. Com os modelos da lógica fuzzy é mais eficiente incorporar diferentes opiniões dos especialistas, sendo assim, mais adaptados ao casos com dados ou informações insuficientes e imprecisas. Fornecem uma estrutura em que a experiência e a entrada dos dados dos especialistas podem conjuntamente avaliar as incertezas identificando suas principais questões.

Riscos que não são totalmente compreendidos podem ser modelados usando aproximações e inferências a partir do conhecimento ambíguo. Portanto, gestores de riscos podem não ter conhecimento ou dados suficiente para uma avaliação completa utilizando somente modelos baseados em teoria de probabilidades. Os modelos da lógica fuzzy pode ser fundamental para avaliar a exposição desses riscos, simplificando as estruturas do gerenciamento dos riscos em grande escala. Para aqueles riscos que não apresentem um modelo probabilístico quantitativo proprio, a abordagem fuzzy pode ajudar a modelar as relações causa e efeito, avaliando o seu grau de exposição ao risco e classificando os principais de uma forma consistente. Além disso, incluem regras

que explicitamente explicam a ligação, a dependência e as relações modeladas entre os fatores que são uteis para mitigar os riscos com o mais alto nível de exposição e um custo relativamente baixo de cobertura.

Tem havido muitas pesquisas na literatura sobre a avaliação de riscos com a crescente ênfase em gerenciamento de risco em vários setores da indústria utilizando uma abordagem fuzzy. O gerenciamento de riscos é um problema típico de toma de decisões e é sempre um assunto prático na comunidade de pesquisa industrial [3],[4], onde o objetivo mais básico de gerenciamento de riscos é evitar que as coisas saiam errado devido a problemas de confiabilidade, falha do sistema e assim por diante [5],[6],[7].

A teoria da lógica difusa, também podem ser utilizados em outros problemas e aplicações na tomada de decisão multicritério, multiobjetivo etc., e melhor ainda, complementando com outras abordagens como Redes Neurais, Inferência Bayessiana, modelos de Markov, etc., sendo um grão potencial para resolver os problemas difíceis na avaliação de riscos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é estudar a importância da abordagem fuzzy para desenvolver uma avaliação qualitativa dos riscos no gerenciamento de projetos, e ser implementado em um caso real.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho estão baseado na parte teórica de Gerenciamentos dos Riscos.

- Realizar estudos para um maior entendimento sobre as definições de riscos e incertezas, como também mostrar suas principais diferenças e possíveis erros no momento de sua identificação.
- Mostrar a importância de uma avaliação de riscos dentro do gerenciamento de projetos.
- Analisar as possíveis limitações e desvantagens das ferramentas existentes para a avaliação dos riscos.

1.2

Roteiro do trabalho

Este trabalho está organizada em cinco capítulos, sendo o primeiro deles esta breve introdução, que procura dar a ambientação do trabalho realizado.

No capítulo 2, apresenta-se uma narrativa que aborda e mostra definições sobre Gerenciamento dos Riscos segundo a metodologia do PMBOK [8]. Além disso, descrevem-se conceitos fundamentais e diferenças entre riscos e incertezas, que atualmente podem-se encontrar em numerosas pesquisas e trabalhos relacionados.

No capítulo 3, apresentam-se os aspectos e as definições teóricas da abordagem fuzzy, descrevendo suas principais características, propriedades, modelos lógicos, e inferências, tornando-se uma ferramenta útil para a aplicação na avaliação de riscos. Além do estudo matemático.

No capítulo 4, é apresentado a aplicação prática dos fundamentos da teoria fuzzy para avaliar os riscos em um Projeto de um caso real. O Gerenciamento dos Riscos sera desenvolvido para um Projeto que é atualmente desenvolvido em uma empresa de pesquisa.

Finalmente no capítulo 5, apresenta-se os comentários finais e a conclusão do trabalho, relatando os objetivos alcançados, descrevendo as vantagens e desvantagens desta pesquisa e sugerindo trabalhos que possam ser realizados tomando por base o projeto apresentado.

2

Gerenciamento de Riscos em Projetos

O Gerenciamento de Riscos em projetos, é um processo estruturado que permite gerenciar a incerteza relacionada com as ameaças e oportunidades, através de uma sequência de atividades humanas, incluindo a avaliação de riscos, o desenvolvimento de estratégias para controlá-lo e a mitigação de riscos usando recursos gerenciais. As estratégias incluem a transferência do risco para outra parte, evitado o risco, reduzindo os efeitos negativos e também aceitando algumas ou todas as consequências de um risco em particular.

2.1

Definição de Riscos e Incertezas

No mundo atual dos negócios, as organizações procuram prever as mudanças e responder-lhes adequadamente, mas o ritmo das mudanças está em perigo de ultrapassar a taxa de aprendizagem, por exemplo, observe a figura 2.1, onde chama-se de velho mundo as empresas que foram capazes de ficar

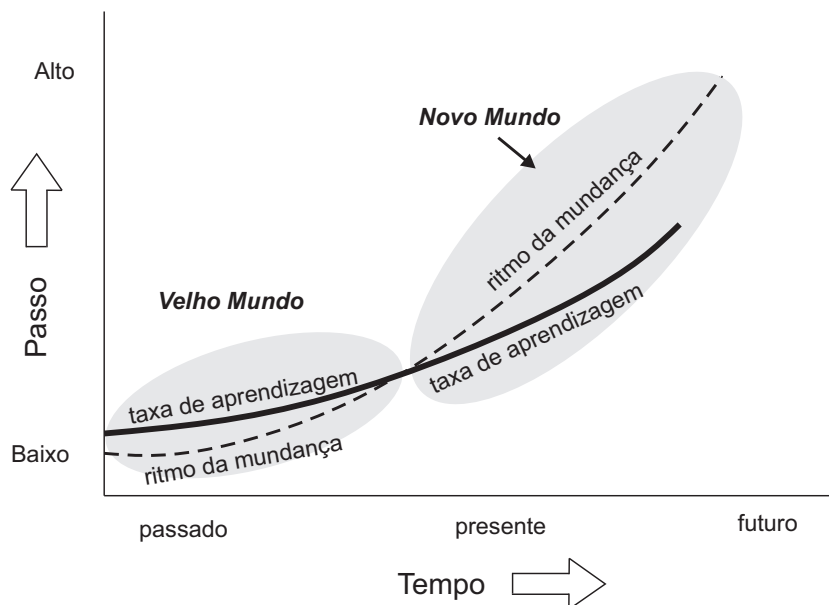


Figura 2.1: Velho Mundo - Novo Mundo (Adaptado de Oben [9]).

à frente da curva de aprendizado mais rápido do que seus concorrentes e se adaptar às mudanças. No novo mundo de mudanças rápidas, aparecem lacunas

como a capacidade das organizações para responder quedas para trás o ritmo da mudança.

Similarmente a margem de incerteza que também está em qualquer projeto é considerável, e na maioria das atividades de gerenciamento de projetos estão preocupados com o gerenciamento da incerteza desde as primeiras fases do ciclo de vida do projeto, esclarecendo o que pode ser feito, de decidir o que deve ser feito, e assegurar que ela é feito.

Se o gerenciamento de riscos é ajudar a enfrentar os desafios colocados por um mundo incerto, então deve ser devidamente orientada e efetivamente implementadas. Tudo isso dependera de se ter uma definição de risco e incerteza clara, inequívoca e amplamente aceita. Se não somos capazes de definir ou diferenciar entre um risco e incerteza, portanto, não seremos capazes de realizar uma gestão de riscos eficaz.

Assim a primeira questão é se precisamos a palavra risco em tudo? À primeira vista os termos “incerteza” e “risco” parecem similares, mas serão sinônimos? Capazes de ser intercambiados sem confusão ou perda de sentido? Ou há qualquer distinção real e útil entre os dois? Na tabela 2.1 observa-se algumas definições de três dicionários.

Tabela 2.1: Definição de Incerteza e Risco

Dicionario	Incerteza	Risco
Collins, 1979	Falta de certeza; não é capaz de ser precisamente conhecida ou presumida, não precisamente determinado,	Possibilidade de ocorrência de infortúnio ou perda; perigo, envolvendo perigo, perigosa.
Roget, 2008	Ambiguidade, ambivalência, mutabilidade, confusão, dilema, dúvida, imprevisibilidade, etc.	Acidente, contingencia, perigo, oportunidade, possibilidade, etc.
Aurelio, 2012	Condição ou natureza do que é incerto, que não possui certeza, imprecisão	Perigo, probabilidade ou possibilidade de perigo

Alguns filósofos sugerem que, como resultado de “incerteza” pertence ao domínio subjetivo de crença enquanto “risco” tem um componente objetivo com base em fato ou verdade. Em teoria, este tipo de distinção pode parecer útil e clara, mas na realidade as probabilidades raramente são conhecidos com precisão ou certeza. Na maioria dos casos, não podemos ter certeza de que estimativas de probabilidade estão corretos, por isso mesmo “risco” é incerto!

Se quisemos encontrar um papel claro para a gestão de risco em relação a enfrentar o desafio da incerteza, as discussões com base em matemática ou filosofia não são suscetíveis de produzir soluções utilizáveis. Por isso, é necessária uma abordagem mais pragmática, que seja útil na prática, que apoia ao gerenciamento de risco eficaz boa tomada de decisões quando as condições não são certas.

Observando a Tabela 2.1 parece que a “incerteza” é um termo genérico, enquanto “risco” parece ser mais específico. Isto pode dar uma pista de como eles podem ser ultimamente distinguidos. Talvez risco poder ser visto como um subconjunto ou caso especial de incerteza. Observando o mundo que nos rodeia confirma que é caracterizada pela incerteza em muitas formas resultantes de uma grã variedade de fontes.

No entanto, a tarefa de gestão de riscos é bastante específico. Trata-se de permitir que os indivíduos, grupos e organizações tomem decisões adequadas à luz das incertezas que os cercam. Então como podemos determinar qual a resposta é apropriado para qualquer incerteza particular? Talvez é uma maneira de separar as diversas incertezas em dois grupos: aqueles que são importantes para nós, e aqueles que não são importantes. A medida que procuramos fazer sentido do nosso meio ambiente incerto e decidir o que fazer, a fim de avançar, precisamos saber que incertezas são importantes, e, em seguida responder adequadamente a esses.

Isto pode levar uma definição inicial de “risco”, que oferece uma distinção útil para orientar nosso pensamento e prática.

“Risco é incerteza que importa”

Enquanto isso poderia não ser adequado como uma definição totalmente formado. Nem toda incerteza é um risco, mas o risco é sempre incerto. Risco torna-se um subconjunto de incertezas, filtrada sobre se é ou não importante. Se o gerenciamento de riscos concentra-se em identificar e gerenciar essas incertezas que importa, ele vai ajudar-nos a responder de forma adequada. Na verdade, isso é consistente com as distinções matemáticas e filosóficas anteriores entre incerteza e risco.

Por exemplo, o resultado de uma corrida de cavalos é geralmente incerto, mas a menos que uma pessoa tem apostado no resultado não há risco para eles. A incerteza só se torna um risco quando é preciso, caso contrário é uma mera curiosidade intelectual ou irrelevância.

Para tornar esta prática como uma estrutura para o gerenciamento riscos, precisamos saber como decidir se uma incerteza particularmente é importante ou não. A chave é se “concentrar em objetivos” porque definem o que verdadeiramente importa para qualquer indivíduo, grupo ou organização.

Uma definição dos objetivos é o processo de descrever o nosso objetivo desejado e o ponto final que representa o sucesso. Para concentrar no que importa, devemos vincular tudo a concretização dos objetivos acordados. Ao definir “risco” como esse subconjunto de incertezas que importa, estamos firmemente entendendo o gerenciamento do riscos, é uma tarefa para identificar e gerenciar qualquer incerteza que possa afetar o nosso resultado desejado, isso fornece uma ligação clara entre o gerenciamento de riscos, sucesso, entrega, valor e benefícios.

Quando os riscos são gerados de forma eficaz as chances de atingir os objetivos serão otimizados. Por outro lado, o má gerenciamento de riscos irá reduzir a probabilidade de sucesso. Portanto, nossa definição de “risco como incerteza que importa” pode ser expandido em “risco” é “incerteza” que, se ocorrer, afetará a realização dos objetivos.

Na verdade, esta definição pode ser encontrada na maior parte de normas atuais, igualmente abrangentes, e diretrizes de gerenciamento de riscos como ilustrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Definição de Incerteza e Risco

Fontes	”Incertezas...”	”... Ou que importa”
A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBok Guide 5th) Project Management Institute - PMI 2013	Um evento ou condição incerta...	... que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo em um mais objetivos do projeto.
A Risk Management Standard (Institute of Risk Management et al 2002)	Um evento incerto ou conjunto de circunstâncias...	... que deveria ou que ocorram teria um efeito sobre a realização de um ou mais objetivos do projeto.
APM Body of Knowledge (Association for Project Management, 2012)	Um evento incerto ou um conjunto de circunstâncias	... que, ao ocorrerem, terão efeito sobre a concretização de um ou mais objetivos do projeto.
Risk Analysis & Management for Projects (RAMP Institution of Civil Engineers et al 2005)	Uma possível ocorrência...	... o que poderia afetar (positiva ou negativamente) a realização dos objetivos para o investimento.

Cada uma das definições apresentadas na tabela 2.2, tem duas partes distintas: a primeira delas relaciona-se com algum tipo de incerteza, e a segunda parte descreve por que é importante, ligando o efeito da incerteza para a realização dos objetivos.

Destas definições utilizadas de dupla face dos riscos positivos e negativos são comumente conhecidas como oportunidades e ameaças. Dentro do contexto do projeto, o que significa que existem incertezas que importam, porque se eles ocorrerem impediram a realização dos objetivos do projeto (ameaças), mas também existem incerteza cuja ocorrência poderia ajudar atingir esses objetivos (oportunidades.). Por último, embora seja verdade que os objetivos são importantes em todos os níveis são particularmente relevantes para projetos. Como resultado, o gerenciamento de riscos tem uma importância particular para o gerenciamento de projetos cujos riscos conhecidos são aqueles que foram identificados e analisados, possibilitando o planejamento de respostas.

Depois de ter definido e entendido que os riscos são aquelas incertezas de se ocorrer possam tornar-se em oportunidades ou ameaças para os objetivos do projeto, devemos também ser capazes de entender as incertezas, como são ou se há vários tipos que se apresentam naturalmente. Todas estas interrogantes devem ser supridas para assim, podamos utilizar apropriadamente as abordagens teóricas existentes, no momento de realizar sua avaliação.

Os fatores que afetam a incerteza na avaliação dos riscos, são de vários tipos e surgem de diferentes fontes. Oberkampf [10] e Helton [9] classificam a incerteza em duas grandes categorias, ou seja, uma incerteza aleatória ou estocástica e outra subjetiva ou epistêmica.

A incerteza estocástica (também chamada como variabilidade ou incerteza irreduzível) é a variação física presente no sistema a ser analisado ou o seu ambiente. Não é estritamente devido à falta de conhecimento e não pode ser reduzida. A determinação das propriedades dos materiais ou condições de funcionamento de um sistema físico geralmente leva a incertezas aleatórias; caracterização experimental adicional pode fornecer descrição mais conclusiva da variabilidade, mas não pode eliminá-lo completamente. Incerteza aleatória é normalmente caracterizada usando abordagens probabilísticas (Frey e Rubin [11], Quelch e Cameron [12]).

O segundo tipo de incerteza (também chamado de incerteza redutível ou simplesmente incerteza) é principalmente devido à falta de conhecimento, erro de medição, imprecisão, ambiguidade, indeterminação e julgamento subjetivo (Aruraj e Maiti [13], Zonouz e Miremadi [14]). Ela pode surgir a partir de pressupostos apresentados na derivação do modelo matemático utilizado ou simplificações relativas à correlação ou dependência entre processos físicos. É

obviamente, possível reduzir a incerteza epistêmica usando, por exemplo, uma combinação de calibragem, inferência a partir de observações experimentais e melhoria dos modelos físicos. Incerteza epistêmica não está bem caracterizada por abordagens probabilísticas porque pode ser difícil inferir alguma informação estatística, devido à falta do conhecimento nominal. Exemplos típicos de fontes de incerteza epistêmica são premissas de modelagem sob comportamentos físicos, ambientes para tomada de decisão, etc. Incerteza epistêmica é normalmente caracterizada usando abordagens da aritmética intervalar, lógica fuzzy etc.

2.2

Planejar o Gerenciamento dos Riscos

O processo de planejar o gerenciamento dos riscos responde à questão de quanto tempo deve ser dedicado ao gerenciamento dos riscos com base as necessidades do projeto. E também responde a questões como quem estará envolvido e como a equipe realizará o gerenciamento dos riscos. Na tabela 2.3 podemos observar os passos do processo de gerenciamento de riscos de alguns padrões de riscos utilizados por diferentes instituições, e indicando o grau de semelhança.

Como componente final deste processo; é definir as fontes potenciais de riscos para o projeto é dizer poder categoriza-os ajudando assim a que não sejam esquecidas. Isto é, muitas vezes apresentadas em uma Estrutura Analítica de Riscos (*Risk Breakdown Structure* - RBS) talvez com base em um padrão da indústria ou um modelo organizacional garantindo todas as categorias sejam consideradas.

Este processo termina com uma geração de documento chamado plano do gerenciamento de riscos que inclui:

- Metodologias que define como você realizara o gerenciamento dos riscos para o projeto específico se lembrando de adaptar os métodos as necessidades de cada projeto.
- Projetos de Baixa prioridade exigirão menor esforço do que de projetos de alta prioridade
- Papeis e responsabilidades que definem o “Quem fará o quê”
- O Orçamento e custo que estará incluído no processo de gerenciamento de riscos
- A frequência que define a repetição ao longo do ciclo de vida do projeto, pois novos riscos podem ser identificados à medida que o projeto progride e o grau de risco que pode mudar

- Categorização dos Riscos no EAR.
- Definições de probabilidade/impacto, tolerâncias, relatórios, rastreamento, etc.

Antes de continuar com o processo de identificação de riscos, o primeiro passo essencial é definir quais os objetivos que estão em risco. Isso nos dá um escopo do processo de risco sendo o principal objetivo. Uma vez que cada projeto tem um nível diferente de exposição ao risco é necessário dimensioná-lo para enfrentar o desafio do risco em cada projeto específico. Projetos que são de alto risco ou de importância estratégica vai exigir uma abordagem mais robusta a gestão de riscos do que aqueles que são mais simples ou de rotina.

2.3

Identificação dos Risco

Neste processo os riscos são identificados com o esforço de todas as partes interessadas (*stakeholders*) e talvez até incluir a análise de bibliografia, pesquisa e conversa com partes não interessadas. Às vezes, a equipe principal iniciará o processo e depois os outros membros da equipe serão envolvidos, tornando identificar os riscos um processo iterativo. Existem boas técnicas disponíveis para a identificação de riscos. Os mais comuns são mostradas a seguir:

- Técnicas de coleta de informação que também são usadas para coletar os requisitos do projetos, por exemplo, temos o Brainstorming, Delphi, Entrevistas, etc.
- A matriz SWOT, esta análise ajuda identificar suas forças e fraquezas e, portanto, identificar os riscos (oportunidades e fraquezas).
- Utilizar uma lista de verificação (*checklists*) das categorias de riscos específicos presentes no projeto.
- Analisar as premissas e restrições detalhadas no projeto para expor os mais importantes e arriscados.
- Revisão de documentação e de projetos semelhantes concluídos, para identificar os riscos comuns e respostas eficazes.
- Também algumas técnicas utilizadas no gerenciamento da qualidade podem ser usadas para analisar e identificar causas-raiz. Por exemplo, diagrama de causa e efeito, fluxogramas, diagrama de Pareto, mapas cognitivos, etc.

Com cada uma destas técnicas, é importante envolver as pessoas certas com a perspectiva e experiência para identificar os riscos necessários enfrentados pelo projeto. O gerente de projetos deve selecionar técnicas apropriadas com base no desafio dos riscos, conforme definido no plano de gestão de riscos. O EAR do projeto pode ser utilizado para a identificação, certificando que todas as fontes de riscos são consideradas. As vezes uma resposta apropriada se torna claro, logo que o risco é identificado e, em tais casos, pode ser aconselhável encarar ao risco imediato se for possível, desde que a resposta proposta é viável e rentável.

Então qualquer que seja a técnica usada, é importante lembrar sempre que o objetivo de identificação de risco é identificar os riscos. Enquanto isto pode parecer evidente, muitas vezes confundimos com coisas que não são riscos, incluindo problemas ou reclamações por exemplo. Além disso, o erro mais comum é identificar causas (condições presentes que dão origem ao risco) ou os efeitos (impacto direto que o risco teria sob o objetivo se acontecer) para confundi-los com riscos. Incluindo causas ou efeitos na lista de riscos identificados podem atrapalhar os verdadeiros riscos não recebendo uma adequada atenção.

Hillson [15], sugere para identificar os riscos, o uso de uma metalinguagem que fornece uma descrição do risco, estruturada em três partes, que inclui causa risco e efeito. A exigência de que cada elemento seja explicitado minimiza a confusão entre os três. Os três elementos da metalinguagem podem ser resumidos em: “Como resultado de <causa precisa>, pode ocorrer <evento incerto>, o que acarretaria o <efeito nos objetivos>”. Seguem alguns exemplos:

- Greve no aeroporto (causa), os componentes e materiais não chegaram a tempo (risco), criara um atraso nas tarefas (efeito no objetivo).
- Temos que terceirizar a produção (causa). Podemos aprender novas práticas a partir de nosso parceiro a ser selecionado (risco), o que poderá aumentar a produtividade e a rentabilidade (efeito).
- Porque nossa organização não desenvolveu esse produto (fato = causa), podemos ficar atrás da concorrência (incerteza = risco) e nossa atuação no mercado pode não atingir os índices de desempenho esperados (possibilidade contingente = o efeito no objetivo).

O uso da metalinguagem do risco deve garantir que a identificação de riscos, na verdade identifica os riscos distinto de causas e efeitos. Sem essa disciplina pode produzir uma lista misturada contendo riscos e não riscos, levando mais tarde à confusão e à distração no processo de risco.

Uma vez terminada o processo de identificação, cada risco deve ser alocado para um proprietário ou responsável que será responsável do gerenciamento eficaz do risco. Sendo utilizado uma variedade de técnicas e ferramentas para encontrar todos os riscos, o processo de identificação de riscos termina garantindo que eles estejam documentados no Registros de Riscos.

Este registro pode ser simples ou complexa, dependendo dos requisitos de informação do projeto e da organização patrocinadora, e este é um dos aspectos evolutivos do processo de risco definida no plano de gestão de riscos.

O registro de risco é atualizados após de cada umas das etapas subsequentes do processo de gestão de risco, para capturar e comunicar informações de risco e permitir a análise e ações apropriadas que devem ser realizadas. Este registro dos riscos inclui basicamente: Lista de riscos, Lista de possíveis respostas, causa-raiz, categorias etc., como se mostra na figura 2.2.

ID	Risco	Descrição	Causas	Efeito	Área do Projeto	Prob.	Impact.	Estratégia	Respostas	Responsável	Data Limite
⋮											⋮

Figura 2.2: Exemplo de um Registro de Riscos

2.4

Avaliação Qualitativa dos Riscos

No processo anterior a identificação dos riscos geralmente produz uma longa lista de riscos categorizados de várias maneiras. No entanto, não é geralmente possível abordar todos os riscos com o mesmo grau de intensidade ou importância, devido às limitações de tempo e recurso disponível. E nem todos os riscos merecem o mesmo nível de atenção. É necessário, portanto, ser capaz de priorizar e criar uma lista curta de riscos para uma análise mais aprofundada, a fim de identificar as piores ameaças e as melhores oportunidades. Para isto, é necessário fazer uma análise “subjetiva” dos riscos identificados no registro de riscos e devemos ter em mente que este processo deve ser repetido quando novos riscos são descobertos durante o ciclo de vida do projeto. Este é o propósito da avaliação qualitativa dos riscos.

Lembre-se que o risco tem pelo menos duas dimensões importantes: a incerteza, e seu potencial efeito sobre os objetivos. O termo probabilidade, é geralmente utilizado para descrever a dimensão da incerteza. Impacto é mais

frequentemente usado para descrever os efeitos transcendentais nos objetivos. Portanto, para a avaliação qualitativa, estas duas dimensões são avaliadas usando rótulos como, por exemplo, “alto, médio, abaixo”. A probabilidade de cada ocorrência de risco é avaliada, bem como o seu impacto potencial, se vier a ocorrer. Impacto é avaliado contra cada objetivo do projeto, geralmente incluindo o tempo e custo, e, possivelmente, outros, tais como desempenho, qualidade, conformidade regulamentar e assim por diante. Esta avaliação é muitas vezes feita pela equipe do projeto em um ambiente de oficina, embora seja possível para o proprietário de risco relevante para avaliar os seus próprios riscos.

O PMBOK recomenda utilizar uma ferramenta chamada Matriz de Probabilidade/Impacto. Esta ferramenta é útil para a avaliação bidimensional, podendo traçar cada risco dentro da matriz onde encontra-se zonas de baixa, média e alta prioridade. Estas zonas são muitas vezes coloridas seguindo uma convenção de semáforos, por exemplo, o cor vermelho usado para riscos de alta prioridade e de ser tratado com urgência, amarelo para a designação de riscos de média prioridade a ser monitorado e a zona verde contendo os riscos de baixa prioridade. E cada vez é mais comum o uso de um formato de matriz espelho onde se amostros as ameaças e oportunidades separados criando uma zona de foco central, como mostrado na figura 2.3.

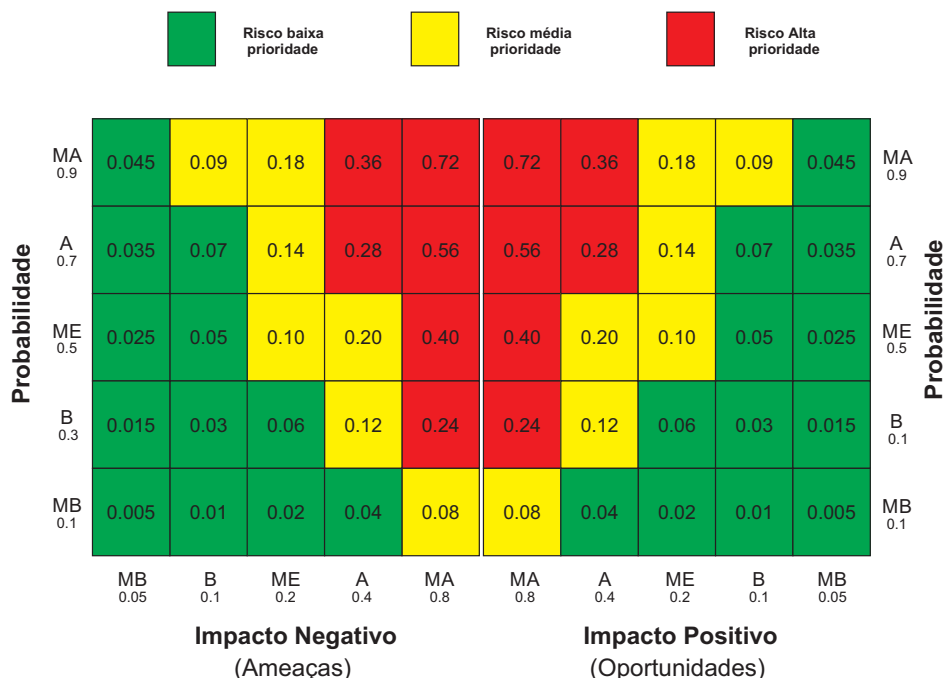


Figura 2.3: Matriz de Probabilidade e Impacto.

A zona central contém as piores ameaças (com alta probabilidade para que eles possam vir a acontecer e de alto impacto de modo que seria muito ruim para o projeto) e as melhores oportunidades (onde a alta probabilidade significa fácil de capturar e de alto impacto significando muito bom para o projeto).

Alguns projetos maiores e complexos podem melhorar a matriz de Probabilidade/Impacto, usando um esquema de maior resolução para a pontuação da probabilidade e impacto semelhante ao exemplo mostrado na figura 2.3. Estes, permitem priorizar riscos em mais detalhes do que a abordagem simples de semáforos de três zonas.

Deve-se sempre fazer a análise qualitativa dos riscos somente se vale a pena, em termos de tempo e dinheiro, em seu projeto, mas não sempre é necessária para todos os projetos e pode ser ignorada para se passar diretamente para o planejamento de respostas a riscos.

Finalmente, com este processo as atualizações dos registros de riscos e às premissas incluíram novas informações ou esclarecimentos sobre as premissas documentadas feitas sobre o projeto. Além determinar se o projeto deve ser continuado ou cancelado.

2.5

Avaliação Quantitativa dos Riscos

Na maioria dos projetos, os riscos não acontecem uma cada vez. Em vez disso, eles interage em grupos, com alguns riscos fazendo com que outros a ser mais provável e alguns riscos fazer os outros impossível. Na avaliação qualitativa de riscos, se considerava os riscos individualmente, permitindo o desenvolvimento de uma boa compreensão de cada um.

No entanto, algumas vezes, é necessário analisar o efeito combinado dos riscos sobre os resultados do projeto, particularmente em termos de como eles podem afetar o tempo total e o custo. Na verdade, esta é muitas vezes a única forma de obter uma avaliação global e precisa de riscos no projeto, sendo isto, o propósito da análise quantitativa de riscos exigindo modelos quantitativos.

Existem muitas técnicas quantitativas de análise de riscos que estão disponíveis na literatura, por exemplo, árvores de decisão são particularmente útil para analisa as decisões estratégicas chaves e a simulação Monte Carlo sendo o mais popular porque utiliza teorias da estatísticas simples conjuntamente com os dados do projeto existente. Também existem boas ferramentas de software para apoiá-lo.

Um aspecto importante que muitas vezes acontece na avaliação quantitativa de riscos, é não incluir conjuntamente os riscos que representem as

ameaças e oportunidades. Se apenas as ameaças são considerados, então a análise é apenas um modelo potencial de desvantagem para projeto e o resultado será sempre pessimista. Sabe-se que processo de avaliação visa combater as ameaças e aproveitar as oportunidades, ambos devem ser incluídos em qualquer análise da influência do risco no projeto.

Muitos gestores confundem as avaliações qualitativas e quantitativas dos riscos. Lembre-se de que a análise qualitativa dos riscos é uma avaliação subjetiva, embora sejam usando números para sua classificação. Por outro lado, a análise quantitativa dos riscos é uma avaliação mais objetiva ou numérica. A classificação de cada risco se baseia em uma tentativa de medir a probabilidade e o valor em jogo (impacto) real. Portanto, embora a classificação de um risco em uma análise qualitativa dos riscos possa ser 5, ela pode ser declarada como um impacto de custo 40.000 reais na análise quantitativa dos riscos [16].

Finalmente com este processo, podemos obter ideia da quantidade inicial de reserva de tempos e custos para contingências necessárias, obter possíveis datas de término e custos realistas e alcançáveis, com níveis de confiança versus os objetivos de tempo e custos do projeto, probabilidades quantificadas de cumprir os objetivos do projeto, entre outros.

2.6

Resposta a Riscos

Tendo riscos identificadas e analisadas, é essencial que algo deverá ser feito em resposta. Como resultado, muitos acreditam que a fase de planejamento de respostas a riscos é o mais importante no processo de risco, uma vez que este é o lugar onde a equipe do projeto tem a chance de fazer a diferença para a exposição ao risco de frente para o projeto. Normalmente, é da responsabilidade de cada proprietário de risco para decidir que tipo de resposta é a mais adequada, embora muitas vezes eles vão procurar ajuda e conselhos sobre isso.

Neste processo vamos encontrar formas de reduzir ou eliminar ameaças, bem como tornar oportunidades mais prováveis ou de aumentar seu impacto. Ao desenvolver respostas aos riscos, é importante adotar uma abordagem estratégica, a fim de concentrar a atenção sobre o que está sendo tentada. Muitas vezes as equipes de projeto recorrer a uma abordagem ampla de respostas diferentes para um risco dado, sendo alguns dos quais ser contraproducentes. É melhor primeiro selecionar uma estratégia adequada para um determinado risco, em seguida, projetar ações para implementar essa estratégia, produzindo uma forma eficaz de gerir o risco.

Lembre-se nossa definição de riscos onde inclui as ameaças e oportuni-

dades, então precisamos ter estratégias para lidar com ambos tipos de risco. Existem sete possíveis estratégias de resposta a riscos que recomenda o PMBOK que estão disponíveis, com três pares de opções pró-ativas (cada par contendo uma estratégia de ameaças e um correspondente de oportunidades), e uma estratégia de último recurso final que pode ser aplicado a ameaças e oportunidades, como segue:

- **Evitar/Explorar:** Para ameaças o objetivo de evitar é o de eliminar o risco para o projeto, tornando a ameaça impossível ou irrelevante. Uma forma de fazer isto, talvez seja, removendo pacotes de trabalho, afastar pessoas ou até mesmo envolver a expansão do escopo do projeto. Para explorar uma oportunidade significa torná-lo definitivamente acontecer, garantindo que o projeto ganhe os benefícios adicionais. Muitas vezes isto se consegue com adição de mais trabalhos ou mudanças no projeto para assegurar que a oportunidade aconteça.
- **Transferir/Compartilhar:** Essas estratégias exigem tornar outra parte responsável pelo risco. Para ameaças a dor é transferida, juntamente com a responsabilidade de gerir a desvantagem potencial. Isto pode-se realizar contratando seguros, bônus de desempenho, garantias ou terceirizando o trabalho. De forma semelhante o ganho potencial de um risco ascendente pode ser compartilhado, alocando a propriedade total ou parcial da oportunidade a um terceiro (criando uma parceria, uma equipe ou um empreendimento conjunto) que seja mais capacitado para concretizar a oportunidade.
- **Mitigar/Melhorar:** Redução de uma ameaça visa reduzir a probabilidade e/ou impacto, tornando-a um risco menor e possivelmente removendo-a do alto da lista dos principais riscos do projeto. As opções para reduzir a probabilidade são analisadas separadamente das opções para reduzir o impacto. Simultaneamente podemos melhorar uma oportunidade aumentando as probabilidades e/ou impactos positivos do evento de riscos.
- **Aceitar:** A aceitação ativa pode envolver a criação de planos para contingências para serem implementados se o risco ocorrer e a alocação de reservas de tempo e custos ao projeto. A aceitação passiva deixa que as ações sejam determinadas conforme necessário (soluções de contorno), se o risco ocorrer deve ser aceitado como último recurso sem ação especial. Sempre uma decisão de aceitar o risco deve ser comunicada às partes interessadas.

Ao escolher uma estratégia de resposta para um risco individual, os fatores utilizados para priorizar os riscos devem ser considerados mais uma vez, de modo que o nível de resposta corresponda à importância do risco. Infelizmente seleção resposta geralmente não é tão simples, e há muitos factores a ter em conta. Estes outros fatores de priorização de riscos significativos (como discutido acima), incluindo maneabilidade, afinidade, proximidade e urgência. Além destes, há também outras considerações importantes que se referem especificamente à seleção de resposta, tais como por exemplo: disponibilidade de recursos para lidar com os riscos (mobilização de recursos); custo provável de enfrentar o risco em relação ao seu possível impacto (custo-eficácia); grau para o qual a probabilidade e/ou de impacto, podem ser modificadas (risco-eficácia); se a resposta vai introduzir riscos adicionais (riscos secundários).

É claro que a seleção da resposta apropriada para cada risco não é uma tarefa trivial, e isso requer uma reflexão cuidadosa. As várias opções devem ser analisadas, a fim de escolher o mais provável para atingir o resultado desejado de uma forma que é adequado, acessível e realizável. Tendo escolhido estratégias de resposta separadas para cada risco individual, bem como a identificação de estratégias para lidar com o nível geral de exposição ao risco do projeto, o proprietário do risco (talvez com a ajuda da equipe de projeto) deve, então, desenvolver ações específicas para colocar estas estratégias em prática, cada um com um dono de acção acordado. A estratégia de resposta selecionada e ações associadas estão documentadas no Registro de Riscos.

2.7

Controle de Risco

Conforme o projeto esteja-se executando a preocupação com os riscos não diminui, muito pelo contrario eles aumentam, pois os riscos encontrados no inicio do planejamento devem ser monitorados e controlados até a conclusão do projeto. E isto, consegue-se implementando planos de respostas ao risco, acompanhando os riscos identificados, monitorando os riscos residuais, identificando novos riscos. Este processo continuo são considerados bons, quando podemos obter informações relativas às tomadas de decisão para conter o avanço dos riscos acontecerem. Como principal beneficio deste processo é a melhoria do grau de eficiência a fim de otimizar continuamente as respostas aos riscos.

O processo de Controlar os riscos pode envolver uma escolha de estratégias alternativas, a execução de um plano de contingencia alternativo, a adoção de ações corretivas e a modificação do plano de gerenciamento do projeto. Também é preciso que haja uma boa comunicação entre todas as partes interessadas, pois os responsáveis pelas respostas ao risco devem manter bem

informado ao gerente de projetos periodicamente informando sobre a eficácia do plano, os efeitos imprevistos e qualquer correção necessária para tratar o risco adequadamente.

Segundo o PMBOK recomenda utilizar algumas ferramentas para facilitar o controle de riscos, por exemplo, reavaliar os riscos por causa que sempre aparecem novos riscos, realizar auditoria dos riscos para verificar quanto eficaz são as respostas, aplicar técnicas de medição de desempenho, análise do trabalho realizado, reuniões, etc. Finalmente, podemos obter planos de contorno os quais são respostas no planejadas para riscos emergentes que não foram identificados ou aceitos anteriormente, ações corretivas, atualizações e informações de desempenho do trabalho..

Tabela 2.3: Definição de Incerteza e Risco

Passo In-formal do Processo	Passo Formal do Processo	APM Body of Knowledge (Association for Project Management, 2012)	PMBok Guide 5 th Project Management Chapter 11 Project Risk	AS/NZS 4360:2004 Risk Management	OGC Management of Risk (M_o_R)	IRM Risk Management Standard	BS 31100:2008 Risk Management - Code of Practice
Primeiros Passos	Processo de Iniciação de Riscos	Iniciar	Plano de Gerenciamento de Riscos	Identificar o Contexto	Identificar o Contexto	Objetivos estratégicos da Organização	Contexto de Risco
Encontrando Riscos	Identificação de Riscos	Identificar	Identificar os Riscos	Identificação de Riscos.	Identificar os Riscos.	Identificação de Riscos. Descrição de Riscos.	Identificação de Riscos.
Definir Prioridades	Avaliação Qualitativa de Riscos. Análise Quantitativa de Riscos.	Avaliar	Realizar a análise qualitativa de Riscos. Realizar a análise quantitativa de Riscos.	Análise de Risco. Avaliação de Risco	Avaliar	Estimação de Riscos. Avaliação de Riscos.	Avaliação de Riscos.
Decidir que Fazer	Planejamento da resposta ao Riscos.	Plano de Respostas	Plano de Resposta ao Risco	Tratamento dos Riscos.	Plano	Tratamento dos Riscos	Resposta ao Risco
Tomando ações	Implementação de Respostas ao Risco	Implementar Respostas			Implementar		
Dizendo aos Outros	Comunicação de Riscos	-	Monitorar e Controlar Riscos	Comunicação e Consulta	Comunicar	Reportando Riscos.	Reportando Riscos.
Manter-se Atualizado	Revisão de Riscos	Gestão de Processos		Monitoramento e Revisão	Inserir e Revisão	Monitoramento e Revisão	Revisão de Riscos
Capturando Lições	Revisão pós-projeto	-	-	-	-		

3

Abordagem Fuzzy

Nesta seção abordaremos brevemente os conceitos fundamentais sobre teoria de conjuntos e a Logica Fuzzy. O grande motivo do surgimento da Teoria da Logica Fuzzy foi devido à existência de grandes problemas cujas propriedades que definem cada conjunto é incerto, e por tal, apresentou um crescimento considerável, tanto do ponto de vista teórico como nas aplicações em diversas áreas de estudo, sobretudo na tecnologia onde se aplica aos sistemas de automação, processos industriais, apoio à tomada de decisão, etc. Portanto, esta abordagem permitira trabalhar com informações não exatas para poder definir avaliações convencionais ao contrario com a lógica tradicional que permite trabalhar com informações definidas e exatas.

3.1

Logica Fuzzy

A teoria de lógica fuzzy iniciou-se em 1965 por Lotfi A. Zadeh [17]., professor da Universidade de Califórnia no Berkeley, com a principal intenção de tratar matematicamente certos termos linguísticos subjetivos, como “aproximadamente”, em “torno de”, “dentre outros”, etc. Portanto, esta teoria seria o primeiro passo para tentar trabalhar com conceitos vagos em computadores, tornando possível a produção de cálculos com informações imprecisas, a exemplo do que faz o humano. A palavra “fuzzy” de origem inglesa, tem vários significados como de impreciso, nebuloso, subjetivo incerto, etc., Porém, nenhuma dessas traduções é tão fiel ao sentido amplo dado pela palavra fuzzy.

Para entender como essas informações imprecisas se apresenta nosso dia a dia, seja um conjuntos de pessoas altas cujas fronteiras podem ser consideradas incertas. Isto é definidas por propriedades subjetivas. Para formalizá-lo matematicamente, tal conjunto poderia ter pelo menos duas abordagens. A primeira, mais clássica, distinguindo a partir de que valor (altura) uma pessoa é considerada alta. Assim, neste caso o conjunto estaria bem definido. A segunda, menos convencional, é dada de maneira que todos as pessoas são consideradas altas com mais ou menos uma intensidade, ou seja, com elementos que

pertenceriam mais à classe das pessoas altas que outros. Então, isto significa que quanto menor for a altura da pessoa, menor será seu grau de pertinência à esta classe, podendo dizer que todas as pessoas pertencem à classe das pessoas altas, com mais ou menos intensidade.

Pois bem, é esta segunda abordagem que pretendemos mostrar neste trabalho para descrever o que nos oferece a teoria da lógica fuzzy.

3.2 Conjuntos Fuzzy

Muitas vezes no mundo real os problemas não conseguem ser representados pela lógica clássica. Estes conjuntos convencionais têm apenas os critérios de pertinência “pertence” ou “não pertence”, e “está contido” ou “não está contido”, ou seja, um elemento não pode pertencer parcialmente a um conjunto da mesma forma que um conjunto não pode estar parcialmente contido em outro.

Por exemplo, observe uma população de estudantes num instante t_0 , sujeita a uma taxa de mortalidade, e queremos saber como será composta esta população no futuro. Considera-se que cada indivíduo desta população é simplesmente estudante ou não-estudante o problema pode ser resolvido como um modelo determinístico, tomando separadamente ambos indivíduos. No entanto, se temos inicialmente uma distribuição de probabilidades dos indivíduos estudantes da população, poderíamos usar um modelo estocástico para estudar a evolução desta distribuição inicial.

Agora, se uma característica de ser estudante depende da quantidade de livros lidos mensalmente, intermitência do ato de ler, qualidade dos livros lidos, etc., então podemos caracterizar também o grau de ser estudante. Neste caso, cada indivíduo pertence à população de estudantes com um grau específico de pertinência. Por exemplo, se não ler nenhum livro seu grau de pertinência seria zero ou se ler 3 livros mensalmente podemos dizer que é um estudante de grau 1. E se um dos indivíduo estuda 5 livros por mês o quanto ele será de estudante? Esta subjetividade, de ser estudante, pode ser expressa por uma função $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ que indica o grau com que o elemento x de um conjunto X esta em “concordância” com o conceito que caracteriza os elementos de um subconjunto $\mathcal{A} \subset X$.

Um subconjunto \mathcal{A} de um conjunto universo X é caracterizado por uma função $\mu_{\mathcal{A}} : X \rightarrow [0, 1]$, onde $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ atribui o grau com que o elemento pertence ao subconjunto \mathcal{A} .

Observe outro exemplo, nós somos capazes em dizer que o dobro se uma quantidade em torno de 2 resulta em outra em torno de 4. Então se

queremos formalizar o exemplo matematicamente como um conjunto fuzzy, Zadeh [17] baseou-se no fato de que qualquer conjunto “clássico” (crisp) pode ser caracterizado por sua função característica.

Definição 3.2.1 *Seja A um subconjunto de X cuja função característica de A é dada por.*

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (3-1)$$

Onde $\mu_A(x)$ é a função característica cujo domínio é X e sua imagem está contida no conjunto $\{0,1\}$. Isto significa que se $\mu_A(x) = 1$ o elemento x está em A , enquanto $\mu_A(x) = 0$, indica que x não é elemento de A . Assim a função característica descreve completamente o conjunto A , já que indica quais elementos do conjunto universo X são elementos também de A .

Então permitindo uma especie de relaxamento no conjunto imagem da função característica de um conjunto clássico, foi que Zadeh formalizou matematicamente um conjunto fuzzy da seguinte forma,

Definição 3.2.2 *Um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \subset X$, é definido como o conjunto de pares ordenados de um elemento genérico x e seu grau de pertinência $\mu_{\mathcal{A}} : X \rightarrow [0, 1]$,*

$$\mathcal{A} = \{(x, \mu_{\mathcal{A}}(x)) | x \in X\} \quad (3-2)$$

Desta definição, um conjunto Fuzzy é caracterizado por sua função de pertinência, e o grau de pertinência pode ser considerado como uma medida que expressa a possibilidade de que um dado elemento x de X seja membro do conjunto fuzzy \mathcal{A} . Portanto, com $\mu_{\mathcal{A}}(x) = 1$ e $\mu_{\mathcal{A}}(x) = 0$ indicamos a pertinência e a não pertinência completa de x ao conjunto Fuzzy \mathcal{A} respectivamente.

Considere-se o seguinte exemplo: Seja conjuntos crisp definindo no conjunto continuo universo X temperatura (graus celsius). Então definimos o conjunto $A(x) = \{x \in X \mid x \leq 0\}$ de temperaturas baixas cuja função característica $\mu_A(x)$ é

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \leq 0 \\ 0, & \text{se } x > 0 \end{cases} \quad \forall x \in X \quad (3-3)$$

Y agora definimos o conjunto Fuzzy $\mathcal{A}(x) = “x \text{ é temperaturas baixas}”$ cuja possível função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ é dado

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) = \frac{1}{1 + \exp(x - 10)}, x \in X \quad (3-4)$$

Então estas duas funções estão plotados na figura 3.1

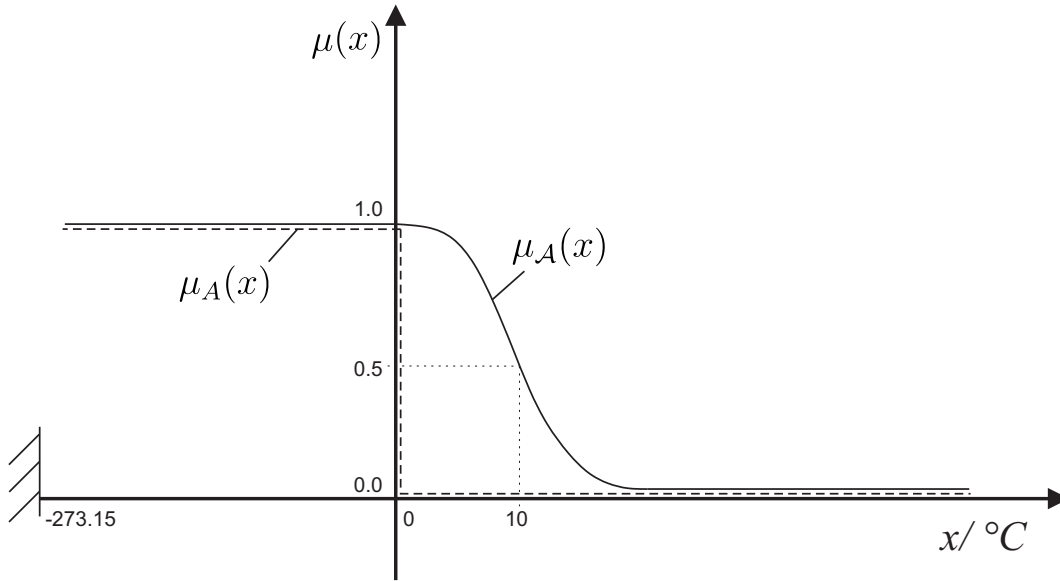


Figura 3.1: Função Característica $\mu_A(x)$ (linhas tracejadas) e Função de Pertinência $\mu_A(x)$ (linhas contínuas)

Observa-se que a definição de um conjunto Fuzzy foi obtida simplesmente ampliando-se o contra-domínio da função característica de um conjunto clássico $\{0,1\}$ para o intervalo $[0,1]$. Neste sentido podemos afirmar que um conjunto clássico é um caso particular de um conjunto Fuzzy.

Para representar um conjunto Fuzzy devemos ter em conta duas abordagens (universos discretos ou contínuos). No caso que o conjunto seja definido no universo discreto e finito, podemos simplesmente representar por um vetor contendo os seus elementos juntamente com seus graus de pertinência,

$$\mathcal{A} = \sum_i \mu_{\mathcal{A}}(x_i)/x_i \quad (3-5)$$

Onde o somatório representa a operação union (disjunção) e a notação $\mu_{\mathcal{A}}(x_i)/x_i$ refere-se ao elemento x_i que pertence ao conjunto Fuzzy \mathcal{A} com grau $\mu_{\mathcal{A}}(x_i)$.

No caso que os conjuntos Fuzzy seja definido no universo contínuo a sua representação é a própria função de pertinência.

$$\mathcal{A} = \int \mu_{\mathcal{A}}(x_i)/x_i \quad (3-6)$$

Onde o símbolo de integral deve ser interpretado da mesma forma que o da soma no caso de um universo discreto. Essas funções de pertinência tem formas arbitrárias que mais na frente explicaremos detalhadamente.

3.2.1 Operações entre Conjuntos Fuzzy

Assim como os conjuntos clássicos (crisp) apresentam operações básicas de union, interseção e complemento, as operações em conjuntos Fuzzy são de forma similar.

Sejam \mathcal{A} e \mathcal{B} dois conjuntos Fuzzy de X , com funções de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ e $\mu_{\mathcal{B}}(x)$ respectivamente. Dizemos que se \mathcal{A} é um subconjunto Fuzzy de \mathcal{B} , e escreve-se

$$\mathcal{A} \subseteq \mathcal{B}, \quad \text{se } \mathcal{A} \leq \mathcal{B} \quad \forall x \in X \quad (3-7)$$

Note-se que o conjunto vazio (\emptyset) tem função de pertinência $\mu_{\emptyset}(x) = 0$ enquanto o conjunto universo X tem função de pertinência $\mu_X(x) = 1 \quad \forall x \in X$. Então podemos dizer que $\emptyset \subseteq \mathcal{A}$ e que $\mathcal{A} \subseteq X \quad \forall \mathcal{A}$.

Definição 3.2.3 A Inclusão de um conjunto fuzzy \mathcal{A} em outro conjunto fuzzy \mathcal{B} pode ser definido em termos de sua função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$ e $\mu_{\mathcal{B}}$ como:

$$\mathcal{A} \subseteq \mathcal{B} \Leftrightarrow \mu_{\mathcal{A}} \leq \mu_{\mathcal{B}} \quad \forall x \in X \quad (3-8)$$

Definição 3.2.4 A Igualdade de dois conjunto fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} pode ser definido em termos de suas funções de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$ e $\mu_{\mathcal{B}}$ como:

$$\mathcal{A} = \mathcal{B} \Leftrightarrow \mu_{\mathcal{A}} \models \mu_{\mathcal{B}} \quad \forall x \in X \quad (3-9)$$

Definição 3.2.5 Dado um conjunto fuzzy $\mathcal{A} \subseteq X$ com função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$, a função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}^c}$ do complemento \mathcal{A}^c pode ser definido como:

$$\mu_{\mathcal{A}^c} = 1 - \mu_{\mathcal{A}} \quad \forall x \in X \quad (3-10)$$

Na figura 3.2 mostramos o complemento do Conjunto Fuzzy \mathcal{A} .

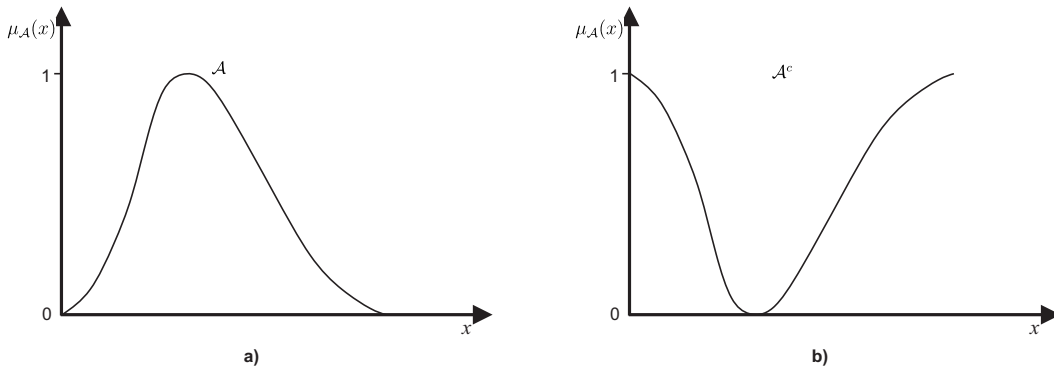


Figura 3.2: (a) Função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$ do conjunto fuzzy \mathcal{A} ; (b) Função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}^c}$ do complemento fuzzy \mathcal{A}^c .

Definição 3.2.6 Dado dois conjunto fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} , $\mathcal{A}, \mathcal{B} \subseteq X$, com funções de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$ e $\mu_{\mathcal{B}}$, a função de pertinência $\mu_{\mathcal{A} \cap \mathcal{B}}$ da interseção $\mathcal{A} \cap \mathcal{B}$ pode

ser definido como:

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A, \mu_B] \quad \forall x \in X \quad (3-11)$$

Na figura 3.3 mostramos a Interseção de dois Conjuntos Fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} .

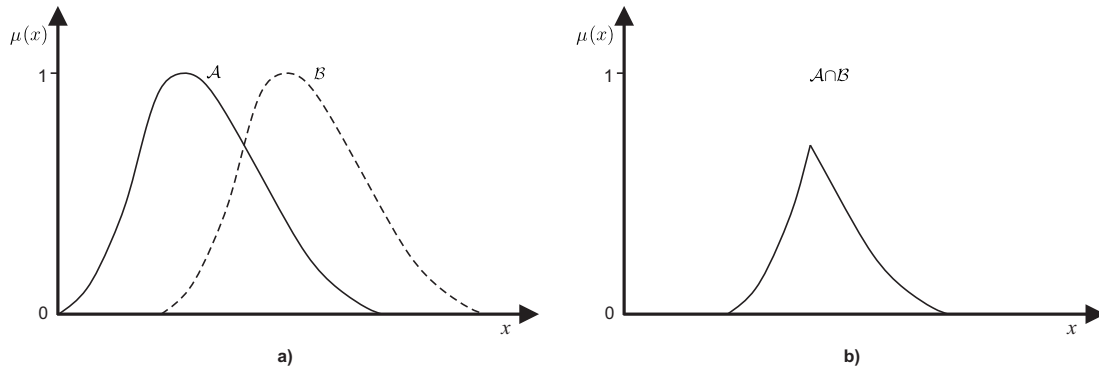


Figura 3.3: (a) Funções pertinência μ_A e μ_B dos conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} ; (b) Função de pertinência $\mu_{A \cap B}$ da interseção fuzzy $\mathcal{A} \cdot \mathcal{B}$.

Definição 3.2.7 Dado dois conjunto fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} , $\mathcal{A}, \mathcal{B} \subseteq X$ com funções de pertinência μ_A e μ_B , a função de pertinência $\mu_{A \cup B}$ da união $\mathcal{A} \cup \mathcal{B}$ pode ser definido como:

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A, \mu_B] \quad \forall x \in X \quad (3-12)$$

Na figura 3.4 mostramos a União de dois Conjuntos Fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} .

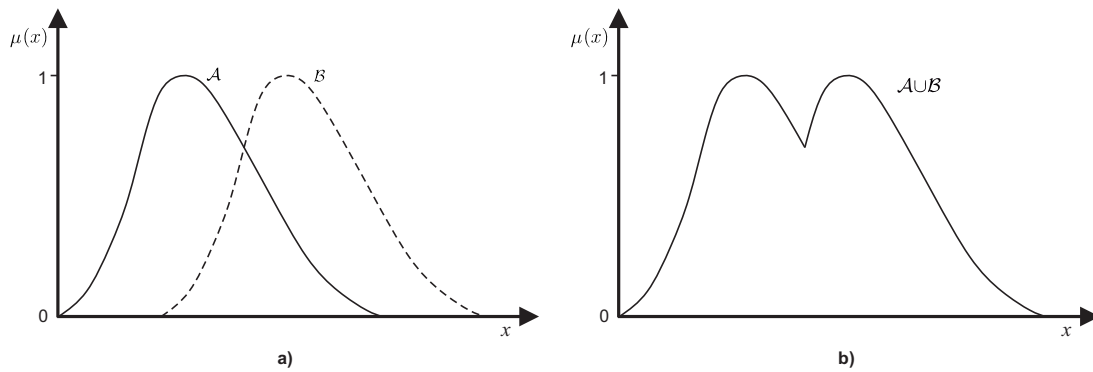


Figura 3.4: (a) Funções pertinência μ_A e μ_B dos conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} ; (b) Função de pertinência $\mu_{A \cup B}$ da união fuzzy $\mathcal{A} \cup \mathcal{B}$.

3.3 Relações Fuzzy

Para compreender alguns fenômenos do mundo real é necessário realizar alguns estudos de associação, relação ou interação entre os elementos de diversas classes. O conceito de relação matematicamente foi formalizado a partir da teoria de conjuntos clássicos (crisp). Portanto, pode-se dizer que a relação será fuzzy quando nos alinharmos pela teoria dos conjunto fuzzy e será crisp quando nos alinharmos pela teoria clássica de conjuntos. A adoção por qual dos modelos depende muito do fenômeno a estudar. Porém, optar pela teoria fuzzy terá maior robustez devido que esta inclui a teoria clássica de conjuntos.

Com base na definição e formulação até agora, Relações Fuzzy representa um grau de presença ou ausencia de associação, interação ou interconectividade entre elementos de dois ou mais conjuntos fuzzy da seguinte forma:

Definição 3.3.1 *Seja:*

$$\mathcal{R} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n, \quad (3-13)$$

o qual são definidos como subconjuntos fuzzy do conjunto produto cartesiano universal $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$. Estes subconjuntos são chamados *n*-upla relação fuzzy \mathcal{R} , para correlacionar os elementos x_i do conjunto universal X_i , $i = 1, 2, \dots, n$, utilizando a condição relacional $\tilde{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ para seus elementos (x_1, x_2, \dots, x_n) . Portanto, \mathcal{R} pode ser expressado por um conjunto de pares consistindo de elementos (x_1, x_2, \dots, x_n) do conjunto produto cartesiano universal $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ e um certo grau de pertinência pre-assumida $\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$$\mathcal{R} = \{((x_1, x_2, \dots, x_n), \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)) \mid (x_1, x_2, \dots, x_n) \in x_1, x_2, \dots, x_n, \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \in [0, 1]\} \quad (3-14)$$

Se o produto cartesiano for formado por apenas dois conjuntos $X_1 \times X_2$ a relação é chamada de fuzzy binária.

Definição 3.3.2 *O produto cartesiano fuzzy dos subconjuntos fuzzy $\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \dots, \mathcal{A}_n$ em X_1, X_2, \dots, X_n respectivamente, é a relação fuzzy*

$$\mathcal{R}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mathcal{A}_1(x_1) \bigwedge \mathcal{A}_2(x_2) \bigwedge, \dots, \bigwedge \mathcal{A}_n(x_n) \quad (3-15)$$

onde \bigwedge representa o mínimo

Definição 3.3.3 *A relação fuzzy binária inversa da relação fuzzy binária $\mathcal{R} : X_1 \times X_2 \rightarrow [0, 1]$ é a relação $\mathcal{R}^{-1} : X_1 \times X_2 \rightarrow [0, 1]$ tal que*

$$\mathcal{R}^{-1}(x_2, x_1) = \mathcal{R}(x_1, x_2) \quad (3-16)$$

Como as relações são também conjuntos fuzzy, as operações com essas relações podem ser definidas utilizando os operadores de Inclusão, Igualdade, União, Interseção e Complemento.

Definição 3.3.4 *A Inclusão de dois n-uplas relações fuzzy \mathcal{R} e \mathcal{S} generalizada, tal que $\mathcal{R}, \mathcal{S} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$:*

$$\begin{aligned} \mathcal{R} \subseteq \mathcal{S} \Leftrightarrow & \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & \forall (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \end{aligned} \quad (3-17)$$

Definição 3.3.5 *A Igualdade de dois n-uplas relações fuzzy \mathcal{R} e \mathcal{S} generalizada, tal que $\mathcal{R}, \mathcal{S} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$:*

$$\begin{aligned} \mathcal{R} = \mathcal{S} \Leftrightarrow & \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & \forall (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \end{aligned} \quad (3-18)$$

Definição 3.3.6 *A União $\mathcal{R} \cup \mathcal{S}$ de dois n-uplas relações fuzzy standard \mathcal{R} e \mathcal{S} , tal que $\mathcal{R}, \mathcal{S} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$:*

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{R} \cup \mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \max[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n), \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n)] \\ & \forall (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \end{aligned} \quad (3-19)$$

Definição 3.3.7 *A Interseção $\mathcal{R} \cap \mathcal{S}$ de dois n-uplas relações fuzzy standard \mathcal{R} e \mathcal{S} , tal que $\mathcal{R}, \mathcal{S} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$:*

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{R} \cap \mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \min[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n), \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n)] \\ & \forall (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \end{aligned} \quad (3-20)$$

Definição 3.3.8 *O Complemento \mathcal{R}^c de uma n-uplas relação fuzzy standard \mathcal{R} , tal que $\mathcal{R} \subseteq X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$:*

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{R}^c}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 1 - \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & \forall (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \end{aligned} \quad (3-21)$$

No entanto, as operações união, interseção e complemento standard apresentadas acima não seja a única possível generalização do sua contraparte crisp. Na verdade existem uma ampla classe de funções cujos membros se qualificam como possíveis generalizações fuzzy. Posteriormente, com o objetivo de genera-

lização foram definidos operadores de base axiomática, baseados nos conceitos de norma triangular (norma- t) e co-norma triangular (co-norma- t ou norma- s).

Definição 3.3.9 *A norma- t é uma operação binária $*$: $[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ tal que, $\forall x, y, z$ e $w \in [0, 1]$ as seguintes propriedades são satisfeitas*

- *Comutativa: $x * y = y * x$*
- *Associatividade: $(x * y) * z = x * (y * z)$*
- *Monotonicidade: se $x \leq y, w \leq z$, então $x * w \leq y * z$*
- *Condição de contorno: $x * 0 = 0$ e $x * 1 = x$*

As seguintes, são exemplo de algumas norma- t que são usada frequentemente na pratica:

- Interseção Standard:

$$x * y = \min(x, y)$$

- Produto Algebraico:

$$x * y = xy$$

- Diferença Limitada:

$$x * y = \max(0, x + y - 1)$$

- Interseção Drástica:

$$x * y = \begin{cases} x, & \text{quando } y = 1 \\ y, & \text{quando } x = 1 \\ 0, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (3-22)$$

Duplamente, co-norma- t são operações binárias que generalizam a união em uma estrutura e disjunção na lógica.

Definição 3.3.10 *A co-norma- t é uma operação binária \oplus : $[0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ tal que, $\forall x, y, z$ e $w \in [0, 1]$ as seguintes propriedades são satisfeitas*

- *Comutativa: $x \oplus y = y \oplus x$*
- *Associatividade: $(x \oplus y) \oplus z = x \oplus (y \oplus z)$*
- *Monotonicidade: se $x \leq y, w \leq z$, então $x \oplus w \leq y \oplus z$*

- *Condição de contorno:* $x \oplus 0 = 0$ e $x \oplus 1 = x$

As seguintes, são exemplo de algumas co-norma- t que são usada frequentemente na pratica:

- União Standard:

$$x \oplus y = \max(x, y)$$

- Suma Algebraico:

$$x \oplus y = x + y - xy$$

- Suma Limitada:

$$x \oplus y = \min(1, x + y)$$

- União Drástica:

$$x \oplus y = \begin{cases} x, & \text{quando } y = 0 \\ y, & \text{quando } x = 0 \\ 1, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (3-23)$$

As referencias bibliográficas sobre a abordagem fuzzy registram inúmeras normas- t e co-normas- t , mas, em aplicações como em este trabalho será utilizados os operadores min e produto algebraico para interseção e o operador max para a união.

$$\mu_{\mathcal{R} \cap \mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) * \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3-24)$$

$$\mu_{\mathcal{R} \cup \mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus \mu_{\mathcal{S}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3-25)$$

3.3.1

Conjunto Potência Fuzzy

Definição 3.3.11 *O conjunto Potência fuzzy $\mathcal{P}(A)$ de um conjunto clássico A é el conjunto de todas os possíveis subconjuntos \mathcal{A} de A , podendo ser escrito*

$$\mathcal{P}(A) = \{\mathcal{A} | \mathcal{A} \subseteq A\} \quad (3-26)$$

De acordo com esta formulação, o conjunto Potencia fuzzy pode ser para uma n-upla relação clássica R sobre $U_1 \times U_2 \dots \times U_n$, então $\mathcal{P}(R)$ é o conjunto de todas as possíveis relações fuzzy sendo subconjunto de R .

3.3.2

Altura de Conjuntos e Relações Fuzzy

Definição 3.3.12 A Altura $hgt(\mathcal{A})$ de um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(X)$ é o maior grau de pertinência permitido pela função de pertinência obtido por qualquer elemento do conjunto (ou o máximo, quando o conjunto universo X é finito)

$$hgt(\mathcal{A}) = \sup_{x \in X} \mu_{\mathcal{A}}(x) \quad (3-27)$$

Se $hgt(\mathcal{A}) = 1$, \mathcal{A} é chamado normal; de outra forma, é chamado subnormal. Similarmente, a altura $hgt(\mathcal{R})$ de uma n-upla relação fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n)$ é o supremo (ou o máximo, quando o conjunto universal de produtos $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ é finito) da função de pertinência $\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$:

$$hgt(\mathcal{R}) = \sup_{x_1 \in X_1} \sup_{x_2 \in X_2} \dots \sup_{x_n \in X_n} \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3-28)$$

3.3.3

Núcleo de Conjuntos e Relações Fuzzy

Definição 3.3.13 O núcleo $core(\mathcal{A})$ de um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(X)$ é o conjunto clássico de todos os elementos $x \in X$ que têm um grau de pertinência igual à unidade.

$$core(\mathcal{A}) = \{x \in X | \mu_{\mathcal{A}}(x) = 1\} \quad (3-29)$$

Similarmente, o núcleo $core(\mathcal{R})$ de uma n-upla relação fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n)$ é a relação clássica de todos os elementos $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ que têm um grau de pertinência igual à unidade.

$$core(\mathcal{R}) = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n | \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1\} \quad (3-30)$$

3.3.4

Suporte de Conjuntos e Relações Fuzzy

Definição 3.3.14 O Suporte $supp(\mathcal{A})$ de um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(X)$ é um conjunto clássico de todos elementos $x \in X$ que têm grau de pertinência não zero

$$supp(\mathcal{A}) = \{x \in X | \mu_{\mathcal{A}}(x) > 0\} \quad (3-31)$$

Similarmente o suporte $supp(\mathcal{R})$ de uma n-upla relação fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n)$ é a relação clássica de todos os elementos $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ que têm graus de pertinência não zero.

$$supp(\mathcal{R}) = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n | \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) > 0\} \quad (3-32)$$

Em outras palavras, o suporte contém os elementos do conjunto universo ou conjunto universo de produtos que realmente contribui ao conjunto fuzzy ou relação fuzzy.

3.3.5

α – cut de Conjuntos e Relações Fuzzy

Definição 3.3.15 O α – cut $cut_\alpha(\mathcal{A}) = A_\alpha$ de um conjunto $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(X)$ é um conjunto clássico de todos elementos $x \in X$ que pertencem ao conjunto fuzzy \mathcal{A} , pelo menos para o grau $\alpha \in [0, 1]$

$$cut_\alpha(\mathcal{A}) = A_\alpha = \{x \in X | \mu_{\mathcal{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (3-33)$$

O conjunto $\mathcal{A}_{\alpha+}$ com

$$cut_{\alpha+}(\mathcal{A}) = A_{\alpha+} = \{x \in X | \mu_{\mathcal{A}}(x) > \alpha\} \quad (3-34)$$

é chamado α – cut forte do conjunto fuzzy \mathcal{A}

Similarmente, o α – cut $cut_\alpha(\mathcal{R}) = R_\alpha$ de uma n-upla relação fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n)$ é a relação clássica de todos os elementos $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ que pertence à relação fuzzy \mathcal{R} , pelo menos para o grau $\alpha \in [0, 1]$

$$\begin{aligned} cut_\alpha(\mathcal{R}) &= R_{\alpha+} & (3-35) \\ &= \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n | \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq \alpha\} \end{aligned}$$

A relação clássica $R_{\alpha+}$ com

$$\begin{aligned} cut_{\alpha+}(\mathcal{R}) &= R_{\alpha+} & (3-36) \\ &= \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n | \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) > \alpha\} \end{aligned}$$

é chamada de α – cut forte da relação fuzzy \mathcal{R}

Em particular, as seguintes relações se cumpre para uma relação fuzzy \mathcal{R} com $n > 1$.

$$cut_{0+}(\mathcal{R}) = supp(\mathcal{R}) \quad (3-37)$$

$$cut_1(\mathcal{R}) = cor(\mathcal{R}) \quad (3-38)$$

$$cut_1(\mathcal{R}) \neq \emptyset \Leftrightarrow hgt(\mathcal{R}) = 1 \quad (3-39)$$

$$\alpha_1 < \alpha_2 \Rightarrow cut_{\alpha_2}(\mathcal{R}) \subset cut_{\alpha_1}(\mathcal{R}) \quad (3-40)$$

Além disso, toda relação fuzzy \mathcal{R} pode excepcionalmente ser representada pela

sequência associada de seu α_{cuts} através da formula de teoria de conjuntos fuzzy

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_{\alpha}(\mathcal{R})}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_{\alpha+}(\mathcal{R})}(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (3-41)$$

Onde $\mu_{cut_{\alpha}(\mathcal{R})}$ e $\mu_{cut_{\alpha+}(\mathcal{R})}$ são as funções características do conjunto clássico $cut_{\alpha}(\mathcal{R})$ e $cut_{\alpha+}(\mathcal{R})$. Em particular, está formula aplica para o caso especial de conjunto fuzzy \mathcal{A} regular na forma

$$\mu_{\mathcal{A}} = \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_{\alpha}(\mathcal{A})}(x) = \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_{\alpha+}(\mathcal{A})}(x) \quad (3-42)$$

As equações são geralmente referidos como o teorema de descomposição das relações fuzzy e conjuntos fuzzy respectivamente, e estabelecem uma conexão importante entre as relações fuzzy e relações clássicas e também em conjuntos fuzzy e conjuntos clássicos respectivamente. Está conexão nos fornece um critério para generalizar propriedades clássicos de conjuntos crisp ou relações para sua contraparte fuzzy, como será mostrado nas propriedades de convexidade de conjuntos e relações fuzzy.

As propriedades fundamentais de conjuntos e relações fuzzy, tal como sua altura, núcleo, suporte, $\alpha - cut$, são ilustrados com um exemplo de conjunto fuzzy na figura 3.5:

3.3.6

Composição entre Relações Fuzzy Binárias

Relações Fuzzy em diferentes espaços de produto podem ser combinados uns com os outros pela operação de “composição”. Diferentes versões de composição tem sido sugerido, que diferem nos seus resultados e também no que diz respeito às suas propriedades matemáticas. A composição $\max - \min$ tornou-se o mais conhecido eo mais utilizado (standard). No entanto, muitas vezes outras operações de composições como $\max - produto$ ou $\max - media$ conduziram a resultados que são mais atraentes dependendo do tipo de problema e aplicação.

Seja duas relações fuzzy binárias $\mathcal{R} \subseteq X_1 \times X_2$ e $\mathcal{S} \subseteq X_2 \times X_3$ com funções de pertinência $\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2)$ e $\mu_{\mathcal{S}}(x_2, x_3)$ respectivamente, então:

Definição 3.3.16 *O Composição $\mathcal{R} \circ \mathcal{S}$, com função de pertinência $\mu_{\mathcal{R} \circ \mathcal{S}}(x_1, x_3)$ é uma relação fuzzy binária definido em geral como*

$$\mu_{\mathcal{R} \circ \mathcal{S}}(x_1, x_3) = \sup_{x_2 \in X_2} \min[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2), \mu_{\mathcal{S}}(x_2, x_3)] \forall (x_1, x_3) \in X_1 \times X_3 \quad (3-43)$$

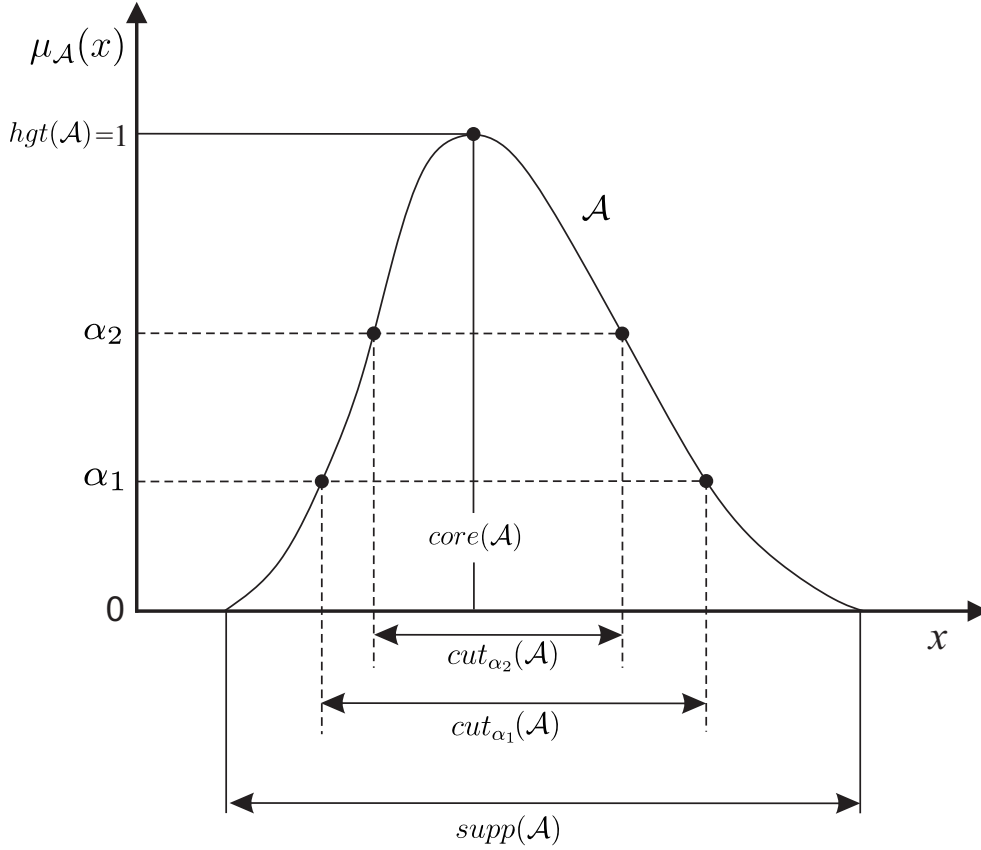


Figura 3.5: Conjunto Fuzzy \mathcal{A} com as propriedades de Altura, suporte, núcleo e α -cut.

O qual, para no caso de relações fuzzy \mathcal{R} e \mathcal{S} com suporte finito torna-se:

$$\mu_{\mathcal{R} \circ \mathcal{S}}(x_1, x_3) = \max_{x_2 \in X_2} \min[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2), \mu_{\mathcal{S}}(x_2, x_3)] \forall (x_1, x_3) \in X_1 \times X_3 \quad (3-44)$$

Isto quer dizer que quando os conjunto X_1, X_2, X_3 são finitos, então a forma matricial da relação $\mathcal{R} \circ \mathcal{S}$ dada pela composição max – min é obtida como uma multiplicação de matrizes, substituindo-se o produto pelo mínimo e a soma pelo máximo.

O caso especial da composição max – min é a regra de composição de inferência. Essa regra é muito útil, pois fornece a interpretação de \mathcal{R} como um funcional de $\mathcal{F}(X_1)$ em $\mathcal{F}(X_2)$.

Definição 3.3.17 *Sejam X_1 e X_2 dois conjuntos; $\mathcal{F}(X_1)$ e $\mathcal{F}(X_2)$ as classes dos subconjuntos fuzzy X_1 e X_2 , respectivamente, e \mathcal{R} uma relação binária sobre $X_1 \times X_2$. A relação \mathcal{R} define um funcional de $\mathcal{F}(X_1)$ em $\mathcal{F}(X_2)$ que, a cada elemento $\mathcal{A} \in \mathcal{F}(X_1)$, faz corresponder o elemento $\mathcal{B} \in \mathcal{F}(X_2)$ cuja função de pertinência é dada por*

$$\mu_{\mathcal{B}(x_2)} = \mu_{\mathcal{R} \circ \mathcal{A}}(x_2) = \sup_{x_1 \in X_1} \min[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2), \mu_{\mathcal{A}}(x_1)] \quad (3-45)$$

A relação \mathcal{R} também define um funcional de $\mathcal{F}(X_2)$ em $\mathcal{F}(X_1)$ da seguinte forma

$$\mu_{\mathcal{A}(x_1)} = \mu_{\mathcal{R}^{-1} \circ \mathcal{B}}(x_1) = \sup_{x_2 \in X_2} \min[\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2), \mu_{\mathcal{B}}(x_2)] \quad (3-46)$$

Onde $\mathcal{B} \in \mathcal{F}(X_2)$. \mathcal{A} é chamado de imagem inversa de \mathcal{B} por \mathcal{R}

3.3.7

Convexidade de Conjuntos e Relações Fuzzy

Utilizando a decomposição da equação 3-41, ou qual proporciona uma conexão entre relações fuzzy e sua contraparte crisp, a convexidade de relações fuzzy pode, em geral ser definido da forma seguinte:

Definição 3.3.18 *Uma Relação Fuzzy é convexa se e somente se todas os possíveis α_{cuts} da relação são convexas no sentido teórico de conjuntos clássicos.*

Conseqüentemente, uma n-upla de relação Fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ é chamado convexo se para todo elemento $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n) \in cut_{\alpha}(\mathbb{R})$ e $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in cut_{\alpha}(\mathbb{R})$ e para todo $\alpha \in [0, 1]$

$$\lambda \mathbf{u} + (1 - \lambda) \mathbf{v} \in cut_{\alpha}, \forall \lambda \in [0, 1] \quad (3-47)$$

Esta definição inclui, evidentemente, a definição de convexidade de conjuntos fuzzy regulares unidimensionais como o caso especial de relações unárias. Isto pode ser formulado da seguinte forma:

Definição 3.3.19 *Um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$, é chamado convexo se para todo elemento de $u \in cut_{\alpha}(\mathcal{A})$ e $v \in cut_{\alpha}(\mathcal{A})$, $\forall \alpha \in [0, 1]$*

$$\lambda u + (1 - \lambda) v \in cut_{\alpha}, \forall \lambda \in [0, 1] \quad (3-48)$$

Consideremos os conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} com seus dados funções de pertinências $\mu_{\mathcal{A}}(x)$ e $\mu_{\mathcal{B}}(x)$, $x \in \mathbb{R}$ mostrados na figura 3.6. Para o conjunto fuzzy \mathcal{A} na figura 3.6a, todos os possíveis α -cut $cut_{\alpha}(\mathcal{A})$, $\alpha \in [0, 1]$ é convexo no sentido teórico de conjuntos clássicos, enquanto pelo menos um $\alpha \in [0, 1]$ pode ser encontrado para o conjunto fuzzy \mathcal{B} na figura 3.6b, tal que o correspondente α -cut $cut_{\alpha}(\mathcal{B})$ não é convexo. Conseqüentemente o conjunto Fuzzy \mathcal{A} é convexo, o conjunto fuzzy \mathcal{B} não é.

Ao contornar a redução da condição de convexidade de conjuntos e relações fuzzy com a teoria dos conjuntos clássicos, a convexidade das relações

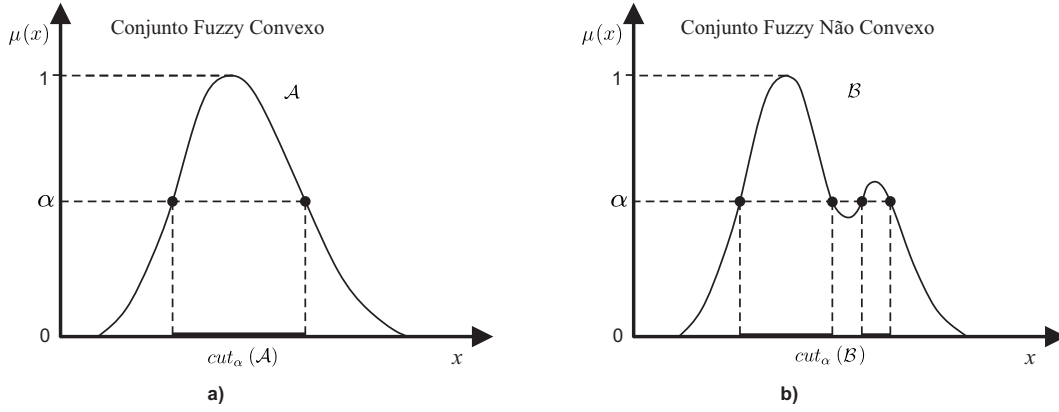


Figura 3.6: Aplicação da condição de convexidade (??) para (a) Um conjunto fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$ (b) Um conjunto fuzzy $\mathcal{B} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$

fuzzy pode também ser definido em termos de suas funções de pertinências $\mu_{\mathcal{B}}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ com $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ da seguinte forma:

Definição 3.3.20 Uma n -upla Relação Fuzzy $\mathcal{R} \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ é chamado convexo se para todo elemento $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n) \in \text{supp}(\mathcal{R})$ e $\mathbf{v} \in \text{supp}(\mathcal{R})$

$$\mu_{\mathcal{R}}[\lambda \mathbf{u} + (1 - \lambda) \mathbf{v}] \geq \min[\mu_{\mathcal{R}}(\mathbf{u}), \mu_{\mathcal{R}}(\mathbf{v})], \forall \lambda \in [0, 1] \quad (3-49)$$

Esta definição inclui a condição de convexidade de um conjunto fuzzy unidimensional regular como um especial caso de relações unárias. o qual é frequentemente formulado na seguinte forma.

Definição 3.3.21 Um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$, é chamado convexo se para todo $u, v, w \in \text{supp}(\mathcal{A})$ com $u \leq w \leq v$

$$\mu_{\mathcal{A}}(w) \geq \min[\mu_{\mathcal{A}}(u), \mu_{\mathcal{A}}(\mathbf{v})] \quad (3-50)$$

Observe-se os conjuntos fuzzy \mathcal{A} e \mathcal{B} com funções de pertinências $\mu_{\mathcal{A}}$ e $\mu_{\mathcal{B}}$ mostrado na figura 3.7 respectivamente, podemos usar alternativamente a condição de convexidade (3-50) para classificar os conjuntos fuzzy. Para o conjunto fuzzy \mathcal{A} da figura 3.7a o valor de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}$ é sempre maior ou igual a $\min[\mu_{\mathcal{A}}(u), \mu_{\mathcal{A}}(v)]$ para todo $u, v, w \in \text{supp}(\mathcal{A})$ com $u \leq w \leq v$, mas pelo menos uma combinação (u, v, w) pode ser encontrado para o conjunto \mathcal{B} na figura 3.7b tal que esta condição não for cumprida. Conseqüentemente, o conjunto fuzzy \mathcal{A} é convexo e o conjunto \mathcal{B} não é.

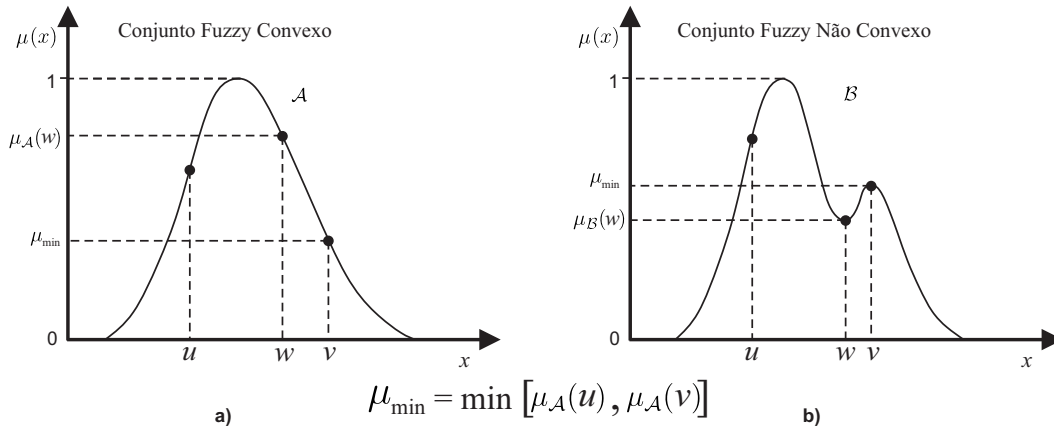


Figura 3.7: Aplicação da condição de convexidade (3-50) para (a) Um conjunto fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$ (b) Um conjunto fuzzy $\mathcal{B} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$

3.4 O Princípio de Extensão

Na Engenharia, nas matemáticas e, na ciência as funções são elementos essenciais na modelagem. Por exemplo considere uma relação entre uma variável independente e uma variável dependente como mostrado na figura 3.8. Esta relação é conhecido como um sistema SISO (single input - single output) onde a função de transferência $f(x)$ representa o mapeamento fornecido pela função f . Em um típico caso f é de forma analítica, pro exemplo, $y = f(x)$ com entrada x , e saída y . Entendendo este mapeamento para o caso que as variáveis de entrada x sejam fuzzy ou um conjunto fuzzy, isto é como poderíamos determinar a saída y Um dos conceitos básicos da teoria de logica fuzzy é O

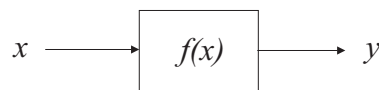


Figura 3.8: Mapeamento: simples entrada - simples saída

Princípio de Extensão, introduzido inicialmente por Zadeh [18] em uma forma elemental e, finalmente foi apresentado na sua forma conhecida por Yager [19], ou que nos permite estender o domínio de uma função sob conjuntos fuzzy. O principio fornece um método geral para estender conceitos matemáticos crisp para quantidades fuzzy, ou seja, ele permite que o domínio de definição de um mapeamento funcional ser estendido de elementos crisp para conjuntos fuzzy como argumento de função [20].

Seja $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ um conjunto produto universal e F um mapeamento funcional da forma:

$$F : X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \mapsto Z \tag{3-51}$$

ou qual mapeá todos os elementos (x_1, x_2, \dots, x_n) do conjunto produto universal para os elementos $z = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ do conjunto universal Z .

Seja $\mathcal{A}_1 \subseteq X_1, \mathcal{A}_2 \subseteq X_2, \dots, \mathcal{A}_n \subseteq X_n$ n conjuntos fuzzy, definidos por suas funções de pertinências $\mu_{\mathcal{A}_1}(x_1), \mu_{\mathcal{A}_2}(x_2), \dots, \mu_{\mathcal{A}_n}(x_n)$, $x_i \in X_i$, $i = 1, 2, \dots, n$. Então a função de pertinência $\mu_{\mathcal{B}}(z)$, $z \in Z$ do conjunto fuzzy $\mathcal{B} \in Z$ com

$$\mathcal{B} = F(\mathcal{A}_1, \mathcal{A}_2, \dots, \mathcal{A}_n) \quad (3-52)$$

é definido por

$$\mu_{\mathcal{B}}(z) = \begin{cases} \sup_{z=F(x_1, x_2, \dots, x_n)} \min[\mu_{\mathcal{A}_1}(x_1), \mu_{\mathcal{A}_2}(x_2), \dots, \mu_{\mathcal{A}_n}(x_n)], \\ \text{se } \exists z = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ 0, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (3-53)$$

De acordo com a operação da composição, que na sua forma é semelhante ao princípio da extensão, o operador supremo pode ser substituído pelo operador máximo, se todos os conjuntos fuzzy \mathcal{A} têm suporte finito $supp(\mathcal{A})$, $i = 1, 2, \dots, n$

$$\mu_{\mathcal{B}}(z) = \begin{cases} \max_{z=F(x_1, x_2, \dots, x_n)} \min[\mu_{\mathcal{A}_1}(x_1), \mu_{\mathcal{A}_2}(x_2), \dots, \mu_{\mathcal{A}_n}(x_n)], \\ \text{se } \exists z = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ 0, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (3-54)$$

No caso especial para $n = 1$ on o conjunto $\mathcal{A} \subseteq X$ é definida pela função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}(x)$, $x \in X$, e a função F mapeá um elemento x do conjunto universal X para o elemento $z = F(x)$ do conjunto universal Z , a função de pertinência $\mu_{\mathcal{B}}(z)$, $z \in Z$ do conjunto fuzzy $\mathcal{A} \subseteq Z$ com

$$\mu_{\mathcal{B}}(z) = \begin{cases} \sup_{z=F(x)} \mu_{\mathcal{A}}(x), \text{ se } \exists z = F(x) \\ 0, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (3-55)$$

Similarmente pode ser substituído pelo operador máximo se o conjunto \mathcal{A} tem suporte finito

$$\mu_{\mathcal{B}}(z) = \begin{cases} \max_{z=F(x)} \mu_{\mathcal{A}}(x), \text{ se } \exists z = F(x) \\ 0, \text{ de outra forma} \end{cases} \quad (3-56)$$

O Princípio de Extensão é ilustrado na figura 3.9a (f contínuo) e na figura 3.9b (f discreto), ou quais são auto explicativos. Quando os conjuntos X e Y são finitos nós substituímos o operador supremo pelo operador máximo.

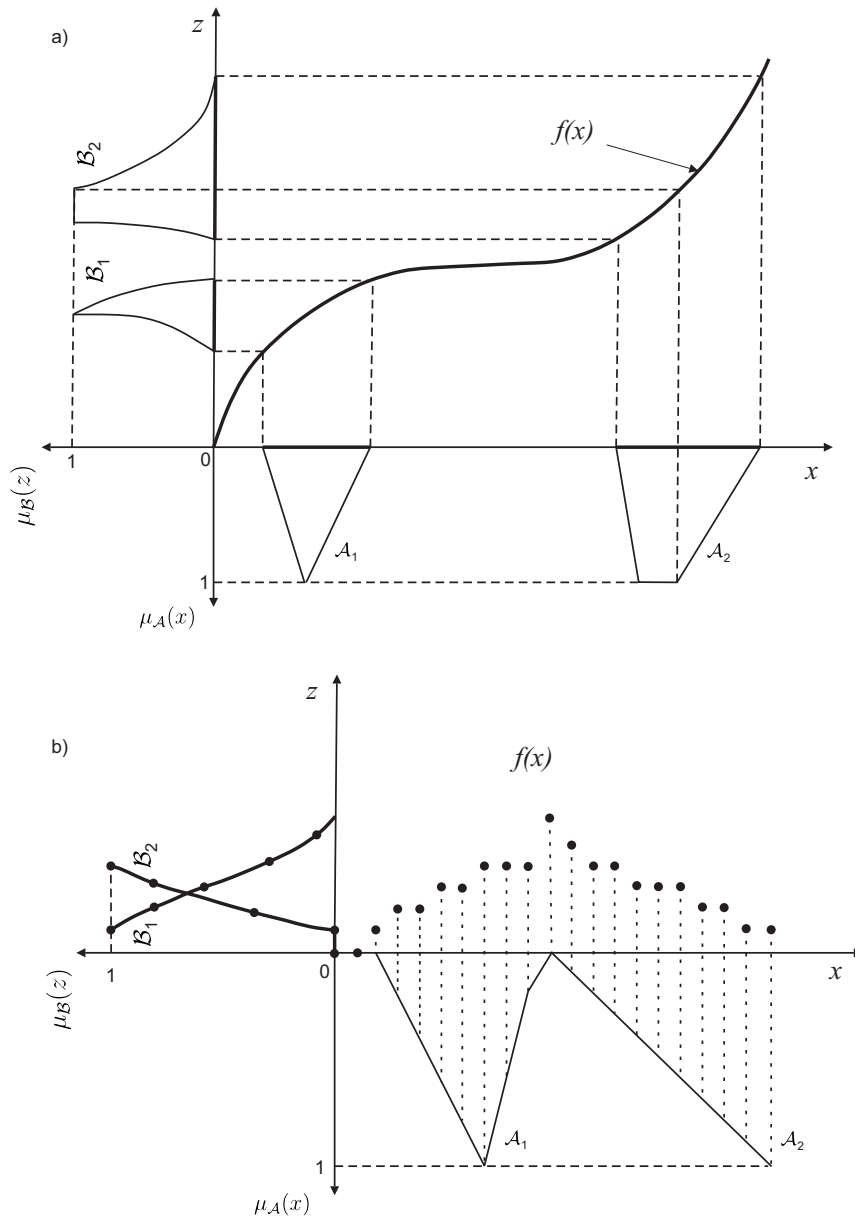


Figura 3.9: Ilustração do Princípio de Extensão quando: (a) $f(x)$ é contínuo. (b) $f(x)$ é discreto.

3.5 Números Fuzzy

Da grande quantidade de tipos de Conjuntos Fuzzy, aqueles que estão definidos no conjunto dos números reais \mathbb{R} , são especialmente chamados Números Fuzzy [21]. Sua função de pertinência destes conjuntos têm a forma:

$$\mathcal{A} : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1] \tag{3-57}$$

Os números fuzzy são utilizados para representar números reais cujo valor preciso não é conhecido com exactidão. Portanto, o Número Fuzzy generaliza

os números reais clássicos. Isto tem claramente um sentido quantitativo e pode, sob certas condições ser visto como Números Fuzzy ou Intervalos Fuzzy. Para visualizá-los, desta forma, eles devem capturar nossas concepções intuitivas de números ou intervalos aproximados, tais como “números que estão perto de um determinado número real” ou “números que são em torno de um determinado intervalo de números reais”

Com tais conceitos os Números fuzzy são essências para a caracterização de estado e capazes de modelar a incerteza epistêmica e sua propagação através de cálculos, desempenhando conseqüentemente um papel importante em varias aplicações.

Para que um Conjunto Fuzzy seja definido como un número fuzzy, deve cumprir às seguintes definições

Definição 3.5.1 *Um conjunto Fuzzy $\mathcal{A} \in \mathcal{P}(\mathbb{R})$, é chamado Número Fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}$ se satisfaz a seguinte condição*

1. \mathcal{A} é normal, isto é, $hgt(\mathcal{A}) = 1$
2. \mathcal{A} é convexo
3. Há exatamente um $\bar{x} \in \mathcal{A}$ com $\mu_{\mathcal{A}}(\bar{x}) = 1$, isto é, $core(\mathcal{A}) = \bar{x}$.
4. A função de pertinência $\mu_{\mathcal{A}}(x)$, $x \in \mathbb{R}$, é pelo menos contínua por partes

O valor $\bar{x} = core(\tilde{\mathbf{a}})$ o qual mostra o máximo grau da função de pertinência $\mu_{\tilde{\mathbf{a}}}(\bar{x})$ é chamado o valor modal do número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}$, de acordo a notação com o valor que ocorre mais frequentemente em amostras de dados. O valor modal pode ser também ser referido como um valor pico, valor central ou valor médio. onde os dois últimas expressões são utilizados preferencialmente para números fuzzy simétricos.

O conjunto de todos os possíveis números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}$ deve ser chamado “conjunto potencia de números fuzzy” $\mathcal{P}'(\mathbb{R}) \subset \mathcal{P}(\mathbb{R})$.

Um número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é chamado simétrico se sua função de pertinência $\tilde{\mathbf{a}}(x)$ satisfaz a condição

$$\mu_{\tilde{\mathbf{a}}}(\bar{x} + x) = \mu_{\tilde{\mathbf{a}}}(\bar{x} - x), \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-58)$$

Um número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é chamado positivo (estritamente), simbolizado por $\tilde{\mathbf{a}} > 0$ ou $sig(\tilde{\mathbf{a}}) = +1$, se

$$supp(\tilde{\mathbf{a}}) \subseteq]0, \infty[\quad (3-59)$$

ou negativo (estritamente), simbolizado por $\tilde{\mathbf{a}} < 0$ ou $sig(\tilde{\mathbf{a}}) = -1$, se

$$supp(\tilde{\mathbf{a}}) \subseteq]-\infty, 0[\quad (3-60)$$

Um número fuzzy $\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ deve ser chamado zero (fuzzy), simbolizado por $\text{sgn}(\tilde{a}) = 0$, se não é nem positivo nem negativo, isto é, se

$$0 \in \text{supp}(\tilde{a}) \tag{3-61}$$

A terceira condição da definição dos Números Fuzzy, muitas vezes é modificada. Por uma questão de eficiência computacional e facilidade de aquisição de dados. Portanto, conjuntos fuzzy que não possuem a terceira condição, mas o núcleo pode ser expressa por um intervalo fechado $[a, b] = \text{core}(\mathcal{P})$, $a < b$ são geralmente referidos como Intervalos Fuzzy.

Casos particulares de números fuzzy inclui números reais comuns e intervalos de números reais, como se ilustra na figura 3.10, onde 3.10a é um número real comum 2; 3.10b um intervalo fechado (crisp) comum $[1.5, 2.5]$; 3.10c um número fuzzy expressando a proposição perto de 2 e 3.10d um número fuzzy com uma região plana (intervalo fuzzy) [22].

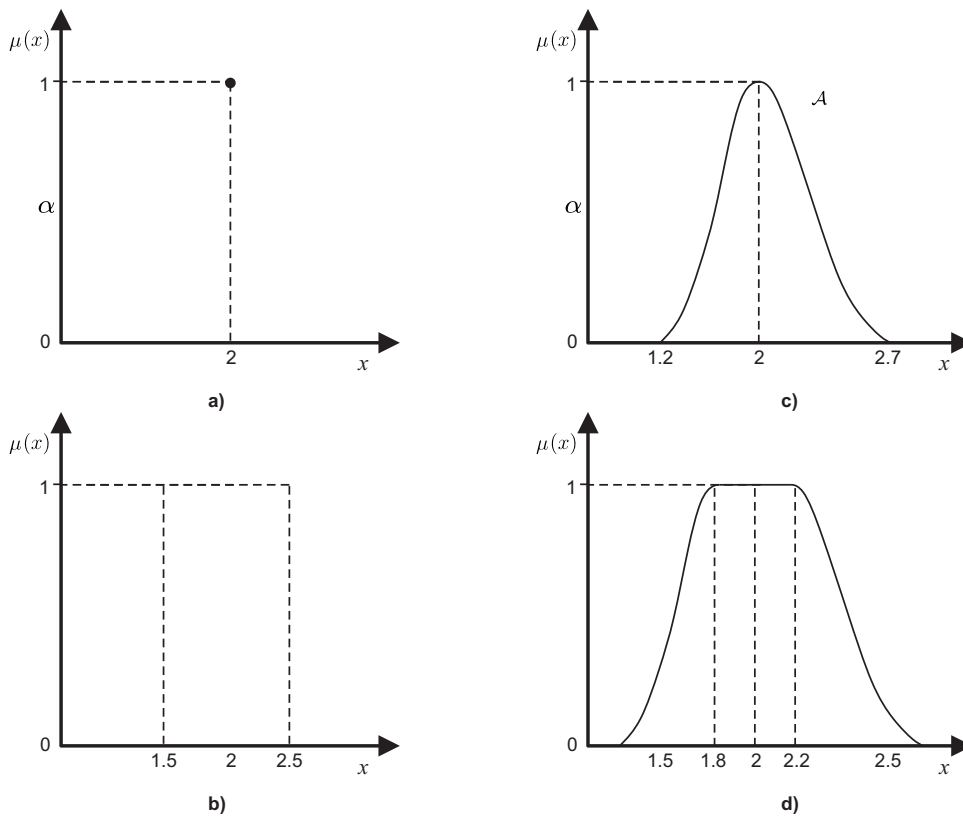


Figura 3.10: Uma comparação de um número real e intervalo crisp com um número fuzzy e um intervalo fuzzy respectivamente.

3.5.1

Tipos de Números Fuzzy

Entre o número infinito de possíveis Conjuntos Fuzzy em $\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ que qualifica como número fuzzy, alguns tipos de funções de pertinência $\mu_{\tilde{a}}(x)$ são de particular importância, especialmente no que diz respeito à utilização do número fuzzy na aritmética fuzzy aplicada.

3.5.1.1

Números Fuzzy Triangular

Devido à sua função de pertinência bastante simples do tipo linear, o número fuzzy triangular ou número fuzzy linear é um dos números fuzzy mais frequentemente utilizados. Então o número fuzzy Triangular $\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é definido com a função de pertinência

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x \leq \bar{x} - \alpha_1 \\ 1 + (x - \bar{x})/\alpha_1, & \text{para } \bar{x} - \alpha_1 < x < \bar{x} \\ 1 - (x - \bar{x})/\alpha_2, & \text{para } \bar{x} < x < \bar{x} + \alpha_2 \\ 0, & \text{para } x \geq \bar{x} + \alpha_2 \end{cases}, \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-62)$$

O parâmetro \bar{x} denota o valor modal do número fuzzy, α_1 e α_2 são os lados esquerdo e direito do pior caso de desvio do valor modal. Observa-se a figura 3.11:

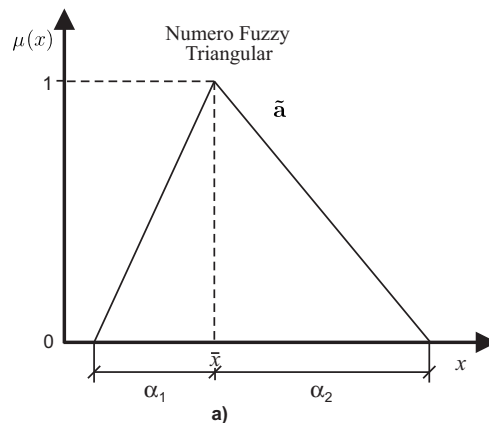


Figura 3.11: Número Fuzzy Triangular.

3.5.1.2

Números Fuzzy Gaussiano

Outro importante tipo de números fuzzy é o número fuzzy Gaussiano, onde sua função de pertinência é caracterizada por uma função de Gauss altimetricamente parametrizado e normalizada. Então o número fuzzy Gaussiano

$\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é definido com a função de pertinência

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \exp[-(x - \bar{x})^2/(2\sigma_1^2)], & \text{para } x < \bar{x} \\ \exp[-(x - \bar{x})^2/(2\sigma_2^2)], & \text{para } x \geq \bar{x} \end{cases}, \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-63)$$

Novamente, o valor modal é indicado pelo parâmetro \bar{x} e, σ_1 e σ_2 correspondem o desvio padrão da distribuição gaussiana. Observa-se a figura 3.12:

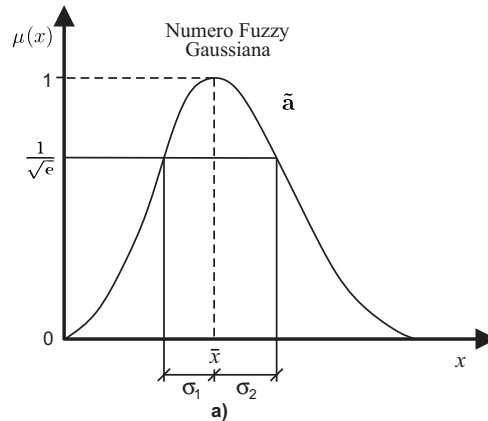


Figura 3.12: Número Fuzzy Gaussiano.

3.5.1.3 Números Fuzzy Exponencial

A função de pertinência de um número fuzzy Exponencial, é de um tipo exponencial. Então o número fuzzy Exponencial $\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é definido com a função de pertinência

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \exp[-(x - \bar{x})/\tau_1], & \text{para } x < \bar{x} \\ \exp[-(x - \bar{x})/\tau_2], & \text{para } x \geq \bar{x} \end{cases}, \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-64)$$

o valor modal é indicado pelo parâmetro \bar{x} e, τ_1 e τ_2 correspondem os desvio na parte esquerda e direita, ou qual, são idênticos aos valores absolutos inversos dos gradientes da função de pertinência. Observa-se a figura 3.13

3.5.1.4 Intervalo Fuzzy Trapezoidal

Funções de pertinência trapezoidal são usadas frequentemente o que poderia ser chamado um pseudo “número fuzzy trapezoidal” porque não cumpre a terceira condição da definição de números fuzzy, ou qual usualmente são chamados intervalos fuzzy.

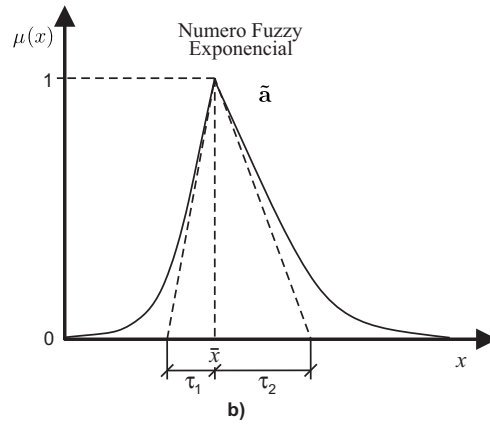


Figura 3.13: Número Fuzzy Exponencial

Então o Intervalo fuzzy Trapezoidal $\tilde{a} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ é definido com a função de pertinência similar aos números triangulares.

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x \leq \bar{x}_1 - \beta_1 \\ 1 + (x - \bar{x})/\beta_1, & \text{para } \bar{x}_1 - \beta_1 < x < \bar{x}_1 \\ 1, & \text{para } \bar{x}_1 < x < \bar{x}_2 \\ 1 - (x - \bar{x})/\beta_2, & \text{para } \bar{x}_2 < x < \bar{x}_2 + \beta_2 \\ 0, & \text{para } x \geq \bar{x}_2 + \beta_2 \end{cases}, \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-65)$$

Os parâmetro $[\bar{x}_1, \bar{x}_2]$ denota o intervalo dos valores modais do intervalo fuzzy, β_1 e β_3 são os lados esquerdo e direito do pior caso de desvio dos valores modais e β_2 é o tamanho do intervalo fechado igual a $core(\mathcal{P}')$. Observa-se a figura 3.14:

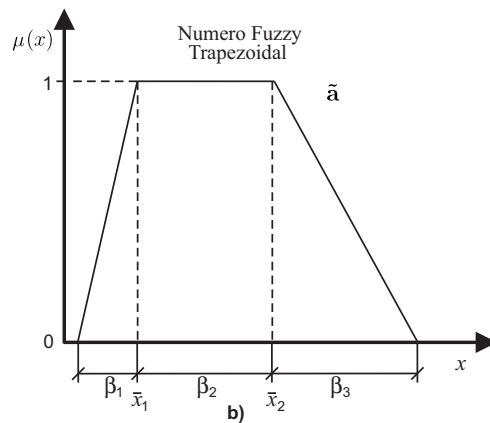


Figura 3.14: Intervalo Fuzzy Exponencial

3.5.1.5 Singleton Fuzzy

De acordo com a teoria dos conjuntos fuzzy, onde conjuntos clássicos estão incluídos no universo de conjuntos fuzzy. Então números crisp podem ser considerados como um caso especial de números fuzzy, para que eles possuem todas as suas propriedades. Neste contexto, um número crisp \bar{x} pode ser expressado por um número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}} \in \mathcal{P}'(\mathbb{R})$ definido sob a função de pertinência

$$\mu_{\tilde{\mathbf{a}}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x < \bar{x} \\ 1, & \text{para } x = \bar{x} \\ 0, & \text{para } x > \bar{x} \end{cases}, \forall x \in \mathbb{R} \quad (3-66)$$

Quando números crisp são considerados números fuzzy, eles são usualmente referidos como singleton fuzzy. Observa-se a figura 3.15:

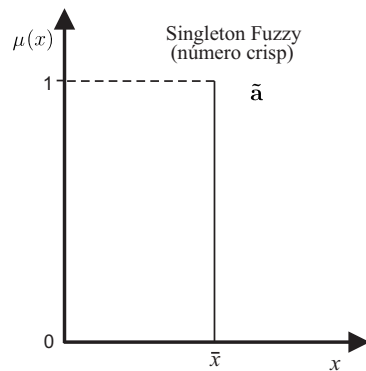


Figura 3.15: Singleton Fuzzy

3.5.2 Operações de Números Fuzzy

O objetivo fundamental da aritmética fuzzy, pode ser visto como uma apropriada contraparte das operações de adição, subtração, multiplicação e divisão de números crisp. Ou seja, dados dois números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ com funções de pertinências $\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_1}(x_1)$, $x_1 \in \mathbb{R}$ e $\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_2}(x_2)$, $x_2 \in \mathbb{R}$ respectivamente, sua operação aritmética fuzzy determinará uma função de pertinência $\mu_{\tilde{\mathbf{b}}}(z)$, $z \in \mathbb{R}$ do número fuzzy

$$\tilde{\mathbf{b}} = \mathfrak{F}(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) \quad (3-67)$$

onde \mathfrak{F} simboliza uma operação aritmética fuzzy elementar

$$\begin{aligned} \mathfrak{F}_a(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) &= \tilde{\mathbf{a}}_1 + \tilde{\mathbf{a}}_2, & \mathfrak{F}_s(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) &= \tilde{\mathbf{a}}_1 - \tilde{\mathbf{a}}_2 \\ \mathfrak{F}_p(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) &= \tilde{\mathbf{a}}_1 \tilde{\mathbf{a}}_2, & \mathfrak{F}_d(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) &= \tilde{\mathbf{a}}_1 / \tilde{\mathbf{a}}_2 \end{aligned} \quad (3-68)$$

Uma abordagem formal para a solução deste problema, é fornecido pelo princípio de extension de Zadeh [18], o que permite a avaliação de funções arbitrárias com conjuntos fuzzy como seus valores de argumentos. Por tanto, reescrevendo a equação 3-53 com números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ como seus argumentos e a operação binária \mathfrak{F} como o funcional de mapeamento, a função de pertinência $\mu_{\tilde{\mathbf{b}}}$ do número fuzzy resultante $\tilde{\mathbf{b}}$ é obtido de

$$\mu_{\tilde{\mathbf{b}}}(z) = \sup_{z=\mathfrak{F}(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2)} \min[\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_1}(x_1), \mu_{\tilde{\mathbf{a}}_2}(x_2)], \forall x_1, x_2 \in \mathbb{R} \quad (3-69)$$

Por conseguinte, uma definição eficaz de aritmética fuzzy requer a aplicação pratica 3-68 para as operações aritméticas 3-68 e para os números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$

Por exemplo, seja a adição $\mathfrak{F}_a(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) = \tilde{\mathbf{a}}_1 + \tilde{\mathbf{a}}_2$ de dois números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$, como mostrado na figura 3.16.

Onde primeiramente selecionamos os valores crisp de entrada $x_1 = 5$ e $x_2 = 6$, obtendo o valor de saída $z = x_1 + x_2 = 11$ com um grau intermediário de pertinência dado por $\min\{\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_1}(x_1 = 5), \mu_{\tilde{\mathbf{a}}_2}(x_2 = 6)\}$, como ilustrado pelas linhas horizontais tracejadas na figura 3.16. No entanto, a mesma saída $z = 11$ pode ser obtido por outra combinação de valores de entrada, que em seguida conduziria graus intermediários de pertinências de valores diferentes. Por exemplo, a combinação $x_1 = 7$ e $x_2 = 4$, leva para à grau intermediário de pertinência $\min\{\mu_{\tilde{\mathbf{a}}_1}(x_1 = 7), \mu_{\tilde{\mathbf{a}}_2}(x_2 = 4)\}$, como ilustrado pela linha horizontal an figura 3.16. Em uma última análise, o grau final de pertinência $\mu_{\tilde{\mathbf{b}}}(z)$ resulta das aplicações do operador supremo para todos os tipos possíveis graus intermediários de pertinência atribuída à saída z . Considerando-se o facto

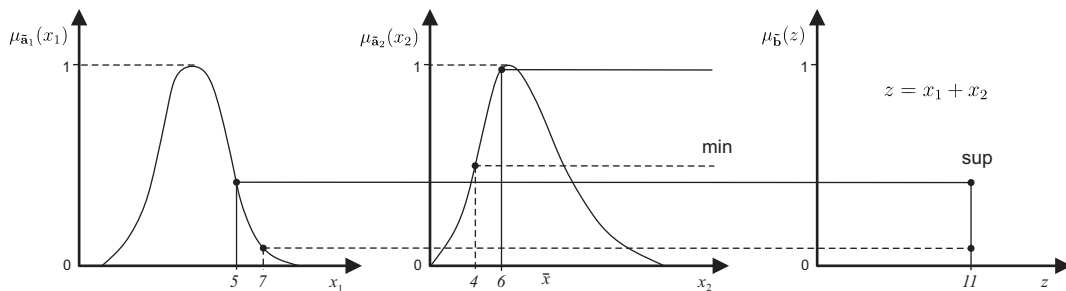


Figura 3.16: Avaliação do Princípio de Extensão para a adição de dois números fuzzy

de que não é, obviamente, um número infinito de combinações de entrada x_1 e x_2 , que conduzem para o mesmo valor de saída z , o sistema de avaliação simples do princípio da extensão de acordo com a figura 3.16, não vir a ser um método prático de aplicação. Isto é principalmente devido ao fato de que as propriedades características que qualificam conjuntos fuzzy como números fuzzy ainda não tenham sido incorporados.

Por tanto, existem três principais abordagens para a aplicação prática do princípio de extensão para a operação aritmética fuzzy 3-68. A primeira abordagem está baseado no conceito de números fuzzy L-R (Left - Right), introduzido por Dubois e Prade [23],[24]. A segunda abordagem segue a noção de números fuzzy discretizados propostos por Hanss [25],[26]. A terceira abordagem, é referido ao conceito de número fuzzy decomposto, reduz a aritmética difusa à disciplina bem estabelecida de aritmética intervalar, introduzido por Moore [27]. Extensos estudos sobre a última abordagem tem sido conduzido por Kaufmann e Gupta [28].

Neste trabalho somente desenvolveremos o estudo da terceira abordagem. Portanto, vamos introduzir alguns conceitos de aritmética interval para seguir com a solução practical de operações fuzzy.

3.5.2.1 Número Fuzzy Descomposto

Basicamente, o conceito de número fuzzy descompostos deriva do teorema de descomposição, como formulado para conjuntos fuzzy em (3-41). Afirmando que todo conjunto fuzzy \mathcal{A} pode ser exclusivamente representado pela sequência associada de seus $\alpha - cut$ $cut_\alpha(\mathcal{A})$ a via formula

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) = \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_\alpha(\mathcal{A})}(x) \quad (3-70)$$

onde $\mu_{cut_\alpha(\mathcal{A})}$, é a função característica do conjunto clássico $cut_\alpha(\mathcal{A})$. Em igual medida, este teorema é válido para qualquer número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}$ como um caso especial de um conjunto fuzzy e pode ser reescrita na forma

$$\mu_{\tilde{\mathbf{a}}}(x) = \sup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \mu_{cut_\alpha(\tilde{\mathbf{a}})}(x) \quad (3-71)$$

Para tornar este teorema de descomposição utilizável para aplicações práticas, o número infinito de $\alpha - cuts$ resultante para $\alpha \in [0, 1]$ tem que ser reduzido para um número finito de $\alpha - cuts$, permitindo apenas uma sequência de valores discretos $\alpha_j = \mu_j$ a ser selecionado para α . Para tal propósito,

assume-se no intervalo $[0, 1]$ ser subdividido em m intervalos de comprimento

$$\Delta\mu = \frac{1}{m}, \quad (3-72)$$

Semelhante à subdivisão de eixo μ dentro do conceito de números fuzzy discretizados. Então o valor discreto μ_j é dado por

$$\mu_j = \frac{j}{m} \quad (3-73)$$

com a propriedade

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 0, & \mu_j &= 1, \\ \mu_{j+1} &= \mu_j + \Delta\mu, & j &= 0, 1, \dots, m-1 \end{aligned} \quad (3-74)$$

o parâmetro m , que caracteriza o grau de refinamento da decomposição, deverá ser referido como o número de decomposição. Aplicando o teorema de decomposição para o número finito α – cuts, o número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_i$ pode ser representado na sua forma descomposta pelo conjunto

$$P_i = \{X_i^{(0)}, X_i^{(1)}, \dots, X_i^{(m)}\} \quad (3-75)$$

de $(m + 1)$ intervalos

$$X_i^{(j)} = [a_i^{(j)}, b_i^{(j)}] = \text{cut}_{\mu_j}(\tilde{\mathbf{a}}_i), \quad a_i^{(j)} \leq b_i^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (3-76)$$

$$X_i^{(0)} = [a_i^{(0)}, b_i^{(0)}] = [w_{1i}, w_{ri}] \quad \text{com} \quad]w_{1i}, w_{ri}[= \text{supp}(\tilde{\mathbf{a}}_i) \quad (3-77)$$

como ilustrado na figura 3.17. No contexto da aritmética fuzzy, estes intervalos são também referidos como os intervalos de confiança [75]. Desde que $\text{cut}_0(\tilde{\mathbf{a}}_i)$ é infinito e igual a \mathbb{R} , o intervalo X_i^0 associado ao nível mais baixo de pertinência μ_0 é definido pelo intervalo de pior caso $[w_{1i}, w_{1r}]$ com $]w_{1i}, w_{1r}[= \text{cut}_{0+}(\tilde{\mathbf{a}}_i) = \text{supp}(\tilde{\mathbf{a}}_i)$. Além disso, deve notar-se que, na representação descomposta, P_i do número fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_i$, a filiação dos $(m + 1)$ intervalos de $X_i^{(j)}$ para o nível atual de pertinência μ_j , $j = 0, 1, \dots, m$ é inerente à ordem dos elementos com valor de intervalo P_i . Isto é, o primeiro elemento de P_i corresponde ao menor grau de pertinência, e a última para o mais alto. Além disso, o $\text{cut } X_i^m$ no mais alto nível de pertinência $\mu_m = 1$ é expressado por um intervalo degenerado de comprimento zero devido à igualdade de a_i^m e b_i^m .

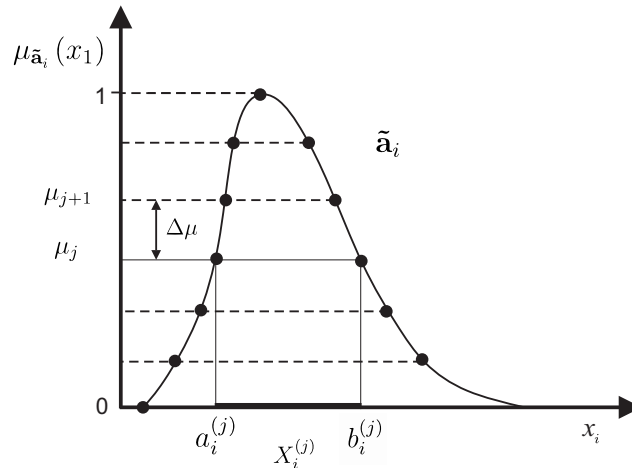


Figura 3.17: Descomposição de um número fuzzy em \tilde{a} intervalos

3.5.2.2 Operações com Números Fuzzy Descompostos

Baseado no conceito de números fuzzy descompostos, a operações fuzzy elementares

$$\tilde{b} = \mathfrak{F}(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = \tilde{a}_1 \star \tilde{a}_2, \quad \star \in [+ , - , * , /] \quad (3-78)$$

com os números fuzzy \tilde{a}_1 e \tilde{a}_2 pode ser efetuada através da aplicação das operações separadamente para cada nível de pertinência μ_j , $j = 0, 1, \dots, m$ para os pares de intervalo $X_1^{(j)}$ e $X_2^{(j)}$ dos números fuzzy descomposto P_1 e P_2 . Isto é, o resultado $\tilde{b} = \mathfrak{F}(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = \tilde{a}_1 \star \tilde{a}_2$ da operação elementar pode ser escrita na sua forma descomposta como

$$Q = \mathfrak{F}(P_1, P_2) = P_1 \star P_2 = \{Z^0, Z^1, \dots, Z^m\} \quad (3-79)$$

com

$$Z^{(j)} = [a^{(j)}, b^{(j)}] = [a_1^{(j)}, a_1^{(j)}] \star [a_2^{(j)}, a_2^{(j)}] = X_1^{(j)} \star X_2^{(j)} \quad j = 0, 1, \dots, m \quad (3-80)$$

Desde que os argumentos $X_1^{(j)}$ e $X_2^{(j)}$ na equação anterior não são crisp, mas de valor no intervalo, as operações elementares têm que ser realizadas por uma aritmética especial, chamada aritmética intervalar. Mesmo que o uso de intervalos remonta da época de Arquimedes, quando definiu o número irracional π pelo intervalo $[3\frac{10}{71}, 3\frac{1}{7}]$, os recentes desenvolvimentos em aritmética intervalar são em grande parte baseado no trabalho de Moore. Nas últimas décadas, o cálculo intervalar surgiu como disciplina bem estabelecida em

matemática aplicada.

A ideia fundamental de aritmética intervalar clássica era para definir as operações elementares de adição, subtração, multiplicação, divisão, para operandos com valor de intervalo, ou seja para determinar o resultado de

$$[a_1, b_1] \star [a_2, b_2] = \{x_1 \star x_2 \mid a_1 \leq x_1 \leq b_1, a_2 \leq x_2 \leq b_2\},$$

$$\star \in [+, -, *, /] \quad (3-81)$$

onde a expressão $[a_1, b_1]/[a_2, b_2]$, não esta definida se $0 \in [a_2, b_2]$. Adotando a notação 3-80, podemos dar as seguintes definições para as operações elementares da aritmética intervalar que são equivalentes a 3-81 e apresentam uma estrutura algébrica com respeito aos limites inferior e superior dos intervalos resultantes

Adição

$$[a_1^{(j)}, b_1^{(j)}] + [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}] = \underbrace{[a_1^{(j)} + a_2^{(j)}]}_{a^{(j)}}, \underbrace{[b_1^{(j)} + b_2^{(j)}]}_{b^{(j)}} \quad (3-82)$$

Subtração

$$[a_1^{(j)}, b_1^{(j)}] - [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}] = \underbrace{[a_1^{(j)} - a_2^{(j)}]}_{a^{(j)}}, \underbrace{[b_1^{(j)} - b_2^{(j)}]}_{b^{(j)}} \quad (3-83)$$

Multiplicação

$$[a_1^{(j)}, b_1^{(j)}] \cdot [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}] = \underbrace{[\min(M^{(j)})]}_{a^{(j)}}, \underbrace{[\max(M^{(j)})]}_{b^{(j)}},$$

$$M^{(j)} = \{a_1^{(j)} a_2^{(j)}, a_1^{(j)} b_2^{(j)}, b_1^{(j)} a_2^{(j)}, b_1^{(j)} b_2^{(j)}\} \quad (3-84)$$

Divisão

$$[a_1^{(j)}, b_1^{(j)}] / [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}] = \underbrace{[\min(D^{(j)})]}_{a^{(j)}}, \underbrace{[\max(D^{(j)})]}_{b^{(j)}},$$

$$D^{(j)} = \{a_1^{(j)} / a_2^{(j)}, a_1^{(j)} / b_2^{(j)}, b_1^{(j)} / a_2^{(j)}, b_1^{(j)} / b_2^{(j)}\}$$

desde que $0 \notin [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}]$ (3-85)

usando o operador geral $\star \in \{+, -, *, /\}$, podemos reescrever (3.5.2.2) até

(3-85) na forma generalizada

$$[a_1^{(j)}, b_1^{(j)}] \star [a_2^{(j)}, b_2^{(j)}] = [\underbrace{\min(G^{(j)})}_{a^{(j)}}, \underbrace{\max(G^{(j)})}_{b^{(j)}}],$$

$$G^{(j)} = \{a_1^{(j)} \star a_2^{(j)}, a_1^{(j)} \star b_2^{(j)}, b_1^{(j)} \star a_2^{(j)}, b_1^{(j)} \star b_2^{(j)}\}$$

(3-86)

As equações (3.5.2.2) até (3-86) segue o fato de que $\mathfrak{F}(X_1^{(j)}, X_2^{(j)}) = X_1^{(j)} \star X_2^{(j)}$, é uma função contínua de um conjunto compacto. Portanto, a função $\mathfrak{F}(X_1^{(j)}, X_2^{(j)})$ assume um menor e um maior valor, bem como todos os valores entre os dois. O intervalo $Z^{(j)} = X_1^{(j)} \star X_2^{(j)}$ é de novo um intervalo fechado em \mathbb{R} .

Por exemplo, considere os números fuzzy triangulares $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ dado por:

$$\tilde{\mathbf{a}}_1 = (2, 1, 1) \quad \text{e} \quad \tilde{\mathbf{a}}_2 = (4, 2, 4) \tag{3-87}$$

Definimos o número de decomposições $m = 2$, o que corresponde a um espaçamento de nível discreto de pertinência $\Delta\mu = 0.5$. Como resultado da decomposição, nós obtemos o conjunto de intervalos:

$$P_1 = \{[1, 3], [1.5, 2.5], [2, 2]\} \quad \text{e} \quad P_2 = \{[2, 8], [3, 6], [4, 4]\} \tag{3-88}$$

como representação da decomposição dos números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ sendo plotados na figura 3.18

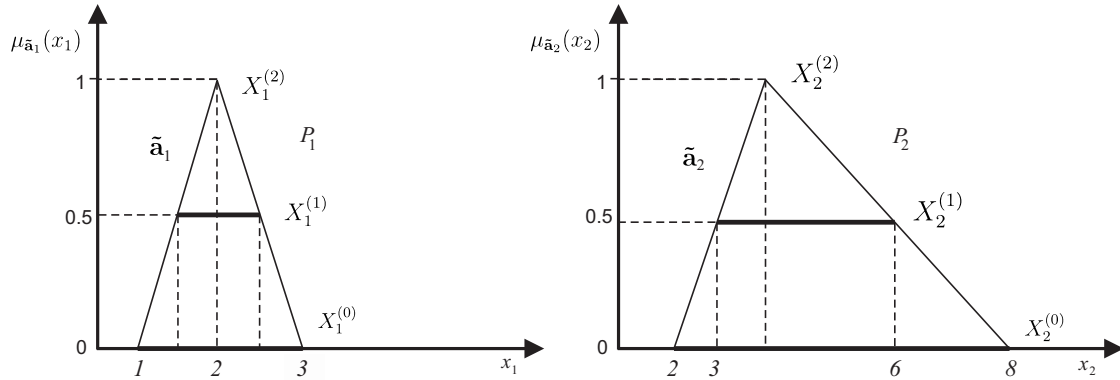


Figura 3.18: Números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ e suas representações descompostas P_1 e P_2 para $m = 2$

Seja a operação elementar de multiplicação

$$\tilde{\mathbf{b}} = \mathfrak{F}_m(\tilde{\mathbf{a}}_1, \tilde{\mathbf{a}}_2) = \tilde{\mathbf{a}}_1 \tilde{\mathbf{a}}_2 \tag{3-89}$$

Pode, então, ser avaliadas através da aplicação aritmética intervalo separadamente para cada nível de pertinência μ_j , $j = 0, 1, 2$:

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 0.0 : Z^{(0)} = X_1^{(0)} \cdot X_2^{(0)} = [1, 3] \cdot [2, 8] = [2, 24] \\ \mu_1 &= 0.0 : Z^{(1)} = X_1^{(1)} \cdot X_2^{(1)} = [1.5, 2.5] \cdot [3, 6] = [4.5, 15] \\ \mu_2 &= 0.0 : Z^{(2)} = X_1^{(2)} \cdot X_2^{(2)} = [2, 2] \cdot [4, 4] = [8, 8] \end{aligned} \quad (3-90)$$

$$(3-91)$$

Isto resulta o produto $\tilde{\mathbf{b}} = \tilde{\mathbf{a}}_1 \tilde{\mathbf{a}}_2$ na sua forma descomposta

$$Q = P_1 \cdot P_2 = \{Z^{(0)}, Z^{(1)}, \dots, Z^{(m)}\} = \{[2, 24][4.5, 15][8, 8]\} \quad (3-92)$$

A figura 3.19, mostra a representação descomposta Q do produto $\tilde{\mathbf{b}} = \tilde{\mathbf{a}}_1 \tilde{\mathbf{a}}_2$ dos números fuzzy $\tilde{\mathbf{a}}_1$ e $\tilde{\mathbf{a}}_2$ inicialmente definido

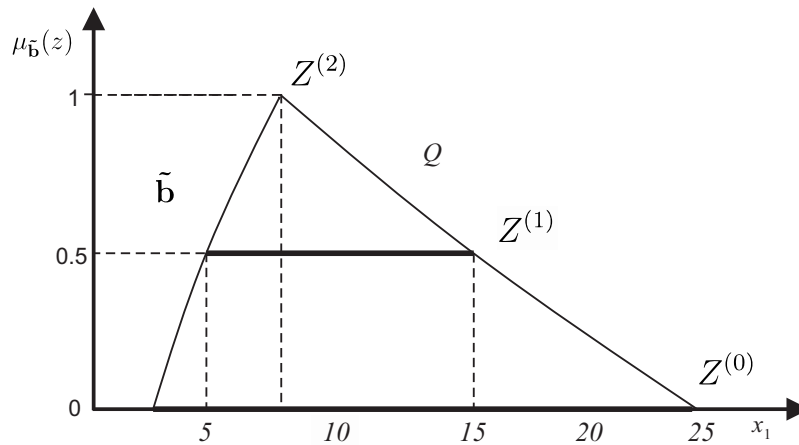


Figura 3.19: Produtos de números fuzzy $\tilde{\mathbf{b}} = \tilde{\mathbf{a}}_1 \tilde{\mathbf{a}}_2$ e sua representação descomposta $Q = P_1 \cdot P_2$

3.6 Variáveis Linguísticas

Quando nós encontramos fora da precisão em face da complexidade avassaladora, é natural para explorar o uso do que poderia ser chamado de variáveis linguísticas, ou seja, variáveis cujos valores não são números, mas palavras ou frases em linguagem natural ou artificial. A motivação para o uso de palavras ou frases em vez de números é que a caracterizações linguísticas são, em geral, menos específico do que os numéricos. Esta citação apresenta em poucas palavras a motivação e justificativa para a lógica fuzzy e o raciocínio aproximado.

Uma das ferramentas básicas para a lógica fuzzy e o raciocínio aproximado é a noção de uma variável linguística que em 1973 foi chamada de uma variável de ordem superior, em vez de variável fuzzy definida por Zadeh [18].

Segundo Lotfi A. Zadeh [17] em uma linguagem qualquer, cada palavra x pode ser vista como uma descrição resumida de um subconjunto \mathcal{A} do universo discurso X , onde $\mathcal{A}(x)$ representa o significado de x .

Então podemos definir as Variáveis Linguísticas como variáveis cujos valores são representados por termos linguísticos (palavras ou sentenças mas “não números”) cujo significado são determinados mediante os conjuntos fuzzy.

Definição 3.6.1 *Uma Variável Linguística pode ser caracterizada pela seguinte quintupla:*

$$(x, T(x), X, G, \mathcal{M}) \quad (3-93)$$

- x é o nome da variável, por exemplo, “Temperatura”.
- $T(x)$ é o conjunto dos termos linguísticos de x , ou seja, o conjunto de nomes dos valores linguísticos de x , por exemplo, {muito baixa, baixa, média, alta, muito alta}.
- X é o universo discurso da variável x (espaço fuzzy completo de variação de uma variável do modelo), por exemplo, $[100, 360]^{\circ}C$.
- G é a regra sintática (que geralmente tem a forma de uma gramática) para gerar os valores de x como uma composição de termos de $T(x)$, conectivos, lógicos, modificadores e delimitadores, por exemplo, “Temperatura não baixa”, “Temperatura não muita alta”.
- \mathcal{M} é a regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto fuzzy em X . Associa os valores acima a conjuntos fuzzy cujas funções de pertinência exprimem seus significados.

Na figura 3.20 mostramos a forma de como representar uma variável linguística “Temperatura”.

Aos termos de uma Variável Linguística (ou aos seus valores) faz-se corresponder conjuntos fuzzy, definidos por suas funções de pertinência podendo ter formas padrão ou definidas pelo mesmo usuário. A principal vantagem de introduzir valores linguísticos para a quantificação de uma variável encontra-se na possibilidade de “computar palavras”. Ou seja, a maneira humana de quantificação pode ser descrito de uma forma matematicamente consistente e pode ser incorporado em um quadro bem definido, que constitui a base para posteriores aplicações da teoria fuzzy, como raciocínio aproximado, controle fuzzy, etc.

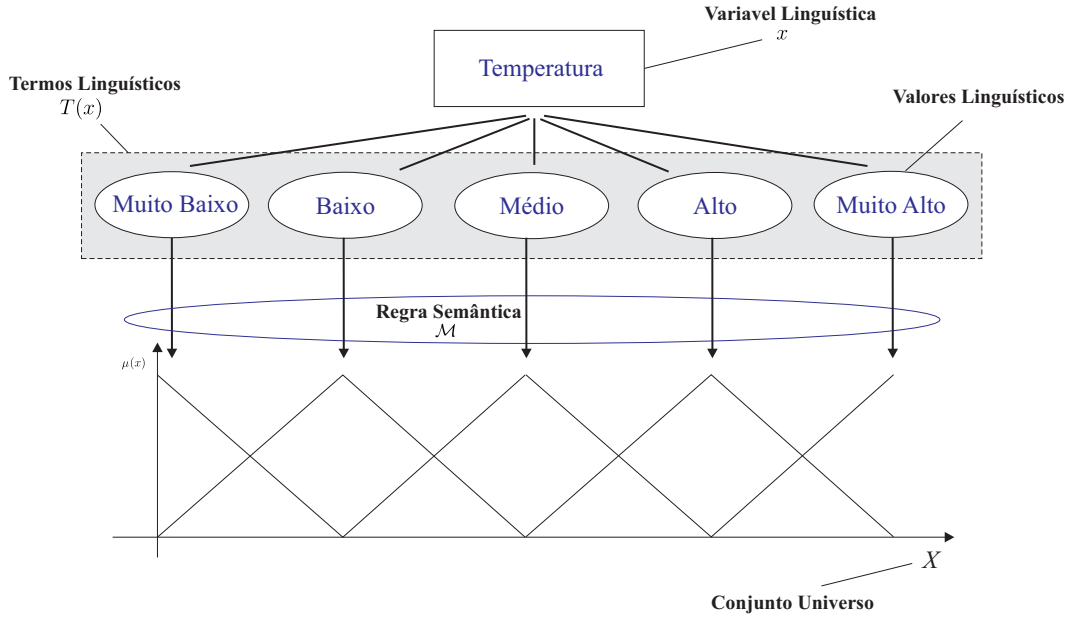


Figura 3.20: Variável Linguística Temperatura com cinco valores linguísticos.

Definição 3.6.2 A variável linguística x é chamado estruturado se conjunto de termos $T(x)$ e o significado $\mathcal{M}(x)$ pode ser caracterizado através de algoritmos. Para uma variável linguística estruturada, $\mathcal{M}(x)$ e $T(x)$ podem ser considerados como os algoritmos que geram os termos do conjunto de termo e os associa com seus significados.

Definição 3.6.3 Um modificador linguístico é uma operação que modifica o significado de um termo ou, mais geralmente, de um conjunto fuzzy. Se \mathcal{A} é um conjunto fuzzy, então o modificador m gera o (composto) termo \mathcal{B} .

$$\mathcal{B} = m(\mathcal{A}). \tag{3-94}$$

Os modificadores atuam na modelagem de um sistema fuzzy da mesma forma que advérbios e adjetivos atuam em uma sentença, modificando a natureza de um conjunto fuzzy. Os modelos matemáticos usados com frequência para os modificadores de Zadeh, são descritos a continuação.

- Concentração:

$$\mu_{con(\mathcal{A})}(x) = [\mu_{\mathcal{A}}(x)]^2 \tag{3-95}$$

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) \geq \mu_{con(\mathcal{A})}(x) \tag{3-96}$$

- Dilatação:

$$\mu_{dil(\mathcal{A})}(x) = [\mu_{\mathcal{A}}(x)]^{1/2} \tag{3-97}$$

$$\mu_{\mathcal{A}}(x) \leq \mu_{dil(\mathcal{A})}(x) \tag{3-98}$$

- Intensificação:

$$\mu_{int(\mathcal{A})}(x) = \begin{cases} 2[\mu_{\mathcal{A}}(x)]^2, & \text{para } \mu_{\mathcal{A}}(x) \in [0, 0.5] \\ 1 - 2[1 - \mu_{\mathcal{A}}(x)]^2, & \text{de outra forma} \end{cases} \quad (3-99)$$

Geralmente os seguintes modificadores linguísticos estão associados com operadores matemáticos acima mencionados. Se \mathcal{A} é um termo (um conjunto fuzzy), então:

- Concentração: Muito, Extremamente.
- Dilatação: Um pouco, levemente, mais ou menos.
- Intensificação: Positivamente, Definitivamente (torna o conjunto menos fuzzy), De uma forma Geral (torna o conjunto mais fuzzy).

Os modificadores podem ser usados tanto no antecedente (predicado) quanto no conseqüente (ação).

Na figura 3.21 mostramos os três tipos de Modificadores Linguísticos.

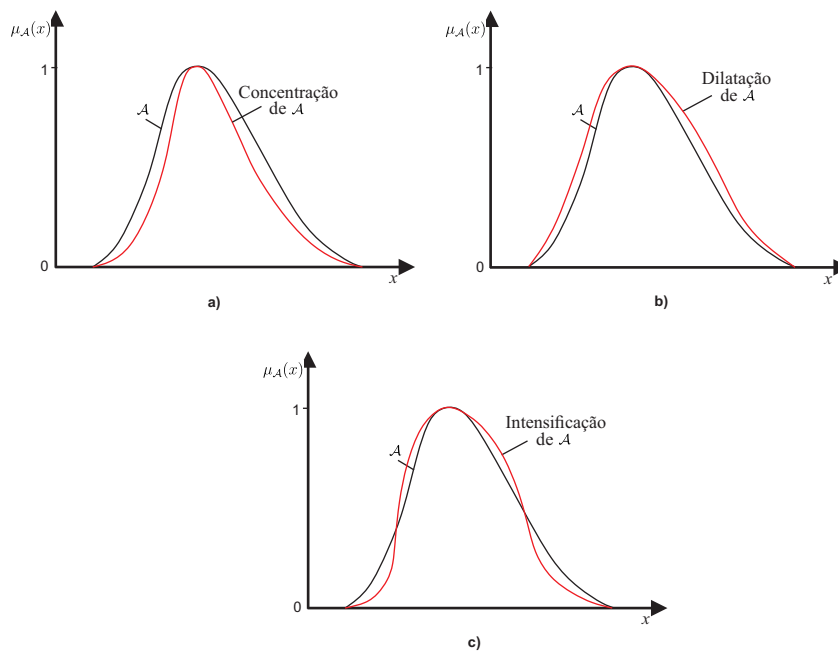


Figura 3.21: Modificadores Linguísticos (*Hedges*).

3.6.1

Raciocínio Aproximado

O Termo Raciocínio Aproximado refere-se a métodos e metodologias que permitam raciocínio com entradas incertas e imprecisas para obter resultados significativos. A área que lida com as normalizações dessas proposições é conhecida como Raciocínio Aproximado.

Inferência em Raciocínio Aproximado está em nítido contraste à inferência da Lógica Clássica o qual computa conjuntos fuzzy que representam significados de um determinado conjunto de proposições fuzzy e abrange uma grande variedade de esquemas de inferência que foram prontamente aplicado em muitos campos como: na tomada de decisão, sistemas especialistas, controle fuzzy, etc. Podemos otimizar o julgamento aproximado com a ajuda do sistema de equações de atribuição relacionais baseado em lógica fuzzy de forma mais generalizada.

A lógica fuzzy com o raciocínio aproximado descreve relações com regras “se-então”, tais como, “se a válvula de aquecimento é próximo, em seguida, a temperatura é baixa”. A incerteza nos termos linguísticos (por exemplo, baixa temperatura) é representado por conjuntos fuzzy. Cada conjunto fuzzy linguística neste caso mostra a faixa de temperatura de seu um extremo ao outro.

Observe-se o seguinte raciocínio no outro exemplo:

- 1 Gripe forte provoca febre alta;
- 2 Febre alta provoca dores de cabeça frequentemente;

(Conclusão) Gripe forte provoca dores de cabeça frequentemente.

Na última sentença (Conclusão) é uma dedução obtida a partir das premissas 1 e 2. Porém, alguns dos predicados não são termos precisos, tais como: “forte”, “alta” e “frequentemente”, por esse motivo, a teoria clássica não trata dessas sentenças. Para isto, iniciaremos com alguns conceitos utilizados na lógica clássica tradicional que servirão de base para o desenvolvimento da teoria lógica fuzzy. Do exemplo anterior, é uma generalização do conhecido método dedutivo “*Modus Ponens*”. A diferença para o modus ponens clássico está na subjetividade dos predicados envolvidos. As sentenças gerais são expressas em linguagem “natural” sem o formalismo da linguagem matemática.

Bom nosso interesse é modelar matematicamente o Modus Ponens Fuzzy

$$p \Rightarrow q : \text{“Se } x_1 \text{ é } A \text{ então } x_2 \text{ é } B\text{”} \quad (3-100)$$

$$(\text{Fato}) p : \text{“}x_1 \text{ é } A\text{”}$$

$$(\text{Conclusão}) q : \text{“}x_2 \text{ é } B\text{”}$$

Note que $p \Rightarrow q$ é uma proposição condicional fuzzy que é modelada por uma relação fuzzy \mathcal{R} em $X_1 \times X_2$, cuja função de pertinência é

$$\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2) = [\mu_A(x_1) \Rightarrow \mu_B(x_2)] \quad (3-101)$$

onde x_1 e x_2 são valores de variáveis linguísticas de X_1 e X_2 respectivamente. Assim, o valor da sentença “Se x_1 é A então x_2 é B ” depende da implicação a ser escolhida.

A implicação Clássica, isto é, $\mu_A(x) \in \{0, 1\}$ e $\mu_B(x) \in \{0, 1\}$, produz uma relação fuzzy cuja função de pertinência é dada por

$$\begin{aligned} \mu_R(x_1, x_2) &= [\mu_A(x_1) \Rightarrow \mu_B(x_2)] \\ &= \begin{cases} 1, & \text{se } x \notin A \text{ e } y \text{ qualquer ou } x \in A \text{ e } y \in B \\ 0, & \text{se } x \in A \text{ e } y \notin B \end{cases} \end{aligned} \quad (3-102)$$

De forma que

$$\begin{aligned} \mu_B(x_2) &= \sup_{x_1 \in X_1} [\mu_R(x_1, x_2), \mu_B(x_1)] \\ &= \begin{cases} 1, & \text{se } y \in B \\ 0, & \text{se } y \notin B \end{cases} \end{aligned} \quad (3-103)$$

Assim, o modus ponens clássico pode ser dado pela regra e composição de inferência $B = R \circ A$, em que a relação R é obtida por meio de uma implicação fuzzy que modela a sentença condicional. Com o propósito de inferir conjuntos fuzzy, essa formula será estendida para situações fuzzy mais gerais tais como o modus ponens e o modus ponens fuzzy generalizado. Então o Modus Ponens Fuzzy modela o seguinte silogismo, por exemplo:

(Regra) : “Se a maçã está vermelha, então está madura”(3-104)

(Fato) : “A maçã está vermelha”

(Conclusão) : “A maçã está madura”

Observa-se que a lógica fuzzy revela seu grande potencial na modelagem de cada uma das sentenças acima. Os substantivos e seus atributos são modelados por conjuntos fuzzy, enquanto que os conectivos por operadores como mínimo e máximo, implicações ou negações. A conclusão, que deve ser um conjunto fuzzy, é obtida pela extensão da regra de composição de inferência.

$$\mu_B(x_2) = \sup_{x_1 \in X_1} [\min(\mu_R(x_1, x_2), \mu_A(x_1))] \quad (3-105)$$

Substituindo as funções características por funções de pertinência obtemos:

$$\mu_B(x_2) = \sup_{x_1 \in X_1} [\min(\mu_{\mathcal{R}}(x_1, x_2), \mu_A(x_1))] \quad (3-106)$$

Em resumo, essa fórmula é a regra de inferência que modela o Modus Ponens Fuzzy

$$(Regra) : \text{“Se } x_1 \text{ é } A, \text{ então } x_2 \text{ é } B\text{”} \quad (3-107)$$

$$(Fato) : \text{“} x_1 \text{ é } A\text{”}$$

$$(Conclusão) : \text{“} x_2 \text{ é } B\text{”}$$

3.7 Sistema Fuzzy

Um sistema fuzzy apresenta entradas e saídas fuzzy. Porém, há casos em que se a entrada for crisp, espera-se que a saída também seja crisp construída de alguma maneira específica.

A estrutura do Sistema Fuzzy é representado com seus principais componentes mostrada na figura..

Observa-se da figura que o Sistema Fuzzy estão a conformados pelos componentes de Fuzzificação (entrada), Inferência e Base de Regras (Raciocínio), e a Defuzzificação (saída). Esses componentes serão explicados a continuação.

Na figura 3.22 mostramos os componentes de um Sistema Fuzzy.

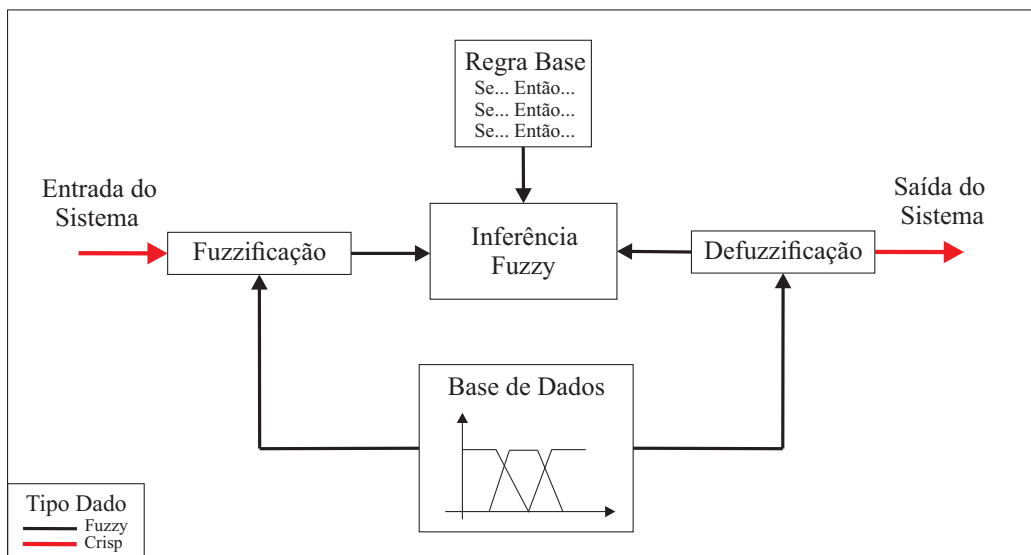


Figura 3.22: Componentes de um Sistema Fuzzy.

3.7.1 Fuzzificação

A fuzzificação é o estágio no qual as entradas de um sistema são modeladas por conjuntos fuzzy transformando-os em variáveis linguísticas com seus respectivos domínios, sendo de extrema importância que todos os dados de imprecisão e incertezas sejam considerados. Neste estágio se justifica a grande importância dos especialistas do fenômeno a ser modelado. Assim, mesmo que a entrada seja um conjunto crisp, essa será fuzzificada por meio de sua função característica.

Para desenvolver a modelagem fuzzy aplica-se toda a teoria descrito acima para obter uma melhor representação matemática dos valores imprecisos e incertos do fenômeno a ser estudado.

3.7.2 Base de Regras

A Base de Regras pode ser considerado como um componente que faz parte do núcleo do Sistema Fuzzy, cuja composição esta formada pelas proposições fuzzy descritas na forma linguística.

Se *premissa (antecedente)*, **Então** *conclusão (consequente)* (3-108)

Essa forma é comumente referido como a regra baseada no *Se – Então*; esta forma é geralmente referido como uma forma dedutiva. Isto tipicamente expressa uma inferência tal que se nós conhecemos um fato (premissas, hipóteses, antecedentes), então nós podemos inferir ou derivar outros fato chamados conclusão (consequência).

Usando as básicas propriedades e operações definidas nos conjuntos fuzzy, qualquer estrutura de regras composto pode ser decomposto e reduzido a um mero conjunto de regras canônicas como dado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.

Regra 1:	Se condição C^1	Então restrição R^1
Regra 2:	Se condição C^2	Então restrição R^2
	⋮	
Regra n:	Se condição C^n	Então restrição R^n

3.7.2.1 Múltiplos Antecedentes Conjuntivos

Se x_1 é \mathcal{A}^1 e x_2 é \mathcal{A}^2 ... e x_n é \mathcal{A}^n Então y é \mathcal{B}^s

Assumindo um novo conjunto fuzzy \mathcal{A}^s como:

$$\mathcal{A}^s = \mathcal{A}^1 \cap \mathcal{A}^2 \cap \dots \cap \mathcal{A}^n$$

e expressado por meio da função de pertinência

$$\mu_{\mathcal{A}^s}(x) = \min[\mu_{\mathcal{A}^1}(x), \mu_{\mathcal{A}^2}(x), \dots, \mu_{\mathcal{A}^n}(x)] \quad (3-109)$$

com base na definição da operação interseção fuzzy standard, a regra composta pode ser reescrita como

Se x é \mathcal{A}^s Então y é \mathcal{B}^s ,

3.7.2.2 Múltiplos Antecedentes Disjuntivos

Se x_1 é \mathcal{A}^1 ou x_2 é \mathcal{A}^2 ... ou x_n é \mathcal{A}^n Então y é \mathcal{B}^s

Poderia ser reescrita como:

Se x é \mathcal{A}^s Então y é \mathcal{B}^s ,

onde o conjunto fuzzy \mathcal{A}^s está definida como

$$\begin{aligned} \mathcal{A}^s &= \mathcal{A}^1 \cup \mathcal{A}^2 \cup \dots \cup \mathcal{A}^n \\ \mu_{\mathcal{A}^s}(x) &= \max[\mu_{\mathcal{A}^1}(x), \mu_{\mathcal{A}^2}(x), \dots, \mu_{\mathcal{A}^n}(x)], \end{aligned} \quad (3-110)$$

ou qual está baseado na definição da operação união fuzzy standard.

3.7.3 Inferência

Se ilustrou procedimentos matemáticos para realizar inferência dedutiva de regras “Se-Então”. Estes procedimentos podem ser implementados em um

computador para a velocidade de processamento. Algumas vezes, contudo, é útil para ser capaz de realizar o cálculo inferência manualmente com algumas regras para verificar os programas de computador ou para verificar a operação de inferência. Então serão propostas uns métodos gráficos que simulam o processo de inferência e que fazem cálculos manuais envolvendo algumas regras simples. Existem três métodos conhecidos de inferência dedutiva para sistemas fuzzy baseados em regras linguísticas: (1) Sistemas de Mamdani, (2) modelos de Sugeno, e (3) modelos Tsukamoto.

Neste trabalho utilizaremos o primeiro método de inferência de Mamdani, sendo mais comum na prática e literatura. Para começar a ilustração geral desta idéia, consideramos um sistema simples de duas regras onde cada regra é composta por dois antecedentes e um conseqüente. Isto é análogo a um sistema fuzzy de dupla entrada e saída única. Os procedimentos ilustrado aqui pode ser facilmente estendido e vai realizar para bases de regras fuzzy (ou sistemas fuzzy) com qualquer número de antecedentes (entradas) e conseqüências (saídas). Um sistema fuzzy com duas entradas não-interativas x_1 e x_2 (antecedentes) e uma única saída y (conseqüente) é descrito por um conjunto de r linguística *Se – Então* proposições na forma Mamdani:

$$\text{Se } x_1 \text{ é } \mathcal{A}_1^k \text{ e } x_2 \text{ é } \mathcal{A}_2^k \text{ Então } y^k \text{ é } \mathcal{B}^k, \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, r \quad (3-111)$$

onde \mathcal{A}_1^k e \mathcal{A}_2^k , são conjuntos fuzzy representando o k -ésimo pares de antecedente e \mathcal{B}^k é o conjunto fuzzy representado o k -ésimo conseqüente. No Método de Inferência de Mamdani existem dois casos diferente de duas entradas

Entradas para o sistema são valores escalares, e nós usamos um método de inferência *Max – Min* para um conjunto de regras disjuntivas, a saída de agregados para as regras r será dado como:

$$\mu_{\mathcal{B}^k}(y) = \max_k [\min[\mu_{\mathcal{A}_1^k}(\text{entrada}(i)), \mu_{\mathcal{A}_2^k}(\text{entrada}(j))]], \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (3-112)$$

Observe-se na figura 3.23 a inferência de Mamdani *Max – Min*,

Entradas para o sistema são valores escalares, e nós usamos um método de inferência *Max – Produto* para um conjunto de regras disjuntivas, a saída de agregados para as regras r será dado como:

$$\mu_{\mathcal{B}^k}(y) = \max_k [\mu_{\mathcal{A}_1^k}(\text{entrada}(i)) \cdot \mu_{\mathcal{A}_2^k}(\text{entrada}(j))], \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (3-113)$$

Observe-se na figura 3.24 a inferência de Mamdani *Max – Produto*, É claro

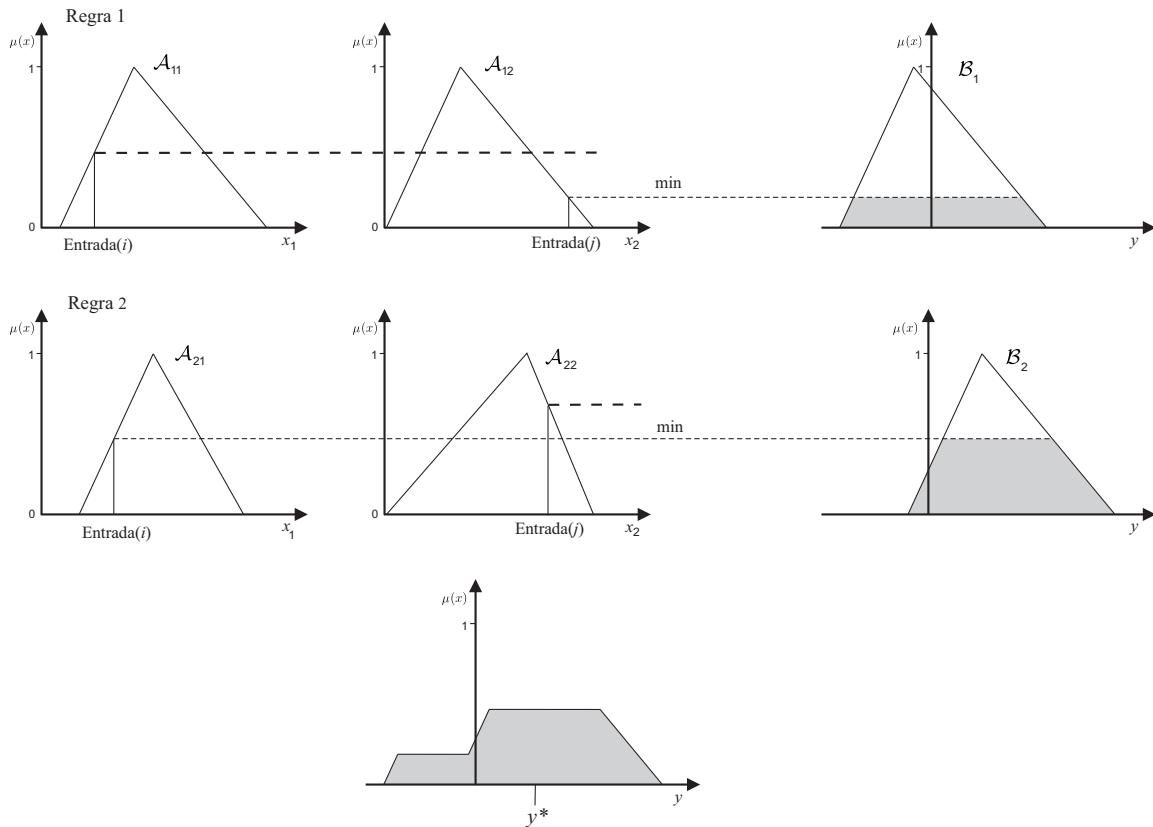


Figura 3.23: Gráfico do Método de inferência Mamdani (*Max – Min*) com entradas crisp

que, as entradas para qualquer sistema fuzzy também pode ser uma função de pertinência, tal como um indicador de leitura que tenha sido fuzzificado, mas não devem perder nenhuma generalidade em que descreve o método através do emprego singleton fuzzy (valores escalares) como entrada.

3.7.4 Defuzzificação

Lembre-se que as entradas ao sistema inicialmente foram convertidos em fuzzy e a inferência produz uma saída também fuzzy. Entretanto, se a entrada for um número real, espera-se que a saída correspondente seja também um número real, mesmo para uma entrada crisp. Dessa forma, deve-se indicar um método para defuzzificar a saída e obter um número real.

Então a defuzzificação é o estágio no qual os valores fuzzy são transformados em números reais tendo assim um conjunto de saída matematicamente definido para o sistema. Existem diversas técnicas para realizar a fuzzificação, o método mais utilizado é o calculo do centroide. Observe-se o y^* das figura 3.23 e 3.24, esse valor foi obtido calculando o centroide da área da união de conjuntos fuzzy de saída.

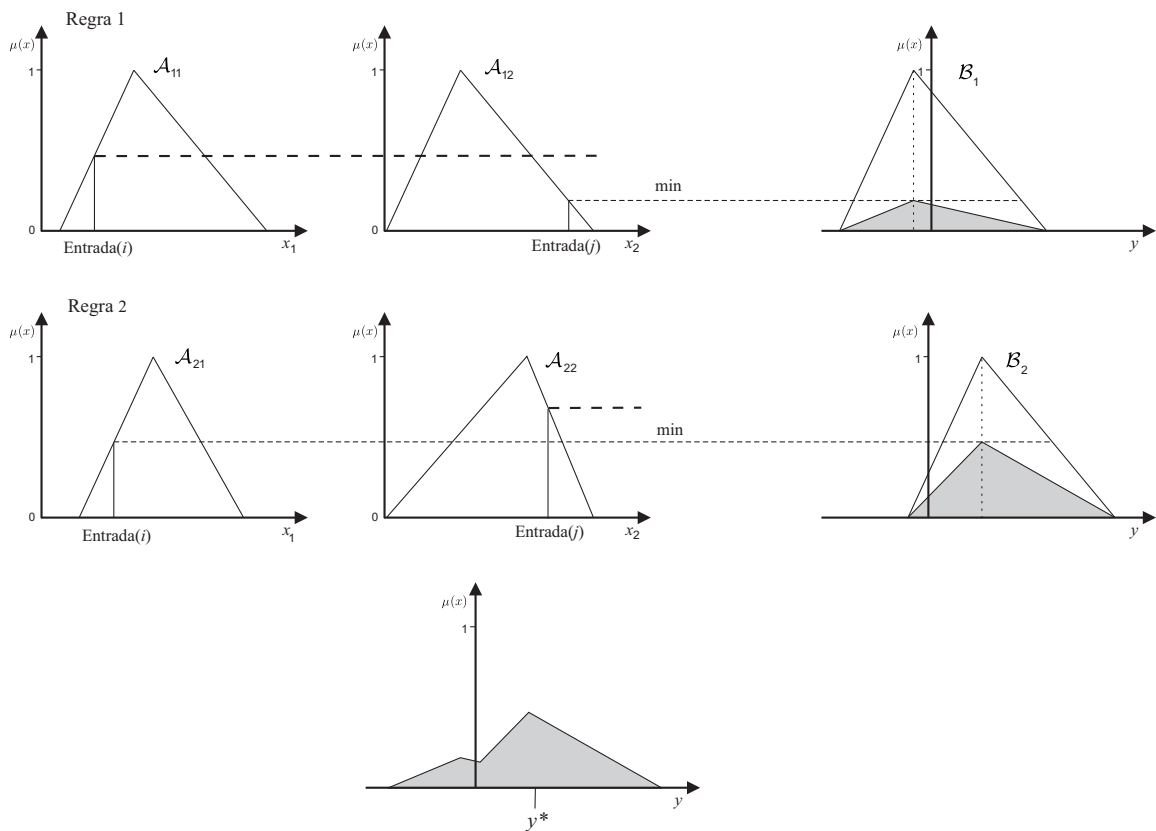


Figura 3.24: Gráfico do Método de inferência Mamdani (*Max – Produto*) com entradas crisp

4

Estudo de Caso

No capítulo 2, definimos que risco era as incertezas que afetava de forma negativa ou positiva (ameças e oportunidades) a os objetivos do projeto. E também descrevemos que as incertezas estavam classificadas em duas categorias: incerteza estocástica e incerteza epistêmico e existiam abordagens apropriadas para cada tipo de incerteza. No Gerenciamento de Riscos, muitas vezes as incertezas que lidamos são do tipo epistêmico, devido a julgamento subjetivo que empregamos ao momento de realizar a identificação de riscos. Com a experiencia de especialistas estas incertezas podem ser reduzidas, conseguindo uma maior aproximação do que poderia acontecer ou já aconteceu talvez em projetos anteriores. Portanto, neste capítulo vamos verificar e avaliar os aspectos práticos do gerenciamento de riscos utilizando a abordagem fuzzy para sua avaliação, através de sua aplicação em um projeto real de uma empresa do setor de cervejas. Dessa forma poderão ser testadas características específicas do modelo fuzzy quanto à sua aplicação e operacionalização.

4.1

Descrição do Projeto

Conforme a solicitação da empresa no momento do levantamento de dados, a identidade da empresa aqui estudada será preservada, podendo ser exposto alguns dados importantes para a avaliação de riscos. A empresa atua no setor de fabricação de cervejas e refrigerantes e pode ser classificada como estritamente funcional. O Projeto a ser estudado, tem como objetivo principal desenvolver a expansão da fabrica de refrigerantes. Este projeto, cujo orçamentado aproximadamente é R\$ 75 milhões de reais para um prazo de execução de 7 meses, consiste principalmente das seguintes atividades:

- Cimentação de estruturas de concreto novo espaço físico.
- Recuperação, traslado e manutenção de equipamentos usados.
- Instalações de tubulações e equipamentos rotativos.
- Aumento da capacidade da subestação elétrica.
- Instalação de zonas de segurança.

- Automatização da fabrica.
- Treinamentos de operação.

O ciclo de vida do projeto consta de 4 fases, tal como se mostra na figura 4.1.

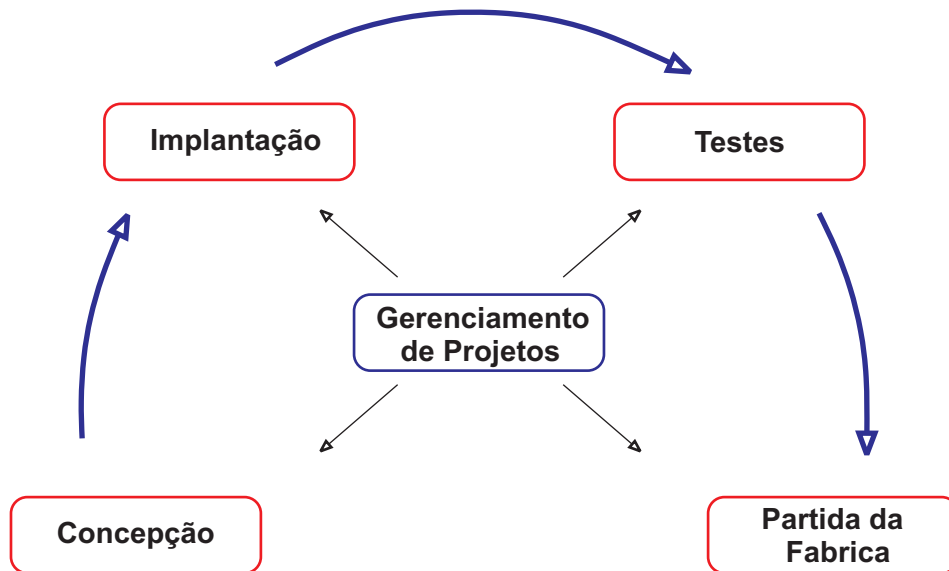


Figura 4.1: Ciclo de vida e fases do projeto.

Para um maior entendimento apresenta-se o EAP do projeto mostrado na figura 4.2. Como enfoque do estudo, o caso da avaliação dos riscos esta definida na fase inicial do projeto. Portanto, os riscos criados durante a execução do projeto estão fora do escopo deste trabalho.

4.2 Identificando os Riscos

O processo de identificação de riscos, consiste na determinação dos riscos que podem afetar ou ajudar o projeto. Então, para esta etapa de identificação, foi solicitada a presença de especialistas das diferentes áreas técnicas e gerencias envolvidas no projeto, dentro das quais os riscos podem afetá-las. No projeto, foram identificados os riscos que afetam direta ou indiretamente as áreas de Direção de Projetos, Área de Engenharia, Suprimentos, Qualidade, Operações e SMS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde). Portanto, uma vez realizada a identificação de riscos, agora como seguinte passo seria a classificação dos riscos utilizando uma EAR (Estrutura Analítica de Riscos), deste modo, nos servirá como uma guia de análise do contexto, da documentação e também para questionamento dos stakeholders, sendo como principal propósito da EAR mostrar as principais categorias dos riscos no projeto de forma hierárquica similar à EAP que se apresentou na figura 4.2.

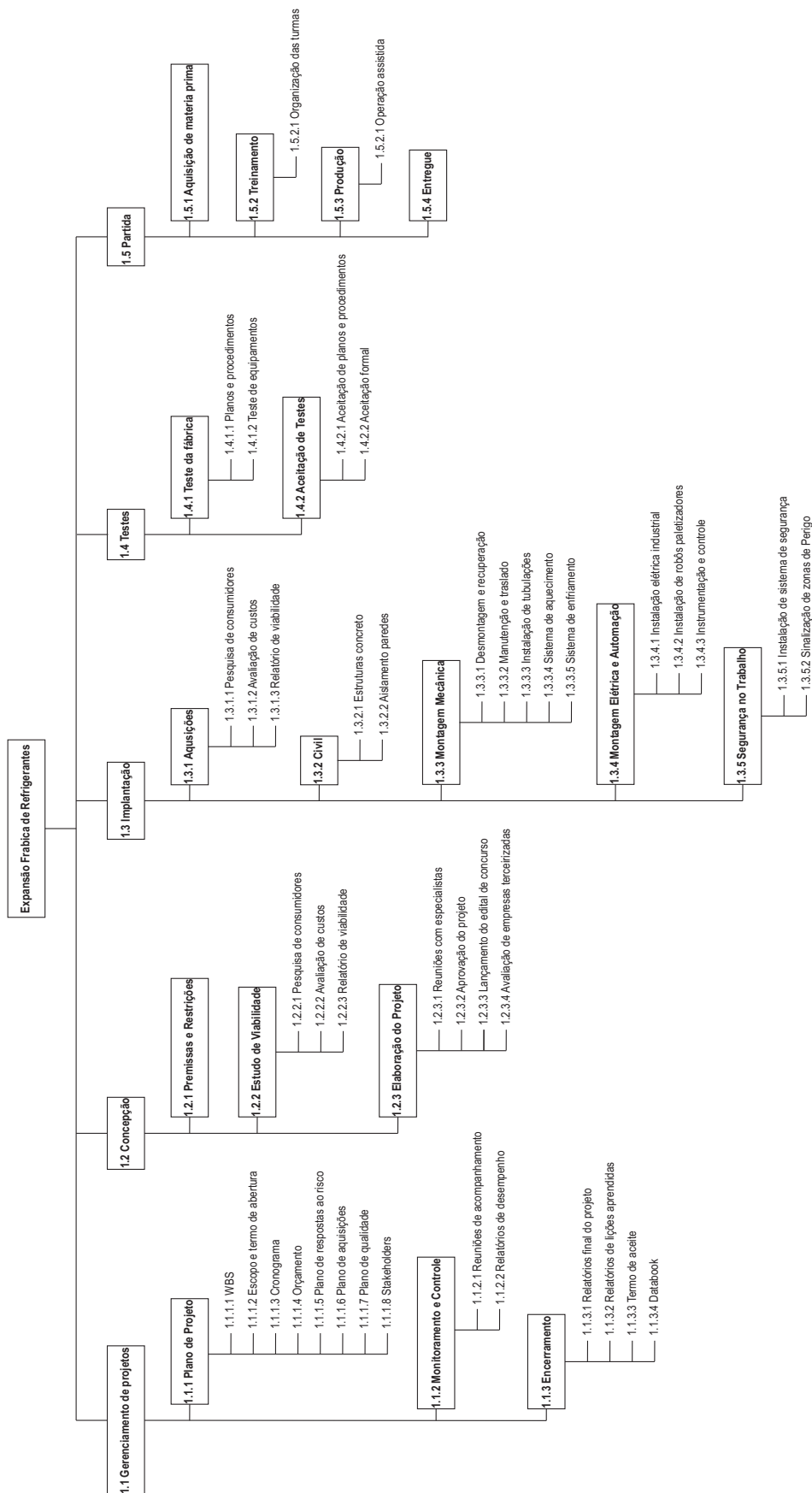


Figura 4.2: Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

Por fim, depois de organizar as informações sobre o projeto, a identificação de novos riscos pode ser realizada utilizando-se ferramentas e técnicas mencionadas anteriormente, lembrando-se que os riscos estão presentes durante todo o ciclo de vida do projeto. Observa-se na figura 4.3 a estrutura analítica de riscos, onde categorizamos todos os riscos do projeto.

O EAR do projeto é subdividida em cinco categorias como segundo nível e dentro de elas estão alocados 17 novas categorias de risco como terceiro nível, o que facilita na associação de probabilidade de cada um. No Apêndice A encontra-se uma tabela com a descrição de cada um dos riscos como também suas causas e efeitos.

De todos os riscos já identificados foram registrados 30 riscos potenciais em um documento chamado Lista/Registro de verificação. Este documento ou registro pode ser desenvolvida com base nas informações históricas e no conhecimento que foram acumulados a partir de projetos anteriores semelhantes e de outras fontes de informação. Como descrito anteriormente, o EAR foi trabalhado com ajuda das informações fornecidos pelos especialistas e históricos de alguns projetos semelhantes que foram executados na fábrica. Na tabela 4.1, se apresenta um pequeno fragmento do Registro de riscos.

Tabela 4.1: Fragmento de um Registro de Riscos.

Cod.	Nome do Risco	Descrição	Categoria
risc01	Queda de resíduos.	Aumento de resíduos industriais abandonados na zona de trabalho.	Execução
risc02	Ineficiência na logística.	Indisponibilidade dos materiais, equipamentos e instrumentos no tempo exato de realização das atividades.	Técnico
risc03	Atraso no cronograma.	Várias atividades com prazo definido no cronograma não cumpridas pelas empresas terceirizadas.	G. Projetos
risc04	Falta de pessoal.	Equipe não qualificada e competente para a execução eficiente de todas as atividades do projeto.	Organizacional
risc05	Dilatação prazos.	Dilatação de prazos de entrega conforme combinado com os fornecedores externos e internos.	G. Projetos

Embora um registro de riscos possa ser rápida e simples, é impossível construir uma lista completa. É necessário explorar itens que não aparecem na lista de verificação. A lista de verificação deve ser verificada durante o encerramento do projeto para que seu uso em futuros projetos possa ser aperfeiçoado.

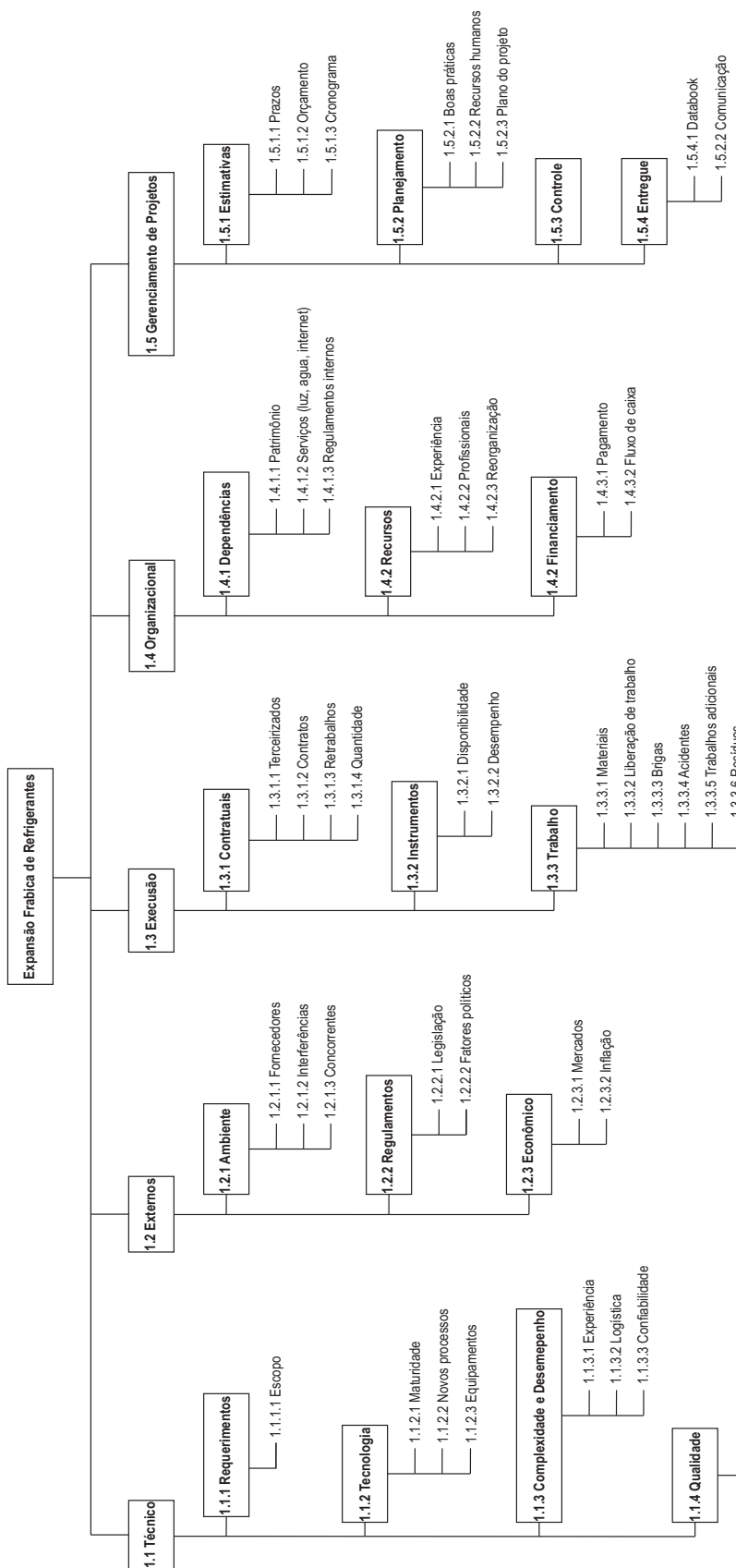


Figura 4.3: Estrutura Analítica de Riscos.

Uma coisa importante a tomar em consideração, é que todos os riscos identificados deve passar por uma etapa de priorização, para assim saber quais riscos devemos dar maior importância. Isto é, porque o tempo que temos durante o projeto é muito curto. Nota-se também muitos dos riscos identificados são dependentes e muitas vezes ao dar atenção a um risco estaríamos implicitamente prevendo outro, para isso é recomendável utilizar mapas cognitivos para mostrar alguma ideia de como os riscos estão ou poderiam se relacionar [29]. Esta metodologia é apresentada a continuação e aplicado ao projeto.

4.2.1 Mapas Cognitivos

Um Mapa Cognitivo é uma diagrama de rede representando causas e efeitos Bryson [30]. Este diagrama contém dois elementos básicos: conceitos, que são os nós da rede e relações de causalidade, representados pelos arcos entre os nós. Os conceitos são considerados como as variáveis do sistema e, em alguns notações levar um signo positivo ou negativo implica o tipo de relação de causalidade e efeito Tsadiras [31]. Os mapas cognitivos usam o conceito para extrair e representar percepções.

Existem varias aplicações na disciplina de gestão de operações comumente utilizados para apoiar a investigação empírica para a construção e comunicação teórica. As áreas em que os mapas causais têm sido utilizados incluem:

- Mitigação de Riscos: antecipando consequências indesejadas.
- Diagnostico: identificar as possíveis causas de um problema.

Huff [32], fala sobre uma vantagem dos mapas cognitivos, e é que eles podem representar um sistema de informação sobre mais do que uma forma sucinta descrição textual correspondente.

Utilizando esta abordagem como parte da identificação dos riscos podemos obter as seguintes vantagens.

1. As discussões em grupo guiado por mapas cognitivos, incentiva a participação de todos os interessados no projeto.
2. Os mapas cognitivos facilitam a melhora de comunicação entre os membros do projeto.
3. Fornecem ua imagem clara da situação do projeto, criando uma representação esquemática.
4. O diagrama permite a identificação das inter-relações entre os riscos.

Na figura 4.4 se apresenta o que poderia ser um mapa cognitivos de riscos onde cada risco esta segmentado conforme as fases do projeto.

4.3 Metodologia de Avaliação Qualitativa de Riscos

A abordagem fuzzy será utilizada para avaliar qualitativamente os riscos do projeto com a mesma escala de classificação para a probabilidade e impacto utilizada na matriz de riscos proposta no PMBOK. Os componentes do risco serão fuzzificadas para obter variáveis linguísticas e associaremos um intervalo numérico a cada uma destas. Utiliza-se a mesma escala dos componentes para assim demonstrar algumas vantagens que poderia-se obter ao utilizar a abordagem fuzzy em vez da matriz de riscos apresentado na figura 2.3.

Sabe-se que o risco depende da probabilidade e impacto que poderia sofrer o projeto, mas neste trabalho vamos criar uma escala que classifica os impactos relacionados a prazo e custo, este modelo se mostra na figura 4.5.

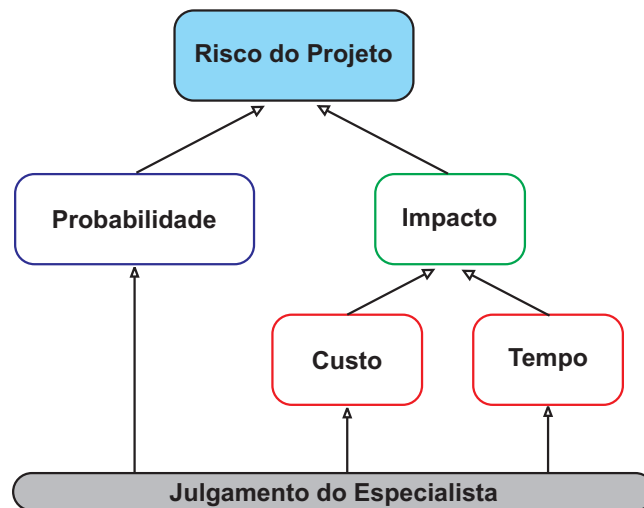


Figura 4.5: Modelagem para calcular o Risco.

Os prazos, custos e probabilidades foram escalados segundo os critérios dos especialistas dos projetos, cujos valores são apresentados na tabela 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2: Escala de valores para o Custo e Prazo.

		Escala de Impactos			
Impacto	Muito Baixo (MB)	Baixo (B)	Moderado (M)	Alto (A)	Muito Alto (MA)
Prazo do Projeto	Até 15 dias	Entre 15 e 30 dias	Entre 30 e 60 dias	Entre 60 e 90 dias	Maior que 90 dias
Custo do Projeto	Até R\$ 0.4 milhões	Entre R\$ 0.4 e 1.6 milhões	Entre R\$ 1.6 e 4 milhões	Entre R\$ 4 e 8 milhões	Maior que R\$ 8 milhões

Tabela 4.3: Escala de valores para a Probabilidade.

Escala de Probabilidade	
Descrição	Probabilidade Associada
Muito Baixa (Muito provavelmente não ocorrerá)	$\leq 10\%$
Baixa (Provavelmente não ocorrerá)	$> 10\%$
Moderado (Pode ocorrer)	$> 30\%$
Alto (Provavelmente ocorrerá)	$> 60\%$
Muito Alta (Muito provavelmente ocorrerá)	$> 80\%$

A metodologia utilizada para o cálculo dos valores de impacto e Risco está baseada na aplicação dos sistemas fuzzy utilizando a inferência de Mamdani. Nosso modelo utiliza dois sistemas fuzzy, o primeiro sistema para calcular o impacto sendo as entradas prazo e custo e o segundo sistema para calcular o risco sendo as entradas a probabilidade e o impacto.

A fuzzificação das entradas no primeiro sistema fuzzy é mostrada na tabela 4.4, onde utiliza-se a função de pertinência triangular.

Tabela 4.4: Fuzzificação das variáveis Custo e Prazos.

Variável	Valores Linguísticos	Função de Pertinência	Valores numéricos	Unidade
Custo	Muito Baixo	Triangular	[0.0 0.0 0.6]	Milhões
	Baixo	Triangular	[0.3 1.0 1.8]	
	Moderado	Triangular	[1.3 2.6 4.5]	
	Alto	Triangular	[3.5 6.0 8.5]	
	Muito Alto	Triangular	[7.5 10.0 10.0]	
Prazo	Muito baixo	Triangular	[0.0 0.0 17.5]	Dias
	Baixo	Triangular	[12.5 22.5 32.5]	
	Moderado	Triangular	[27.5 45.0 65.0]	
	Alto	Triangular	[55.0 75.0 95.0]	
	Muito Alto	Triangular	[85.0 120 120]	

De forma gráfica, as funções de pertinência triangulares das variáveis linguísticas custo e prazo cujos conjuntos universo discurso $[0, 10]$ milhões e $[0, 120]$ dias respectivamente, são representadas na figura 4.6.

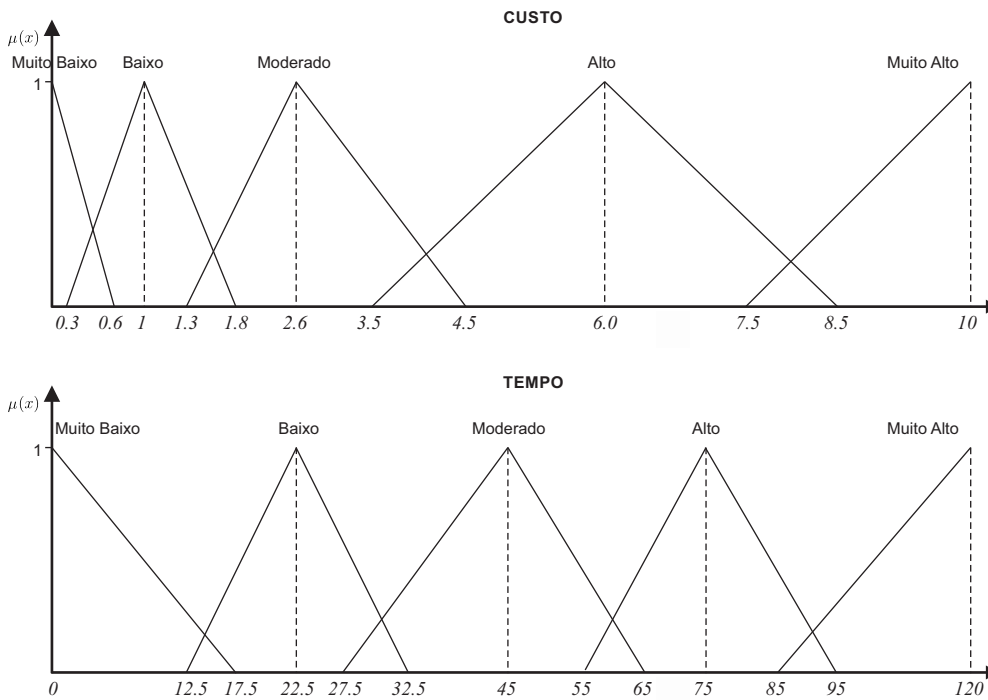


Figura 4.6: Funções de Pertinência da variável de entrada Prazo e Custo.

Para realizar a inferência de Mamdani, se desenvolveu 25 regras baseadas no raciocínio dos especialistas para cada valor possível da escala definida. Observa-se a tabela 4.5.

Tabela 4.5: Base de Regras.

Impacto	Prazo					
	MB	B	M	A	MA	
Custo	MB	MB	MB	B	B	M
	B	MB	B	B	M	M
	M	B	M	M	A	A
	A	M	M	A	A	A
	MA	A	A	A	MA	MA

A saída do primeiro sistema será o impacto obtido através dos prazos e custos. E este impacto conjuntamente com a probabilidade serão as duas variáveis de entrada para o segundo sistema que nos calcula o risco do projeto. Portanto, a probabilidade e impacto estão representadas por variáveis linguísticas fuzzy, como se mostra na figura 4.7.

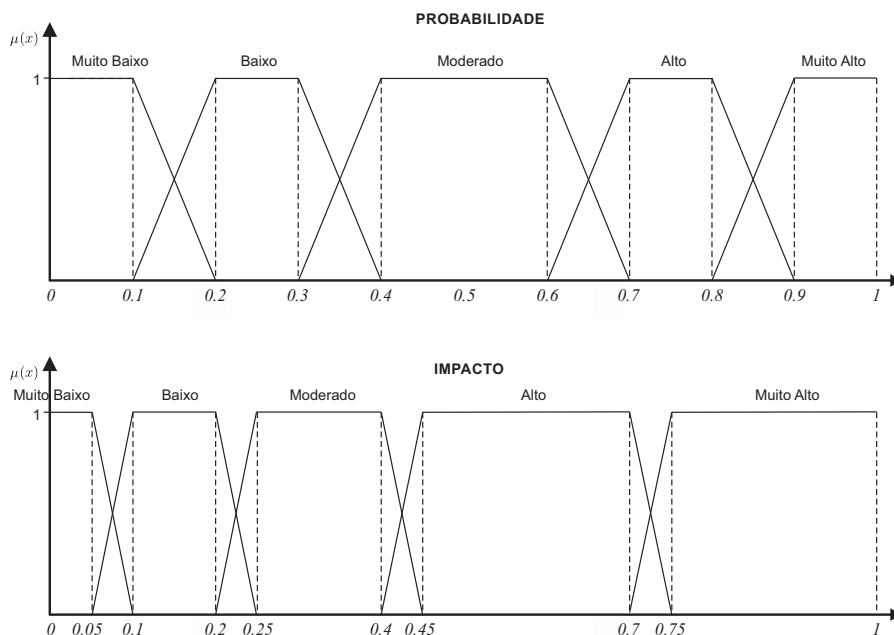


Figura 4.7: Funções de Pertinência da variável de entrada Probabilidade e Impacto.

Estas variáveis de entrada também foram divididos em 5 valores linguísticos: Muito Baixo, Baixo, Moderado, Alto e Muito Alto, e cujos valores numéricos foram definidos pelo mesmos especialistas, e encontra-se dentro do conjunto universo discurso $[0, 1]$, tal e como se apresenta na tabela 4.6.

Tabela 4.6: A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.

Variável Fuzzy	Valores Linguísticos	U. Discurso
P(risc)	MB(Muito Baixo), B(Baixo), M(Moderado), A(Alto), MA(Muito Alto)	$[0,1]$
I(risc)	MB(Muito Baixo), B(Baixo), M(Moderado), A(Alto), MA(Muito Alto)	$[0,1]$

A variável de saída (Risco) foi dividido em três valores linguísticos: Baixo, Moderado e Alto, conforme está apresentada na Matrix de riscos, e cujos valores numéricos encontra-se também dentro conjunto universo discurso $[0, 1]$ mostrados na tabela 4.7 e na figura 4.8.

Tabela 4.7: A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.

Variável Fuzzy	Valores Linguísticos	U. Discurso
R(risc)	B(Baixo), M(Moderado), A(Alto)	$[0,1]$

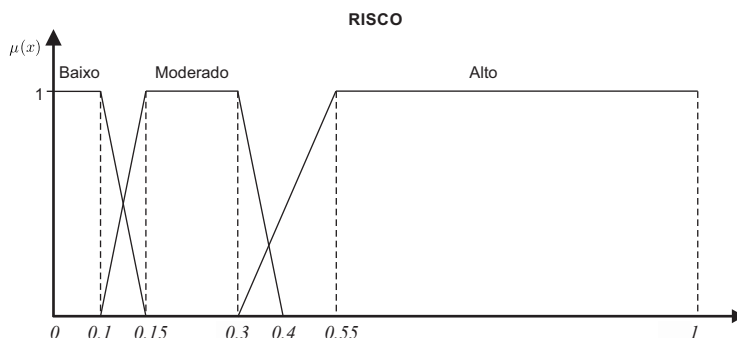


Figura 4.8: Funções de Pertinência da variável de saída Risco

As regras usadas para a modelagem de riscos, são construídas sobre a mesma lógica utilizada na matrix de riscos utilizando o mecanismo de inferência Mamdani. Por exemplo, umas das regras poderia ser as seguintes:

“SE a Probabilidade é Muito Baixo E o Impacto é Baixo ENTÃO o Risco é Baixo”, ou

“SE a Probabilidade é Alta e o Impacto é Moderado ENTÃO o Risco é Moderado”, ou

“SE a Probabilidade é Muito Alta e o Impacto é Alto ENTÃO o Risco é Alto”

Nota-se que o método utilizado consiste de um conjunto de regras, nada numérico, somente utilizando o raciocínio subjetivo que um especialista poderia recomendar ou prever. Este modelo pode ser aplicado para calcular o valor de qualquer risco apresentado no registro de riscos. Como cada entrada possui 5 valores linguístico, então o número regras das possíveis combinações seria novamente 25 para o raciocínio aplicado. A tabela 4.8 mostra todas as regras do sistema base.

Tabela 4.8: Base de Regras

Risco	Impacto					
	MB	B	M	A	MA	
Probabilidade	MB	B	B	B	M	M
	B	B	B	M	M	A
	M	B	M	M	A	A
	A	B	M	A	A	A
	MA	M	M	A	A	A

O processo de implicação é realizado quando as regras apropriadas fuzzy são ativados pelas entradas. Pode haver mais de uma regras ativada ao mesmo tempo. A combinação dos resultados da inferência é conduzida através do processo de saída. Finalmente, o processo é defuzzificado para converter o resultado em um valor crisp que seria o risco estimado. Para este caso, o método do centroide da área (COA) é usado comumente para desenvolvimento de sistemas expertos. O programa escolhido e utilizado para realizar nossos testes é o Matlab por sua facilidade rapidez com o ambiente fornecido.

Como seguinte passo, foram inseridos os valores de custo prazo de cada risco identificado como também a probabilidade de ocorrência. Deste modo, a pontuação do risco foi obtida através da combinação da probabilidade associada ao risco com o seu maior impacto considerado, tenha sido ele referente a custo e prazo. Os resultados dos riscos estão classificados segundo os valores calculados e são mostrados na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Primeiro resultados na estimação dos Riscos

Cod.	Nome do risco	Proba.	Impacto			Risco
			Custo (milhões)	Tempo (dias)	Total	
risc06	Instabilidade de profissionais	0.35	0.05	15	0.0441	0.0608
risc11	Atraso no pagamento	0.35	0.10	40	0.1500	0.0608
risc15	Interferências no trabalho	0.25	0.01	25	0.0387	0.0608
risc28	Falta de serviços	0.25	0.50	50	0.1500	0.0608
risc19	Políticas da empresa	0.15	0.01	30	0.1030	0.0649
risc04	Falta de pessoal	0.20	0.50	25	0.1300	0.0662
risc07	Brigas	0.20	0.01	5	0.0390	0.0662
risc08	Acidentes	0.40	0.50	10	0.0436	0.0662
risc27	Databook	0.40	1.00	25	0.1500	0.1850
risc12	Pressão de mercado	0.20	5.00	30	0.4390	0.2010
risc01	Queda de resíduos	0.80	0.51	30	0.1500	0.2390
risc18	Novas terceirizadas	0.60	1.00	30	0.1500	0.2390
risc20	Falhas no controle	0.45	2.00	35	0.3250	0.2390
risc21	Ineficiência na comunicação	0.80	1.00	50	0.1500	0.2390
risc24	Falhas na funcionalidade	0.30	4.00	65	0.5750	0.2390
risc26	Falhas de teste	0.35	3.00	50	0.3250	0.2390
risc29	Rescisão de contratos	0.55	1.50	65	0.4190	0.2390
risc30	Roubos	0.35	2.00	20	0.3250	0.2390
risc10	Baixa qualidade	0.40	2.50	30	0.3250	0.2440
risc14	Equipamentos deteriorados	0.35	4.00	60	0.4750	0.2440

Cod.	Nome do risco	Proba.	Impacto			Risco
			Custo (milhões)	Tempo (dias)	Total	
risc23	Baixo desempenho	0.30	2.00	60	0.4750	0.2440
risc25	Pouco material	0.60	4.00	45	0.458	0.3920
risc22	Fluxo de Caixa	0.40	6.00	45	0.5750	0.5620
risc03	Atraso no cronograma	0.80	4.00	50	0.4580	0.7020
risc02	Ineficiência na logística	0.70	3.00	35	0.3250	0.7110
risc05	Dilatação de prazos	0.70	3.00	20	0.3250	0.7110
risc09	Mudança de escopo	0.50	6.00	40	0.5750	0.7110
risc13	Estouro de orçamentos	0.80	7.00	25	0.3250	0.7110
risc16	Retrabalhos	0.70	6.00	80	0.5750	0.7110
risc17	Adoção de boas práticas	0.80			0.300	0.7110

Observe-se da tabela 4.9, dos trinta riscos, nove foram classificados como riscos baixos, dez como médios e onze como altos, conforme a escala de classificação apresentada na figura 2.3. Um passo seguinte seria detetar possíveis riscos que poderiam ser ou tornar-se uma oportunidades para o projeto como o caso do risco 17.

No momento de realizar a fuzzificação das variáveis, deve-se entender que existem inúmeras formas para poder representá-os, é dizer, utilizando diferentes tipos de funções de pertinências ou aumentando a quantidade de valores linguísticos para cada variável, está escolha dependerá de quanto rápido e fácil poderia ser implementado para o processo de avaliação.

Em nosso caso somente se utilizou funções de pertinência triangulares e trapezoidais, devido a sua rápida implementação prática e também pelo tipo de problema que estamos trabalhando. Portanto, para testar e obter outros resultados podemos definir novos valores linguísticos para a variável risco, por exemplo, observe-se a figura 4.9. Está forma ajuda ao especialista obter numa maior flexibilidade para avaliar suas decisões respeito ao julgamento de cada variável.

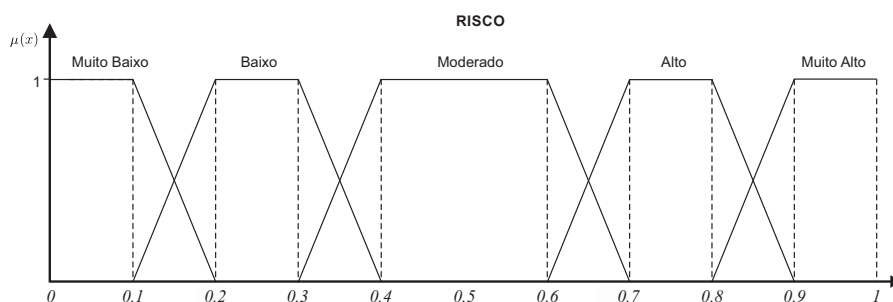


Figura 4.9: Funções de Pertinência da variável de saída Risco

Os novos valores linguísticos do Risco e as definições das novas regras para o raciocínio, são apresentadas na tabela 4.10 e 4.11, respectivamente.

Tabela 4.10: A forma Canônica para sistema baseado regras fuzzy.

Variável Fuzzy	Valores Linguísticos	U. Discurso
R(risc)	MB(Muito Baixo), B(Baixo), M(Moderado), A(Alto), MA(Muito Alto)	[0,1]

Tabela 4.11: Base de Regras

Risco	Impacto					
	MB	B	M	A	MA	
Probabilidade	MB	MB	B	B	M	M
	B	B	B	B	M	A
	M	B	B	M	A	A
	A	M	M	A	A	MA
	MA	M	A	A	MA	MA

Os novos resultados são obtido a partir dos mesmos cálculos e métodos aplicados no caso anterior. A tabela 4.12 mostra os riscos potenciais.

Tabela 4.12: Segundo resultados na estimação dos Riscos

Cod.	Nome do risco	Proba.	Impacto			Risco
			Custo (milhões)	Tempo (dias)	Total	
risc19	Políticas da empresa	0.15	0.01	30	0.1030	0.163
risc04	Falta de pessoal	0.20	0.50	25	0.1300	0.211
risc06	Instabilidade de profissionais	0.35	0.05	15	0.0441	0.250
risc11	Atraso no pagamento	0.35	0.10	40	0.1500	0.250
risc15	Interferências no trabalho	0.25	0.01	25	0.0387	0.250
risc28	Falta de serviços	0.25	0.50	50	0.1500	0.250
risc07	Brigas	0.20	0.01	5	0.0390	0.250
risc08	Acidentes	0.40	0.50	10	0.0436	0.250
risc27	Databook	0.40	1.00	25	0.1500	0.250
risc12	Pressão de mercado	0.20	5.00	30	0.4390	0.250

Cod.	Nome do risco	Proba.	Impacto			Risco
			Custo (milhões)	Tempo (dias)	Total	
risc18	Novas terceirizadas	0.60	1.00	30	0.1500	0.250
risc26	Falhas de teste	0.35	3.00	50	0.3250	0.250
risc30	Roubos	0.35	2.00	20	0.3250	0.250
risc10	Baixa qualidade	0.40	2.50	30	0.3250	0.400
risc14	Equipamentos deteriorados	0.35	4.00	60	0.4750	0.400
risc23	Baixo desempenho	0.30	2.00	60	0.4750	0.400
risc01	Queda de resíduos	0.80	0.51	30	0.1500	0.500
risc20	Falhas no controle	0.45	2.00	35	0.3250	0.500
risc21	Ineficiência na comunicação	0.80	1.00	50	0.1500	0.500
risc29	Rescisão de contratos	0.55	1.50	65	0.4190	0.500
risc25	Pouco material	0.60	4.00	45	0.458	0.500
risc24	Falhas na funcionalidade	0.30	4.00	65	0.5750	0.600
risc22	Fluxo de Caixa	0.40	6.00	45	0.5750	0.600
risc03	Atraso no cronograma	0.80	4.00	50	0.4580	0.750
risc02	Ineficiência na logística	0.70	3.00	35	0.3250	0.750
risc05	Dilatação de prazos	0.70	3.00	20	0.3250	0.750
risc09	Mudança de escopo	0.50	6.00	40	0.5750	0.750
risc13	Estouro de orçamentos	0.80	7.00	25	0.3250	0.750
risc16	Retrabalhos	0.70	6.00	80	0.5750	0.750
risc17	Adoção de boas práticas	0.80			0.300	0.750

Observa-se da tabela 4.12, os novos valores dos riscos obtido com a nova escala de representação mediante outros valores linguísticos. Como pode-se ver os riscos se classificam da mesma forma que no caso anterior. Porém como a escala mudou também a representação sobre os riscos baixos, moderados e altos mudam. A grande vantagem de fazer isto, esta relacionado com a forma de como o especialista abrange o rango de escolha para julgar e decidir, o mesmo poderia-se conseguir com matriz de riscos, mais não tem a mesma liberdade de escolha, pois o especialista somente se centraria na escala definida e as lacunas que existe em cada grau de riscos.

Para um maior entendimento, observa-se a figura 4.11, onde se mostra em 4.11.a a superfície que representa o impacto ou qual está relacionado com o custo e prazo. Em 4.11.b está a superfície que representa os graus de risco conforme a matriz de risco recomendada pelo PMBOK, aqui podemos observar vários saltos para cada grau de risco, obviamente estes saltos não são razoáveis. E em 4.11.c está a superfície da matriz fuzzy proposta neste trabalho para o primer resultado e observa-se uma melhor atenuação da superfície em 4.11.d.

Desta forma, os julgamentos são melhores representados sem ter a necessidade de dar grandes saltos para encontrar o grau aceitável para cada risco do projeto.

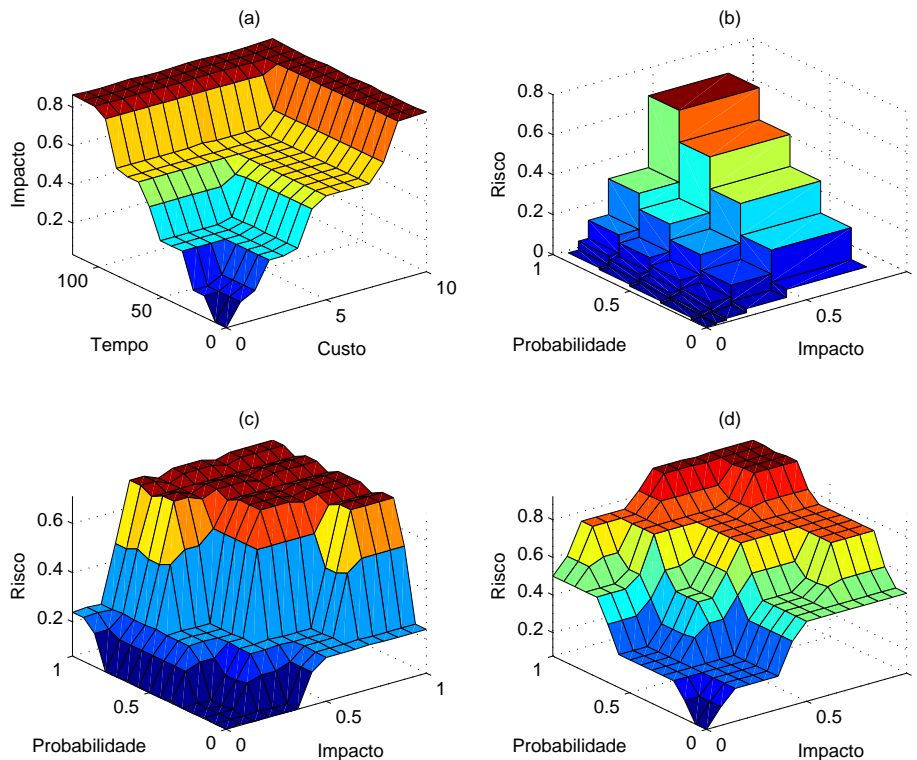


Figura 4.10: a)Superfície do Impacto. b)Superfícies da Matrix Risco. c)Superfície da Matrix Risco Fuzzy 1. d)Superfície da Matrix Risco Fuzzy 2.

É claro que os riscos têm outras características, além de probabilidade e impacto, e estes também podem ser avaliados e usados para priorizar riscos e dar maior atenção. Tais fatores podem incluir:

- O grau em que o risco pode ser gerido (gerenciabilidade);
- Seu potencial para afetar a organização mais ampla diretamente (afinidade);
- Quanto tempo o risco pode ocorrer (proximidade);
- O intervalo de tempo que pode ser possível para realizar a ação (urgência).

A matriz de probabilidade e impacto tradicional, não permitem que estes factores adicionais a serem utilizados na definição de prioridades de riscos. Portanto, foi necessário utilizar outra técnica adicional de representação, como

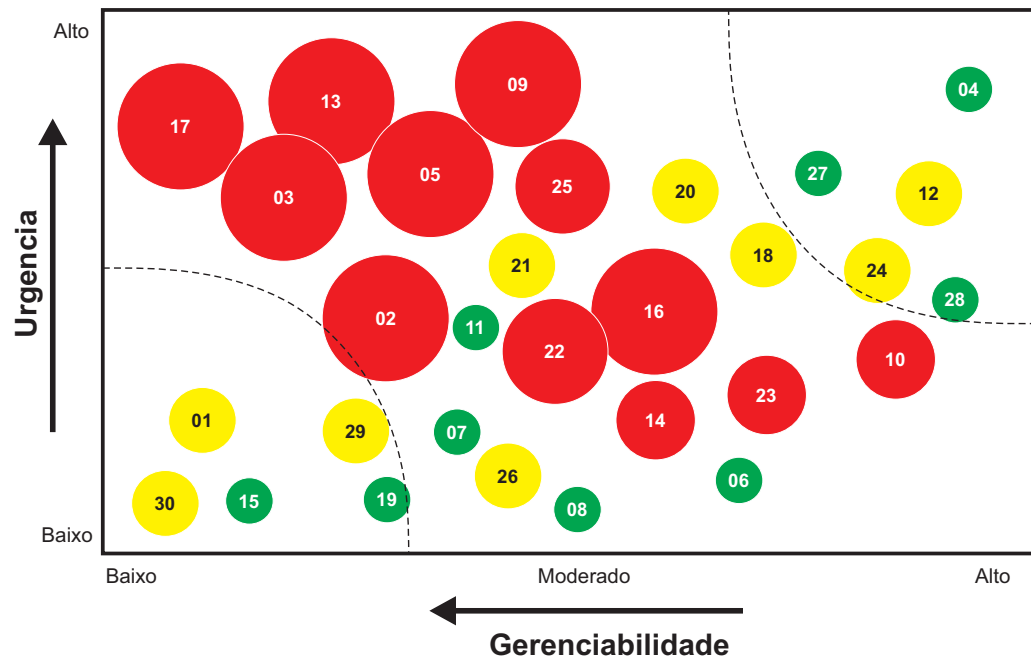


Figura 4.11: Digrama de Bolhas dos riscos

o diagrama de bolha que se mostra na figura 4.11. Aqui o tamanho das bolhas representam o grau de risco.

Segundo Hilsson [15], os riscos são aceitáveis se na zona inferior esquerda marcada com linhas tracejadas encontra-se bolhas pequenas é dizer riscos com valor de grau baixo. E os riscos não são aceitáveis se na zona superior direita encontra-se bolhas grandes, é dizer riscos com valor de grau alto. Portanto, estes riscos devem ser prestados com muita atenção.

4.4

Resposta aos Riscos

Para escolher uma estratégia de resposta para cada risco, devemos ter muito em conta a priorização dos riscos, de modo que o nível de resposta corresponde à importância do risco. Isto é, as estratégias de respostas mais agressivos (evitar) devem ser aplicados para os riscos mais altos, e os riscos de baixa prioridade devem ser aceitos. Porém, infelizmente a seleção de respostas é geralmente não tão simples, e existem muito fatores a ter em conta. Lembre-se na seção anterior que os riscos nem sempre estão baseados apenas em probabilidade e impacto, existem outros fatores de priorização como o gerenciamento, proximidade, afinidade e urgência. E para estes novos fatores existem especificamente outras respostas a ser considerado, tais como:

- Disponibilidade de recursos para lidar com os riscos (mobilização de recursos);

- Grau para o qual a probabilidade e ou impacto, podem ser modificadas (eficácia de risco);
- As respostas escolhidas vai introduzir novos riscos (riscos secundários);
- Custo provável de enfrentar o risco em relação a seu possível impacto (relação custo - eficácia).

Portanto, a seleção de uma resposta não é uma tarefa trivial. Várias opções devem ser analisadas a fim de escolher a resposta mais provável para poder atingir o resultado desejado. Todas as estratégias de escolha de respostas e ações devem estar documentadas no registro de riscos.

Nosso caso se desenvolveu um registro de respostas para os riscos identificados e classificados anteriormente, indicando as possíveis estratégias e ações a seguir, tal e qual se apresenta um fragmento do registro na tabela 4.13. As respostas de todos os riscos estão incluídas no Apêndice A.

Tabela 4.13: Fragmento do registro de respostas

Cod.	Nome do Risco	Estratégia	Resposta	Data Limite
risc01	Queda de resíduos.	Implantar um requisito indispensável para as empresas terceirizadas. Após de cada jornada diária de trabalho fazer a limpeza da zona do trabalho.	Transferir	Início do projeto
risc02	Ineficiência na logística.	Projetar um protocolo de coordenação que forneça um caminho direto, pulando as burocracias internas da empresa.	Mitigar	Início do projeto
risc03	Atraso no cronograma.	Reunião e supervisão a todos as empresas terceirizadas envolvidas no projeto, solicitando relatórios sobre o andamento do trabalho.	Mitigar	Todo o projeto
risc04	Falta de pessoal.	Realizar um previa avaliação técnica das empresas terceirizadas e trabalhadores antes de iniciar obras	Mitigar	Início do projeto
risc05	Dilatação de prazos	Utilizar tolerâncias de tempo, para o desenvolvimento do cronograma do projeto. Aplicar técnicas de simulação Monte Carlo para estimar possíveis datas de conclusão das atividades do projeto.	Mitigar	Início do projeto

Um factor importante que se levo em consideração no momento de desenvolver a estratégia de resposta, foi a transferência de responsabilidade pelo risco. Muitos das ações dos riscos foi dividida com os envolvidos no projeto e empresas externas. Isto facilita ao gestor para que no descuide o foco no planejamento inicial do projeto.

Finalmente, as respostas aos riscos devem ser tratadas como qualquer outra tarefa do projeto que tem de ser feito para que atingir o sucesso. Cada resposta de risco deve ser totalmente definido, com a duração, o orçamento, a exigência de recursos critérios de conclusão e assim por diante tal e como se desenvolveu neste trabalho.

4.5

Monitoramento e Controle dos Riscos

Para desenvolver o controle aos risco identificados no projeto, devem ser elaborados relatórios de controle em todo o ciclo de vida do projeto. A função principal destes relatórios é monitorar a implementação das respostas estratégicas para cada risco, obtendo assim uma informação de sua eficácia e novos riscos que podem surgir no decorrer do projeto.

Uma reavaliação dos riscos pode servir para desenvolver um melhor análise nossas respostas, se os riscos realmente foram evitados ou mitigados, é dizer se a a probabilidade de ocorrência diminuiu. Podemos usar varias ferramentas conforme o PMBOK recomenda (Auditorias das respostas a risco, revisões periódicas, analise do earned value, indicadores e técnicas de mesuração etc.). E muitas vezes os resultados pode gerar atualizações e ações no planejamento dos riscos.

A seguir apresenta-se na tabela 4.14, um modelo de documento para monitoras e controlar os riscos durante o ciclo de vida do projeto.

Tabela 4.14: Controle de Risco. Fonte Amaral [33].

Controle de Risco					
Cod.	Nome do risco	Proba.	Impa.	Categoria	Data
Descrição do problema:					
Ação:					
Contingência:					
Situação atual:					
Fase do Projeto:					
Responsável:					
Aberto por:					

5

Conclusões e Futuros Trabalhos

No trabalho se apresentou uma metodologia alternativa para desenvolver uma análise profunda na avaliação de riscos ou qual foi o objetivo principal, e pode-se perceber que a abordagem fuzzy utilizada, modelou eficientemente os fatores subjetivos de forma simples e flexível. Além disso, os conjuntos fuzzy permite a especialista fazer uma transição gradual de um estado a outro contornando essa limitação de um modelo que classifica em faixas vista na matriz de risco do PMBOK.

O modelo proposto utiliza um conjunto de valores e regras linguísticas que foram úteis para a representação subjetiva da probabilidade e impacto. Todo isto, dentro de um sistema fuzzy que classificava ao risco segundo a inferência pelo método de Mamdani. Se apresentou duas formas de modelar os riscos com a logica fuzzy, cuja diferença estava na definição do número de valores linguísticos para a variável risco. Dos resultados podemos observar que existe uma transição pequena entre os graus dos riscos ajudando assim, ao especialista obter uma melhor forma de julgamento. Portanto, como resultado final o sistema atendeu perfeitamente os requisitos necessários para classificar riscos, constituindo-se uma importante ferramenta para a tomada de decisão por parte dos interessados no projeto.

No entanto, percebe-se no caso do projeto real estudado, além de aplicar todos os processo para o gerenciamento de riscos segundo a metodologia do PMBOK, se utilizou ferramentas adicionais que ajudaram ao gestor, obter uma maior visualização do ambiente de risco existente no projeto. A utilização de mapas cognitivos ajudou a visualizar possíveis cenários que poderiam acontecer se os riscos se propagaram. Com gráfico de bolhas, o gestor sabe quais riscos são urgentes e gerenciáveis para assim encontrar melhores estratégias de respostas. Desta forma, o gestor obtém uma exemplo de como pode atuar no gerenciamento de riscos para outros projetos e quais ferramentas a utilizar, sabendo que não existe uma regra genérica a seguir e sim uma utilização de ferramentas conforme o tipo e escala do projeto o precise.

Por fim, espera-se que este trabalho seja útil e utilizado como um modelo inicial para futuros trabalhos que precisam aplicar avaliações de riscos já

seja em gerenciamentos de projetos ou em outros trabalhos que lidam com riscos, já que a metodologia empregada é muito aplicado para o campo de quantificação das incertezas. É também possível, trabalhar conjuntamente com outras técnicas para melhorar a tomada de decisão, por exemplo, no caso que necessitemos uma maior exactitude na priorização de riscos ou avaliar um os melhores projetos de um portfólio, podemos usar um híbrido entre a abordagem fuzzy no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [34], devido que nestes problemas também estaríamos lidando com incertezas em julgamentos sobre fatores subjetivos.

Referências Bibliográficas

- [1] AN M., BAKER C., Z. J.. **A fuzzy-logic based approach to quantitative risk modelling in the construction process.** World J Eng, vol. 1:p. 1 – 12, 2005.
- [2] WINCH, G.. **Managing construction projects: an information processing approach.** Blackwell Science, Oxford, 2002.
- [3] YAO-FENG C., HIROAKI, I.. **Fuzzy multiple criteria decision making approach to assess the project quality management in projec.** 17th International Conference in Knowlegde Based and Intelligent Information and Engineering Systems, vol.22:p. 928 – 936, 2013.
- [4] CARR V., T. J.. **A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system.** Advances in Engineering Software, vol.32:p. 847 – 857, 2013.
- [5] YANJUN Z., XIAOJUN L., Y. Z.. **Forecast for construction engineering risk based on fuzzy sets and systems theory.** International Conference on Risk and Engineering Mangagement (REM), vol.32:p. 156 – 161, 2011.
- [6] SADOULLAH E., SEYED M., H. S.. **Risk identification and assessment for build-operate-transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model.** Expert Systems with Applications, vol.37:p. 575 – 586, 2010.
- [7] KAVEN KHALILI D., S. S. N.. **A hybrid fuzzy multiple criteria group decision making approach for sustainable project selection.** Applied Soft Computing, vol.13:p. 339–352, 2013.
- [8] (PMI), P. M. I.. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK-Guide).** fifth Edition, Project Manager Institute, Inc, 2013.
- [9] HELTON, J.. **Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal.** Reliability Engineering and System Safety, vol. 42:p. 327 – 367, 1993.
- [10] OBERKAMPF W., HELTON J., J. C. W. S. F. S.. **Challege problems: uncertainty in system response given uncertain parameters.** Reliability Engineering and System Safety, vol. 85:p. 11 – 19, 2004.

- [11] FREY H.C., R. E.. **Evaluate uncertainties in advanced process technologies.** In: *Chemical Engineering Progress*, p. p. 63 – 70, 1992.
- [12] QUELCH J., C. I.. **Uncertainty representation and propagation in quantified risk assessment using fuzzy sets.** *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, vol. 6:p. 63 – 70, 1994.
- [13] ARUNRAJ N., M. J.. **A methodology for overall consequence modelling in chemical industries.** *Journal of Hazardous Materials* 169, vol. 1-3:p. 556 – 574, 2009.
- [14] ZONOUZ S.A., M. S.. **A fuzzy-monte carlo simulation approach for fault tree analysis.** In: *IEEE 52nd annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, p. p. 428 – 433, 2006.
- [15] HILLSON, D.. **Managing Risk in Project.** MPG Books Group, UK, 2009.
- [16] RITA, M.. **PMP Exam Prep.** RMC Publication, Inc, USA, 2013.
- [17] ZADEH LOFTI, A.. **Fuzzy sets.** *Information and Control.*, vol. 8:p. 338 – 353, 1965.
- [18] ZADEH LOFTI, A.. **The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. part i.** *Inf. Sci*, 8:p. 199 – 249, 1973.
- [19] YAGER, R. R.. **A characterization of the extension principle.** *Fuzzy Sets Syst.*, 18:p. 205 – 217, 1973.
- [20] ROSS TIMOTHY, J.. **Fuzzy Logic with Engineering Applications.** John Wiley, USA, 1995.
- [21] MICHEL, H.. **Applied Arithmetic Fuzzy: An introduction with Engineering Applications.** Springer, Germany, 2004.
- [22] GEORGE J., Y. B.. **Fuzzy Set and Fuzzy Logic: Theory and Applications.** Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- [23] DUBOIS D., P. H.. **Operations on fuzzy numbers.** *International Journal of Systems Science*, 9:p. 613 – 626, 1978.
- [24] DUBOIS D., P. H.. **Fuzzy real algebra: Some results.** *International Journal of Systems Science*, 2:p. 327 – 348, 1979.

- [25] HANSS, M.. **On the implementation of fuzzy arithmetical operations for engineering problems.** In Proc. of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, New York, USA, 99:p. 462 – 466, 1999.
- [26] HANSS M., W. K.. **Fuzzy arithmetical modeling and simulation of vibrating structures with uncertain parameters.** In Proc. of the International Conference on Noise and Vibration Engineering, (CD-ROM):p. 462 – 466, 1999.
- [27] MOORE, R. E.. **Intervalar Analysis.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1966.
- [28] KISTNER A., HANSS M., N. O.. **A refined parameter identification technique for complex process models.** In Proc. of the 10th Japanese-German Seminar on Nonlinear problem in Dynamical Systems, Theory and Applications, Ishikawa, Japan, 2002:p. 87 – 94, 1999.
- [29] AI-SHEHAB A., HUGHES R., W. G.. **Modelling risk in is/it project through causal and cognitive mapping.** The Electronic Journal of Information Systems Evaluation, Brighton UK, 8:p. 01 – 10, 2005.
- [30] BRYSON M., ACKERMANN F., F. C.. **Visible Thinking: Unlocking causal mapping for practical business results.** John Wiley and Sons, USA, 2004.
- [31] TSADIRAS A., M. K.. **Cognitive mapping and certainty neuron cognitive maps.** Information Sciences, 101:p. 109 – 130, 1997.
- [32] HUFF, A.. **Mapping Strategic Thought.** John Wiley and Sons, USA, 1990.
- [33] AMARAL, J. A.. **Modelos para gestão de projetos: como utilizar adequadamente conceitos, ferramentas e metodologias.** Scortecci, São Paulo, 2004.
- [34] CENGIZ, K.. **Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments.** Springer, USA, 2008.

A

Primeiro Apêndice

A.1

Riscos, Causas e Efeitos

Na tabela A.2, apresenta-se os 30 riscos potenciais identificados para o projeto, descrevendo suas causas e efeitos.

Tabela A.1: Registro de respostas ao Riscos

Cod.	Risco	Causas	Descrição	Efeitos
risc01	Resíduos	Desperdícios e resíduos criados na execução do projeto nas distintas zonas.	Aumento de resíduos industriais abandonados na zona de trabalho.	Contaminação da zona de trabalho, penalidades e multas por parte da prefeitura.
risc02	Logística	Dificuldade na mobilidade de equipamentos e materiais por parte das políticas interna do cliente.	Indisponibilidade dos materiais, equipamentos e instrumentos no tempo exato de realização das atividades.	Atraso nas atividades pela indisponibilidade dos equipamentos e materiais.
risc03	Cronograma	Incumprimento dos prazos nas atividades segundo cronograma do projeto.	Várias atividades com prazo definido no cronograma não cumpridas pelas empresas terceirizadas.	Geração de vários atrasos em atividades sequentes. Aumento dos custos.
risc04	Recursos Humanos	Escassez de mão de obra qualificada no lugar de trabalho.	Equipe não qualificado e competente para a execução eficiente de todas as atividades do projeto.	Trabalhos mal feitos ou mal executados em cada atividade do projeto.
risc05	Prazos	Problemas de envio dos materiais por parte dos fornecedores chaves no projeto.	Dilatação de prazos de entrega conforme combinado com os fornecedores externos e internos.	Atraso na execução do projeto por atividades paradas ou incompletas.
risc06	Profissionais	Salários baixos, outros lugares mais atrativos com melhores condições.	Instabilidade de permanência do staff de profissionais que estão principalmente envolvidos no projeto.	Maior gasto em salários e tempo para atrair novos profissionais.
risc07	Brigas	Mal entendimento e confusões entre trabalhadores da mesma empresa ou externas.	Criação de brigas durante o trabalho pelo pessoal interno ou externo.	Diminuição de trabalhadores por ser penalizados com expulsões. Aumento de agressões.
risc08	Acidentes	Falta de educação em prevenção e segurança do trabalho para o pessoal trabalhador.	Existência de perigos que podem ocasionar acidentes durante a execução do projeto.	Múltiplos acidentes e inclusive pode chegar em mortes etc.
risc09	Escopo	Requisitos mal definidos, algumas necessidades mal atendidas.	Alterações e mudanças do escopo durante o ciclo de vida do projeto.	Aumento dos prazos e custos por cada atividade adicional a ser realizado.
risc10	Qualidade	Atividades mal supervisadas, pouco acompanhamento aos procedimentos de controle de qualidade.	Baixa qualidade na entrega do produto ou serviço no término do projeto.	Não aceitação pelo cliente, indenizações, multas.
risc11	Pagamentos	Indisponibilidade de caixa para pagamentos no tempo combinado.	Atraso nos pagamentos das empresas e trabalhadores envolvidos no projeto.	Criação de greves sindicalistas, parada de obra etc.
risc12	Mercados	Variação de preços (aço, concreto, transporte, etc.) no mercado por parte de inflação, escassez de fornecedores.	Pressão do mercado referentes às variações dos preços nos materiais importantes para a execução do projeto.	Aumento dos custos na compra de equipamentos, materiais e instrumentos segundo o planejado.
risc13	Orçamentos	Erros devido ao mal cálculo, mala informação recolhida, pessoal inexperiente, etc.	Mal estimativa dos custos estourando o orçamento planejado.	Solicitação de aumento no investimento, cliente insatisfeito, etc.

Cod.	Risco	Causas	Descrição	Efeitos
risc14	Equipamentos	Mal uso dos equipamentos, baixo acompanhamento do manual de usuário, falta de manutenção.	Equipamentos e instrumentos deteriorados que São utilizados no projeto.	Indisponibilidades para desenvolvimento das atividades referentes ao projeto.
risc15	Interferências	Desconhecimento dos coordenadores, falta de informação, mala coordenação nas paradas de produção.	Diversas interferências na coordenação de trabalhos feitos na zona de trabalho.	Atividades paradas, perda da produtividade, problemas na produção, entre outros.
risc16	Retrabalhos	Mala supervisão e acompanhamento no momento de executar os trabalhos.	Atividades a ser desenvolvidas novamente.	Atraso dos prazos estabelecidos, penalidade a empresas terceirizadas, problemas legais.
risc17	Boas Práticas	Informações e consultorias de especialistas, treinamento da equipe.	Adoção de boas práticas em gerenciamento através de projetos desenvolvidos anteriormente.	Melhorias no gerenciamento, entregas com qualidade, custos e tempos controlados.
risc18	Terceirizadas	Empresas terceirizadas atrasadas em suas atividades, falta de eficiência e rapidez em seus serviços.	Contratação de novas empresas terceirizadas para o projeto.	Aumento de tempo nas atividades, elevação dos custos, problemas legais com os terceirizados.
risc19	Regulamentos Internos	Falta de educação sobre os regulamentos e normas internas do cliente para as empresas terceirizadas.	Problemas com empresas terceirizadas ao submeter as políticas internas do cliente.	Origem de discussões, mala coordenação, atividades paradas.
risc20	Controle	Chegada tardia das informações sobre os problemas, mal implementação dos planos de ação.	Monitoramento e Controle ineficiente na execução do projeto.	Mala execução das atividades, problemas não solucionados, grande desfase na curva S do projeto.
risc21	Comunicação	Erros no planejamento da comunicação, procedimentos e acompanhamentos deficientes, falta de relatórios.	Mala gestão das comunicações nas atividades do projeto.	Trabalhos mal feitos, problemas não atendidos, informações de avanços errados.
risc22	Fluxo de caixa	Mala estimação de custos, orçamento saturado, muitas aquisições em períodos curtos de tempo.	Fluxo de caixa negativo originando indisponibilidade financeira.	Caixa disponível para financiar o projeto, necessidade de prestamos.
risc23	Desempenho	Mala alocação dos recursos em cada atividade, problemas familiares, poupanças de contratação de pessoas.	Falta de desempenho na execução das atividades, na supervisão.	Atraso dos prazos estabelecidos, ausência de relatórios.
risc24	Funcionalidade	Mala supervisão e acompanhamento, falta de informação e conhecimentos.	Mal funcionalidade dos subprodutos feitos em cada atividade do projeto.	Diminuição da qualidade do serviço, clientes insatisfeitos, penalidades.
risc25	Quantidade	Mala estimação das quantidades de materiais necessárias para a execução do projeto, utilizando em outras tarefas não planejadas	Baixa quantidade de material para desenvolver as atividades do projeto.	Aumento dos custos, novos planejamentos para aquisições, atividades em espera.
risc26	Testes	Erros no plano de testes, falta de acompanhamento e aplicação das rotinas estabelecidas.	Erros no teste para partida da fábrica.	Insucesso do projeto, produção não atinge os objetivos, clientes insatisfeitos.
risc27	Databook	Falta de emissão de relatório por atividade concluinte, informações básicas não tomadas em conta.	Documentação incompleta relacionada a todas atividades que foram desenvolvidas.	Cientes insatisfeitos, atividades pendentes, trabalhos sem informação.
risc28	Serviços	Falta de revisão nos contratos com os fornecedores de serviços, pagamentos não cumpridos.	Falta de serviços indispensáveis como água, luz, internet, etc.	Atraso das informações por falta de internet, luz, atraso das obras, da produção, etc.
risc29	Contratos	Incumprimento de empresas terceirizadas e fornecedores do contrato estabelecido.	Rescisão de contratos, por incumprimento.	Criação de novos contratos, despesas de tempos para procura e realização de novos contratos.
risc30	Patrimônios	Pessoal inescrupulosas poderia realizar roubos de instrumentos, materiais etc.	Perda de instrumentos e materiais patrimônios da empresa dos clientes.	Reposição financeira da perda, elevação de custos problemas legais, etc.

A.2 Estratégia e Respostas ao Risco

Tabela A.2: Fragmento dos resultados na estimação dos Riscos

Cod.	Nome do Risco	Estratégia	Resposta	Data Limite
risc01	Queda de resíduos.	Implantar um requisito indispensável para as empresas terceirizadas. Após de cada jornada diária de trabalho fazer a limpeza da zona do trabalho.	Transferir	Início do projeto
risc02	Ineficiência na logística.	Projetar um protocolo de coordenação que forneça um caminho direto, pulando as burocracias internas da empresa.	Mitigar	Início do projeto
risc03	Atraso no cronograma.	Reunião e supervisão a todos as empresas terceirizadas envolvidas no projeto, solicitando relatórios sobre o andamento do trabalho.	Mitigar	Todo o projeto
risc04	Falta de pessoal.	Realizar um previa avaliação técnica das empresas terceirizadas e trabalhadores antes de iniciar obras	Mitigar	Início do projeto
risc05	Dilatação de prazos	Utilizar tolerâncias de tempo, para o desenvolvimento do cronograma do projeto. Aplicar técnicas de simulação Monte Carlo para estimar possíveis datas de conclusão das atividades do projeto.	Mitigar	Início do projeto
risc06	Instabilidade de profissionais	Fornecer bonus para profissionais que interagem eficientemente com seu trabalho no projeto.	Mitigar	Início do projeto
risc07	Brigas	Informar os regulamentos de trabalho ao envolvidos e possíveis penalidades e multas ocasionadas por brigas durante o trabalho.	Mitigar	Início do projeto
risc08	Acidentes	Obrigar as empresas terceirizadas a contratar um pessoal encarregado da segurança no trabalho. Para que assim mediante palestras e supervisões controle possíveis acidentes.	Transferir	Início do projeto
risc09	Mudança no escopo	Estabelecer um escopo fixo sem mudanças definido no contrato do projeto. No caso de tiver algo mais a fazer o cliente se responsabiliza pelos aumentos ao projeto.	Evitar	Início do Projeto
risc10	Baixa qualidade	Desenvolver todo um plano para controlar a qualidade no desenvolvimento de cada atividade do projeto. Este plano inclui vários procedimentos de trabalhos nas distintas areas de aplicação.	Mitigar	Todo o projeto
risc11	Atraso no pagamento	Criar um plano de contingência para possíveis atrasos. Este plano somente será utilizado se acontecer o risco.	Aceitar	Início do projeto
risc12	Pressão de mercado	Criar planos de contingencia para possíveis mudanças de preços dos materiais indispensáveis para o projeto. Este plano somente sera utilizado se acontecer o risco.	Aceitar	Início do projeto
risc13	Estouro do orçamento	Criar planos de contingência para custos difíceis de ser estimado durante o desenvolvimento dos orçamentos. Este plano somente sera utilizado se acontecer o risco.	Aceitar	Início do projeto
risc14	Equipamentos deteriorados	Projetar um plano de manutenção preventiva, preditivo e corretiva para obter a maior disponibilidade dos equipamentos durante a obra.	Mitigar	Todo o projeto
risc15	Interferências no trabalho	Projetar um plano de coordenação para que as empresas não se atrapalhem ao momento de desenvolver suas atividades.	Mitigar	Todo o projeto
risc16	Retrabalhos	Contratar uma empresa especialista em supervisão, responsável pelas atividades terminadas conforme esta estipulado no escopo do projeto.	Transferir	Todo o projeto
risc17	Adoção de boas práticas	Adotar as boas práticas de gerenciamento de projetos feitos em projetos anteriores, recomendações de especialistas, e fornecer treinamento constante a equipe do projeto.	Explorar	Todo o projeto
ris18	Novas empresas terceirizadas	Realizar uma exaustiva e rígida avaliação das empresa terceirizadas no momento de sua contratação. Esta avaliação abrange a experiencia, capital fiador e seu conhecimento técnico.	Evitar	Todo o projeto

Cod.	Nome do Risco	Estratégia	Resposta	Data Limite
risc19	Políticas da empresa	Realizar uma palestra para todos os envolvidos no projeto que são externos à empresa, para informar os regulamentos internos da empresa, normas e sua cultura organizacional.	Aceitar	Início do projeto
risc20	Falhas no controle	Realizar um acompanhamento exaustivo de rotinas de monitoramento e controle nas atividades, solicitando relatórios sobre os resultados da implementação dos planos de ação.	Mitigar	Todo o projeto
risc21	Ineficiência na comunicação	Desenvolver canais de comunicação abrangentes e de fácil disponibilidade para as empresas terceirizadas.	Mitigar	Todo o projeto
risc22	Fluxo de caixa	Disponer de um plano de contingencia para possíveis fluxo de caixa negativas durante a execução do projeto. Este plano somente sera utilizado se acontecer o risco.	Aceitar	Todo o projeto
risc23	Baixo desempenho	Identificar as atividades chaves do projeto para alocar os recursos com ampla experiencia em execução de projetos.	Mitigar	Todo o projeto
risc24	Falhas na funcionalidade	Realizar ensaios repetidamente para atingir a estabilidade de seu funcionamento.	Mitigar	Todo o projeto
risc25	Pouco material	Aquirir uma quantidade material excedente ao estimado para cobrir os possíveis desperdícios que são ocasionados na execução das obras.	Aceitar	Início do projeto
risc26	Falhas de teste	Monitorar o funcionamento dos equipamentos antes e após de sua instalação na fabrica.	Mitigar	Todo o projeto
risc27	Databook	Estabelecer um cronograma de reuniões e entrega de relatórios com todas as empresas terceirizadas a fim de obter sempre atualizado o databook do projeto.	Mitigar	Todo o projeto
risc28	Falta de serviços	Contratar uma empresa que este encarregada dos trabalhos específicos para que os serviços estejam sempre disponíveis na zona de trabalho.	Transferir	Todo o projeto
risc29	Rescisão de contratos	Realização de contratos legais para as empresas terceirizadas, estipulando possíveis penalidades, multas e rescisão de contratos ao incumprimento das atividades conforme estipulado no contrato.	Mitigar	Todo o projeto
risc30	Roubos	Contratar uma empresa de segurança para que seja responsável de possíveis roubos que poderiam acontecer durante a execução da obra.	Transferir	Todo o projeto