



**MODELO PARA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE RISCO FUZZY EM PROJETOS
COMPLEXOS – COPPE-MARF**

Bruno Otávio Menezes da Luz

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza
Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Rio de Janeiro
Março de 2021

**MODELO PARA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE RISCO FUZZY EM PROJETOS
COMPLEXOS – COPPE-MARF**

Bruno Otávio Menezes da Luz

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Aprovada por: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Dória

Dr. Mario Cesar Mello Massa de Campos

Prof. Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2021

Luz, Bruno Otávio Menezes da

Modelo para Aplicação De Análise De Risco Fuzzy Em Projetos Complexos – COPPE-MARF / Bruno Otávio Menezes da Luz – Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 2021.

XVI, 205p.: il.; 29,7 cm

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Claudio Henrique dos Santos Grecco

Tese (Doutorado) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia de Produção, 2021.

Referências Bibliográficas: 144 – 155.

1. Análise de Risco 2. Lógica Fuzzy 3. Gerenciamento de Projeto. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ricardo (*in memoriam*) e Célia, a quem devo tudo e agradeço por tudo.

“Livres são aqueles que criam, não copiam, e livres são aqueles que pensam, não obedecem. Ensinar, é ensinar a duvidar.”

(Eduardo Galeano)

AGRADECIMENTOS

Uma pesquisa de doutorado por si só e somente ela não é simples. Conciliar com trabalho, família, esporte, amigos se torna uma missão complexa. Assim sendo, agradeço a todas as pessoas que tornaram possível concretizar essa missão, esse sonho. Seria indecoroso nomear uma ou outra.

Agradeço a Deus e aos momentos que passei, que me motivaram a continuar ou que me desafiam a desistir.

Agradeço as pessoas com as quais lidei e que me inspiraram a pensar, questionar, argumentar, descobrir. Aquelas que mesmo sem querer ou saber desencorajaram e me mostraram o tamanho do foco e determinação que todos podemos ter quando desejamos verdadeiramente um objetivo.

Sem sacrifício não há vitória.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

**MODELO PARA APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE RISCO FUZZY EM PROJETOS
COMPLEXOS – COPPE-MARF**

Bruno Otávio Menezes da Luz

Março/2021

Orientadores: Carlos Alberto Nunes Cosenza
Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Programa: Engenharia de Produção

A análise de risco de projetos de investimentos aplicada na maioria das empresas se utiliza da metodologia apresentada no PMBOK – *Project Management Body of knowledge*. Essa metodologia preconiza a realização do processo de análise de risco em seis grandes etapas. A Lógica Fuzzy nos traz a possibilidade de traduzir de forma mais fiel o raciocínio e opiniões humanas, insumo principal das análises, considerando toda sua subjetividade, incerteza, ambiguidade, contradições. A Lógica Fuzzy oferece consideráveis melhorias a respeito de sua aplicabilidade no processo de Análise de Risco de Projetos. O presente trabalho propõe um modelo mais assertivo de análise de risco de prazo com a utilização do ferramental da Lógica Fuzzy. O modelo é um avanço na maneira tradicional como a grande parte das empresas realizam essa rotina, já que considera diversas variáveis importantes desprezadas no modelo tradicional. O modelo se limita a avaliar a variável prazo de projeto, desconsiderando outras importantes tais como custo e qualidade. Esse modelo foi aplicado em um grande projeto de construção, montagem e comissionamento até a fase de operação de uma Unidade de produção FPSO e não foram encontrados na literatura modelos em que tais conceitos e particularidades são aplicadas na indústria offshore. Foi desenvolvido um sistema automatizado para auxiliar o analista de risco e equipe de projeto a executar o modelo proposto, o qual será exposto ao longo dessa Tese. Os resultados obtidos, se mostraram mais assertivos se comparados ao modelo tradicional.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

MODEL FOR FUZZY RISK ANALYSIS APPLICATION IN COMPLEX PROJECTS
– COPPE-MARF

Bruno Otávio Menezes da Luz

March/2021

Advisors: Carlos Alberto Nunes Cosenza
 Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Department: Production Engineering

Project risk analysis applied in the majority of companies uses the PMBOK Methodology - Project Management Body of Knowledge. This methodology presupposes the realization of risk analysis process comprising in 6 phases. Fuzzy logic brings us the possibility of translating in a more faithful way the human reasoning, considering all subjectivity, uncertainty, ambiguity, contradictions. Fuzzy Logic reward us with important perceptions about the applicability in Project Risk Analysis. The present work proposes a more assertive risk analysis model using fuzzy tools. The model is an advance in traditional way considering how it is performed in most companies, since it considers a sort of important variables despised in traditional model. This model is limited by the project schedule variable not considering other important ones such as quality e cost. This model was applied in big construction, assembly and commissioning until the operational phase of a FPSO Unit and it was not found in literature similar models with this particularities applied in the offshore industry. An automated system was developed to help risk analyst and project team to execute the proposed model, which will be explained in this work. The results have been proved to be more accurate than those in traditional model.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Apresentação do Tema.....	1
1.2.	Relevância do Tema.....	3
1.3.	Objetivo da Pesquisa.....	6
1.4.	Hipótese	9
1.5.	Metodologia e filosofia de pesquisa	9
1.6.	Estrutura da Tese	11
2.	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1.	O setor Offshore e seus projetos	13
2.1.1.	Breve histórico da indústria naval no Brasil	13
2.1.2.	A indústria offshore.....	19
2.2.	Gerenciamento de Projeto.....	23
2.2.1.	Organizações orientadas por projetos	28
2.3.	Megaprojetos e Projetos complexos	29
2.4.	Gerenciamento de Risco de Projeto.....	38
2.4.1.	A metodologia aplicada em grande parte das empresas.....	40
2.4.2.	O planejamento em ondas e a análise de risco	47
2.4.3.	Advanced Work Packaging (AWP) e o Workface planning (WFP). 48	
2.4.4.	Variáveis de entrada e saída do modelo de Gerenciamento de risco tradicional	50
2.5.	Lógica Fuzzy.....	51
2.5.1.	Fuzzificação e Defuzificação	55
2.5.2.	Possibilidade, Vagueza e Imprecisão	57

2.5.3.	Modelo Básico Fuzzy.....	62
2.5.4.	A Lógica Fuzzy e suas aplicações.....	64
2.5.5.	Tomada de decisão com informações Fuzzy.....	65
2.6.	Vieses cognitivos e modelos comportamentais	69
2.7.	Consenso e Lógica Fuzzy	75
2.8.	A Lógica Fuzzy e o Gerenciamento de Risco.....	76
2.8.1.	Técnicas de Simulação em Projetos de Construção	77
2.8.2.	O uso das variáveis linguísticas na Análise de risco.....	81
3.	ANÁLISE DO PROCESSO TRADICIONAL.....	84
3.1.	Coleta de dados e entrevista com gestores.....	84
4.	MODELO DE ANÁLISE DE RISCO FUZZY - COPPE-MARF.....	87
4.1.	Sobre a modelagem – Modelos de pensamento.....	87
4.2.	Ferramentas computacionais.....	90
4.3.	O Modelo	90
4.3.1.	Seleção dos Especialistas	94
4.3.2.	Definição dos termos linguísticos, Números Fuzzy e funções de pertinência de Probabilidade e Impacto dos Riscos - Fuzzificação	95
4.3.3.	Coleta dos dados junto aos especialistas	99
4.3.4.	Determinação do peso dos especialistas.....	99
4.3.5.	Consolidação dos dados coletados dos especialistas.....	100
4.3.5.1.	Consolidado da Probabilidade e impacto de cada risco	100
4.3.5.2.	Cálculo do grau de consenso entre as opiniões	101
4.3.5.3.	Elaboração da Matriz de consenso	103
4.3.5.4.	Cálculo do consenso relativo.....	104
4.3.5.5.	Cálculo do Grau de consenso relativo	104
4.3.5.6.	Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas	105
4.3.5.7.	Determinação do Valor Fuzzy agregado para Probabilidade e Impacto de cada Risco	105

4.3.5.8. Cálculo dos Graus de Importância da Probabilidade (GIP), Impacto (GII) e Risco (GIR).....	106
4.3.6. Defuzzificação para definição da Severidade do Risco	107
4.3.7. Regras de inferência.....	108
4.3.8. Cálculo do Risco Total do Projeto	110
5. LOCAL DA APLICAÇÃO DO MODELO.....	111
5.1. O processo produtivo em uma FPSO.....	111
5.2. Projeto para Exploração & Produção de Óleo e Gás	115
6. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	118
6.1. Seleção dos Especialistas.....	118
6.2. Termos linguísticos e Números Fuzzy utilizados	119
6.3. Coleta das opiniões e perfil dos especialistas	120
6.4. Determinação do Peso do Especialista	122
6.5. Consolidação dos Dados coletados.....	123
6.5.1. Consolidado da Probabilidade e impacto de cada risco	123
6.5.2. Cálculo do grau de consenso entre as opiniões	124
6.5.3. Elaboração da Matriz de Consenso	126
6.5.4. Cálculo do Consenso Relativo	126
6.5.5. Cálculo do Grau de Consenso Relativo.....	128
6.5.6. Cálculo do Coeficiente de Consenso dos Especialistas	129
6.5.7. Determinação do Valor Fuzzy agregado para Probabilidade e Impacto de cada risco	131
6.5.8. Cálculo dos Graus de Importância da Probabilidade (GIP), Impacto (GII) e Risco (GIR).....	133
6.6. Defuzzificação	133
6.7. Regras de inferência.....	136
6.8. Cálculo do Risco Total do Projeto.....	136

6.9. Comparação dos resultados do Modelo tradicional com o modelo proposto	138
7. CONCLUSÃO	140
7.1. Síntese dos Resultados da Pesquisa	141
7.2. Limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros	142
REFERÊNCIAS	144
APÊNDICE I – Lógica Fuzzy	156
APÊNDICE II – Gerenciamento de Projeto	193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição regional de produção e consumo de petróleo (Fonte: MENDES, et al 2018)	18
Figura 2 - Cadeia do setor de petróleo e gás natural (IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo)	22
Figura 3 - Participação do valor agregado do setor petróleo e Petrobras no PIBpm brasileiro (%), 1955 – 2003 ((ARAGÃO, 2005)).....	23
Figura 4 - Megaprojetos entre todos os projetos (Fonte: ZIDANE; JOHANSEN; EKAMBARAM, 2013)	30
Figura 5 – Objetivo do Gerenciamento de Risco (HULETT, 2011)	40
Figura 6 – Matriz Probabilidade x Impacto (Fonte: O Autor).....	42
Figura 7 - Tabela de Probabilidade e Impactos (Fonte: O Autor)	42
Figura 8 - Planilha Análise Qualitativa (Fonte: O Autor)	43
Figura 9 - Tabela com range de variação para teste de estresse (Fonte: O Autor).....	43
Figura 10 - Gráfico de distribuição de probabilidade da data de término de um projeto (Fonte: O Autor)	45
Figura 11 - Gráfico de Tornado (Fonte: O Autor).....	45
Figura 12-Processo do Planejamento em Ondas (Fonte: O Autor)	48
Figura 13 - Entradas e saídas da análise de risco qualitativa no modelo tradicional (Fonte: O Autor).....	50
Figura 14 - Entradas e saídas da análise de risco quantitativa no modelo tradicional (Fonte: O Autor)	50
Figura 15 - Precisão X Significância no mundo real. (Fonte: Adaptado de (SIVANANDAM; SUMATHI; DEEPA, 2007)).....	54
Figura 16 - Sistema Fuzzy (SHANG; HOSSEN, 2013).....	63
Figura 17 - Matriz de preferência Tipo I (ROSS, 2010)	68
Figura 18 - Matriz de preferência Tipo II (ROSS, 2010)	68
Figura 19- Matriz de preferência Tipo 3 (ROSS, 2010).....	69
Figura 20 - Descrição da probabilidade (Fonte: O Autor)	82
Figura 21 - Descrição de probabilidade com ranges (Fonte: O Autor)	83
Figura 22 - Dois tipos de incerteza (Fonte: O Autor).....	89
Figura 23 - Etapas do Modelo COPPE-MARF (Fonte: O Autor)	94

Figura 24 - Número Fuzzy caracterizando propensão ao risco (Fonte: Autor)	96
Figura 25 - Número Fuzzy caracterizando aversão ao risco (Fonte: Autor)	96
Figura 26 - Variáveis e termos linguísticos (Fonte: Autor).....	98
Figura 27 - Gráfico das Funções de Pertinência associadas às variáveis linguísticas (Fonte: Autor).....	98
Figura 28 - Área de interseção entre duas opiniões de especialistas (Fonte: O Autor) 102	
Figura 29 - Área de união entre duas opiniões de especialistas (Fonte: O Autor) 102	
Figura 30 - Defuzzificação pela distância euclidiana (Fonte: O autor)..... 107	
Figura 31 - Matriz de Probabilidade X Impacto (Fonte: O Autor)..... 108	
Figura 32- Processo simplificado produção de óleo e gás (O Autor)..... 115	
Figura 33 - Arranjo submarino típico para Produção de Óleo e gás (Fonte: www.marinelink.com) 116	
Figura 34 - Divisão dos escopos dos grupos de trabalho em projeto de Produção Offshore (Fonte: O Autor) 116	
Figura 35 - Conjuntos Fuzzy e seus termos linguísticos para Probabilidade dos Riscos (Fonte: O Autor) 120	
Figura 36 - Conjuntos Fuzzy e seus termos linguísticos para Impacto dos Riscos (Fonte: O Autor)..... 120	
Figura 37- Questionário de Perfil utilizado na análise (Fonte: O Autor) 121	
Figura 38- Template para identificação e qualificação do risco pelo especialista (descrições dos riscos confidenciais) (Fonte: O Autor)..... 121	
Figura 39 - Gráfico com o Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor) 122	
Figura 40 - Representação gráfica da Função de pertinência do número fuzzy agregado da probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)..... 131	
Figura 41 - Entradas e saídas do COPPE-MARF (Fonte: O Autor)..... 142	
Figura 42 - Princípio de Morgan ($A \cap B$) (Fonte: ROSS, 2010 Adaptado)..... 158	
Figura 43 - Princípio de Morgan ($A \cup B$) (Fonte: ROSS, 2010 Adaptado)..... 158	
Figura 44 - Representação de Conjunto Crisp (elemento a) e Conjunto Fuzzy (elemento b) (Fonte: (ROSS, 2010)) 160	
Figura 45 - Função de pertencimento para o conjunto Fuzzy A (Fonte: (ROSS, 2010)) 161	
Figura 46 - União dos conjuntos Fuzzy A e B (Fonte: (ROSS, 2010))..... 162	
Figura 47 - Interseção dos conjuntos Fuzzy A e B (Fonte: (ROSS, 2010)) 162	
Figura 48 - Complemento do conjunto Fuzzy A (Fonte (ROSS, 2010))..... 162	

Figura 49 - Representação 3D de uma relação de equivalência (ROSS, 2010)	171
Figura 50 - Contornos bidimensionais da relação de tolerância \tilde{R}_1^2 (a) e da relação de equivalência \tilde{R}_1^3 (b) (ROSS, 2010).....	171
Figura 51 - Núcleo, suporte e limites de um conjunto Fuzzy (ROSS, 2010).....	172
Figura 52 - Conjuntos Fuzzy normais (a) e conjuntos Fuzzy subnormais (b) (Fonte: ROSS, 2010).....	174
Figura 53 - Conjunto Fuzzy normal convexo (a) e conjunto Fuzzy normal não convexo (b). (Fonte: ROSS, 2010).....	174
Figura 54 - A interseção de dois conjuntos Fuzzy convexos produz um conjunto Fuzzy convexo (Fonte: ROSS, 2010).....	174
Figura 55 - Uma função de pertencimento com valor de intervalo (Fonte: ROSS, 2010)	176
Figura 56 - Função de pertencimento que representa imprecisão na	177
Figura 57 - Comparações de conjuntos Fuzzy e leituras Crisp ou leituras Fuzzy: (a) conjuntos Fuzzy e leitura Crisp; (b) conjunto Fuzzy e leitura Fuzzy (Fonte: ROSS, 1995)	177
Figura 58 - Dois conjuntos diferentes de λ -cut para um conjunto Fuzzy de valor contínuo (Fonte: ROSS, 2010)	178
Figura 59 - A forma canônica para um sistema baseado em regras Fuzzy (Fonte: ROSS, 2010).....	184
Figura 60 - Relação Fuzzy entre notas de um paper e critérios adotados (Fonte: ROSS, 2010).....	188
Figura 61 - Funções de densidade para duas variáveis aleatórias Gaussiana (Fonte: ROSS, 2010).....	190
Figura 62 - Dois números Fuzzy como conjuntos Fuzzy na linha real (Fonte: ROSS, 2010)	191

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Trabalhos científicos publicados sobre Lógica Fuzzy e Gerenciamento de Risco (Fonte: O Autor)	5
Tabela 2-Subprodutos indústria do petróleo - (Fonte: O Autor)	17
Tabela 3- Limiares para falhas em megaprojetos (MERROW, 2011)	24
Tabela 4- Maiores projetos em execução 2017 (https://www.visualcapitalist.com/worlds-largest-megaprojects/)	25
Tabela 5-Principais causas de falha em projetos (SYMONDS, 2011b).....	28
Tabela 6 - A tabela representa as características e elementos de megaprojetos ((ZIDANE; JOHANSEN; EKAMBARAM, 2013).....	30
Tabela 7 - Categorias e indicadores de projetos complexos (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 2017)	37
Tabela 8 - Tipos de Incerteza - Gaines, 1975	61
Tabela 9 - Números Fuzzy para os termos linguísticos (Fonte: Autor).....	98
Tabela 10 - Questionário Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor)	100
Tabela 11 - Exemplo de matriz consolidadora das opiniões dos especialistas (Fonte: O Autor)	101
Tabela 12 - Valores de interseção entre áreas utilizadas no modelo (Fonte: O Autor) 103	103
Tabela 13 - Valores de união entre áreas utilizadas no modelo (Fonte: O Autor) 103	103
Tabela 14 - Descrição das regras de defuzzificação para tratamento dos riscos (Fonte: O Autor)	109
Tabela 15 - Sistema de Inferência Fuzzy (Fonte: O Autor)	110
Tabela 16 - Determinação do Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor).....	122
Tabela 17 - Consolidado das opiniões dos especialistas com relação a probabilidade dos eventos de risco (Fonte: O Autor)	123
Tabela 18 - Consolidado das opiniões dos especialistas com relação ao impacto dos eventos de risco (Fonte: O Autor)	123
Tabela 19 - Termos linguísticos usados para atribuição da probabilidade do Risco 1 (R01) (Fonte: O Autor)	124
Tabela 20 - Interseção das áreas das opiniões dos especialistas para a probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor).....	125

Tabela 21 – União das áreas das opiniões dos especialistas para a prob. do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)	125
Tabela 22 - Matriz de Consenso para a probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)	126
Tabela 23 - Valores de consenso relativo (CR) referente a probabilidade dos riscos (Fonte: O Autor).....	127
Tabela 24 - Valores de consenso relativo (CR) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)	127
Tabela 25 - Valores do grau de consenso relativo (GCR) referente a probabilidade dos riscos (Fonte: O Autor).....	128
Tabela 26 - Valores do grau de consenso relativo (GCR) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)	129
Tabela 27 - Valores do Coeficiente de Consenso dos Especialistas (CCE) referente a probabilidade dos riscos (Fonte: O Autor)	130
Tabela 28 - Valores do Coeficiente de Consenso dos Especialistas (CCE) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)	130
Tabela 29 – Números Fuzzy para a Probabilidade de ocorrência dos Riscos (Fonte: O Autor)	132
Tabela 30 – Números Fuzzy para Impacto dos Riscos (Fonte: O Autor).....	132
Tabela 31 - Defuzzificação dos números fuzzy de Probabilidade (Fonte: O Autor) ...	134
Tabela 32 - Defuzzificação dos números fuzzy de Impacto (Fonte: O Autor).....	135
Tabela 33 - Defuzzificação dos números fuzzy para Severidade dos Riscos (Fonte: O Autor)	135
Tabela 34 - Defuzzificação para estratégica de tratamento dos riscos	136
Tabela 35 - Números fuzzy de severidade por risco e total do projeto (Fonte: O Autor)	137
Tabela 36 – Priorização dos riscos por severidade e Grau de Risco Total do Projeto (GRP) (Fonte: O Autor)	137
Tabela 37 - Comparaçao Severidade e Estratégia calculada pelos dois modelos (Fonte: O Autor)	138
Tabela 38 - Comparaçao Ranking de priorizaçao nos dois modelos (Fonte: O Autor)	139

1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo, serão apresentados o tema da tese, o objetivo a que se propõe, assim como sua hipótese e justificativa. Em seguida, são descritas hipótese e justificativa, assim como a metodologia utilizada e estrutura do trabalho.

1.1. Apresentação do Tema

Projetos notoriamente impactam o cotidiano de grande parte da população mundial, podendo trazer alterações significativas na forma como as pessoas vivem, as empresas produzem, o comércio atua, a cadeia de fornecimento opera. Para chegar a tal afirmação, basta recordar projetos como Apollo, que levou o homem à Lua, o Canal do Panamá, o Grande Colisor de Hádrons, a Bomba atômica entre outros. Foram projetos marcantes que impactaram diretamente a história da sociedade moderna.

Esforços humanos altamente coordenados são realizados diariamente ao redor do mundo na tentativa de contribuir de alguma forma para criação de valor na sociedade. Eles são objeto de profundo estudo pelos mais diversos cientistas, acadêmicos, profissionais corporativos e todos os interessados contribuir na forma pela qual os projetos são gerenciados. Trata-se do desejo humano em alcançar novas fronteiras de conhecimento e aplicações nas mais diversas áreas.

Nesse contexto, pesquisas e estudos com objetivo de evoluir progressivamente no gerenciamento e aplicação de práticas orientadas em otimizar os processos envolvidos em todo ciclo de vida de um projeto, são cada vez mais comuns¹. Com o avanço tecnológico, as comunidades envolvidas no gerenciamento de projeto podem estar mais conectadas para maior criação e disseminação de conhecimento. Uma conexão em rede poderosa, que permite potencializar e acelerar a criação de um arcabouço amplamente difundido entre os interessados em estudar, projetar, criar e aplicar técnicas de

¹ Mais de trinta e cinco mil (35.000) artigos sobre o tema na base *Science Direct*, mais de noventa e cinco (95.000) na base *Scopus*, mais de quarenta mil (40.000) livros sobre o tema no site *Amazon.com*.

gerenciamento refinadas tem sido construída ao longo desses anos. Como exemplo tem-se as diversas comunidades de prática, onde acadêmicos e profissionais trocam experiências em prol da geração de novos conhecimentos.

O arcabouço do gerenciamento de projetos, cada vez mais difundido e unificado por algumas organizações sem fins lucrativos tem padronizado e facilitado a forma como os projetos são gerenciados ao redor do mundo, fazendo com que profissionais dessas áreas sejam cada vez mais intercambiáveis. Exemplos de instituições que atuam com esse fim são: PMI – *Project Management Institute*², IMPA - *International Project Management Association*³ e APM – *Association for Project Management*⁴. As contribuições dessas instituições são inequívocas e proporcionam um material de grande importância para o desenvolvimento dessa disciplina (BERSSANETI; CARVALHO; MUSCAT, 2012; JOSLIN, R.;MÜLLER, 2014; LING *et al.*, 2009).

A Lógica Fuzzy é uma disciplina com aplicações em diversas áreas do conhecimento caracterizadas por informações complexas, imprecisas, incertas e vagas. O pensamento humano frequentemente envolve informações nebulosas (Fuzzy) originadas a partir dos conceitos inexatos inerentes a natureza humana e da complexidade da situação/ambiente (GRECCO *et al.*, 2014). Ela busca traduzir o raciocínio humano por meio de um sistema de inferência no qual todas as características são levadas em consideração.

O gerenciamento de risco é uma dentre as dez áreas de conhecimento preconizadas pelo PMBOK (PMI, 2013). Essa área do conhecimento tem como objetivo aumentar a probabilidade e impacto de eventos positivos e diminuir a probabilidade e impacto de eventos negativos sobre os objetivos do projeto. Essa área de conhecimento se utiliza de diversas técnicas matemáticas e estatísticas para alcançar o objetivo acima. Ocorre que inerente ao processo de gerenciamento de risco, tem-se como insumo da análise, opiniões e experiências vividas pelos profissionais que fazem parte da equipe de projeto. Dessa forma, vislumbrou-se a possibilidade de aplicação do ferramental da lógica Fuzzy em todo esse processo.

² <https://www.pmi.org/>

³ <https://www.ipma.world/>

⁴ <https://www.apm.org.uk/>

A área escolhida para aplicação do Modelo de Análise de Risco Fuzzy (MARF) foi a dos megaprojetos industriais no setor offshore de Exploração e Produção. Trata-se de um subconjunto da totalidade de projetos caracterizado pela produção final de um ativo tangível: o petróleo). Contudo sua aplicabilidade é possível nos diversos setores produtivos e financeiros.

1.2. Relevância do Tema

A busca pela eficiência no gerenciamento de riscos em projetos, com objetivo de entregá-lo no prazo, custo e qualidade, é temática recorrente conforme vimos na seção anterior. Projetos bem sucedidos propiciam melhores condições para o desenvolvimento econômico e social, melhor ambiente de negócios e são vetores para mudanças no status-quo (ANDERSEN, E. S.; JESSEN, 2002).

É notória a complexidade de se planejar e organizar um projeto de engenharia que envolve milhões ou bilhões de dólares, milhares de recursos, suprimentos comprados em diversas partes do mundo, obras executadas com escopo dividido em diversas regiões geográficas nacionais e internacionais e diversos fornecedores também espalhados globalmente. Esse é precisamente o contexto vivenciado pelas empresas de petróleo no mundo inteiro e particularmente no Brasil, onde os investimentos da principal empresa do setor, estão distribuídos no Brasil, Ásia e Europa.

Essa complexidade se manifesta também pelo fato de cada projeto ser único e, portanto, não possuir dados históricos perfeitamente aplicáveis para determinação das estimativas de prazo. Dessa forma, deve-se considerar que, cada profissional pode ter uma percepção diferente, baseada em suas próprias expectativas e experiências, além de muitas vezes não conseguir se expressar de forma clara e coesa.

A complexidade de projetos pode ser medida em dois atributos principais: complexidade organizacional e complexidade técnica (BACCARINI, 1996). Quando o se trata de Projetos Complexos, o desafio de gerenciar prazo se tornar ainda maior (DAO *et al.*, 2016a, 2016b; KERMANSHACHI *et al.*, 2016). Impactos em prazo frequentemente comprometem o custo e qualidade do projeto. Sendo assim, a viabilidade, performance e

taxa de sucesso de projetos passam necessariamente por uma boa gestão de prazo e consequentemente por uma boa gestão de risco.

Dessa forma, a temática da pesquisa se insere em uma questão fundamental para o sucesso de projetos: Como gerenciar riscos de forma a viabilizar e obter sucesso nos objetivos do projeto?

Muitas ferramentas gerenciais têm sido usadas para promover o gerenciamento de risco de projeto (AKINTOYE; MACLEOD, 1997; AVEN, 2016; HULETT, 2009; JUNKES; TERESO; AFONSO, 2015; KHAMENEH; TAHERI; ERSHADI, 2016; SERPELLA *et al.*, 2014; WILLUMSEN *et al.*, 2019) entre tantos outros. A grande maioria delas se utiliza de métodos tradicionais, os quais não consideram aspectos como subjetividade, ambiguidade, contraditoriedade e experiências anteriores dos profissionais envolvidos no projeto. Em geral essas ferramentas procuram se basear em dados estatísticos de projetos passados e considerá-los em projetos futuros.

Essas considerações podem nem sempre ser aplicáveis ao projeto analisado, dado que cada projeto é único, por definição. A complexidade e elevadas quantidades de recursos e interfaces nos projetos de construção de uma Plataforma de Exploração e Produção de petróleo possuem características que apontam naturalmente para a necessidade de realizar uma gestão de riscos complementar ao processo estabelecido atualmente pelo PMBOK e outras instituições internacionais que buscam padronizar o gerenciamento de risco.

Nas décadas de 1980 e 1990, poucos projetos possuíam as características dos megaprojetos da atualidade. Nessa época, a maioria dos projetos principalmente do setor offshore morriam abruptamente (MERROW, 2011). Além disso, segundo o autor, os megaprojetos falham muito frequentemente em pelo menos um de seus objetivos. O principal motivo de falha avaliado nesse estudo é o aumento de prazo em função dos riscos inerente a tais projetos.

Para avaliar o universo de pesquisa sobre o tema, foram utilizadas duas bases de dados internacionais: Science Direct e Scopus. Observou-se que o tema Lógica Fuzzy possui ampla abrangência com mais de 100.000 (cem mil) estudos. Por outro lado, apesar de raros, conforme Tabela 1, alguns trabalhos relacionando a lógica Fuzzy com o gerenciamento de risco existem em menor quantidade, por volta de 600 estudos, propondo modelos que buscam complementar a metodologia tradicional. China e EUA são os países

com maior número de pesquisadores sobre o assunto. O presente trabalho foi orientado no sentido de ampliar esses modelos propondo novas considerações e variáveis de entrada.

Data: set e out 2018		
Termos (Title, Abstract or Keywords)	Science Direct	Scopus
"Fuzzy Logic"	43.983	73.438
"Project Risk Analysis"	247	145
"Project Risk Management"	786	860
"Fuzzy Logic" and "Risk Analysis"	215	417
"Fuzzy Logic" and "Qualitative risk Analysis"	20	4
"Fuzzy Logic" and "Quantitative risk analysis"	35	13
"Fuzzy Logic" and "complex projects"	43	13
"Fuzzy Logic" and "offshore projects"	2	-
"Project Risk Analysis" and "Fuzzy Logic" and "complex projects"	3	-
Modeling project risk analysis with fuzzy logic	18	47

Tabela 1-Trabalhos científicos publicados sobre Lógica Fuzzy e Gerenciamento de Risco (Fonte: O Autor)

Num contexto em que o desenvolvimento econômico do país passa pela conclusão de projetos importantes de infraestrutura, energia, logística, entre outros, o gerenciamento de riscos de projetos se apresenta com uma das ferramentas que contribui para a conclusão de obras dentro de prazo e custo planejados. Essa contribuição se manifesta na medida em que aumenta a probabilidade de alcance dos objetivos de projeto e estabelece um cenário de maior previsibilidade.

Assim, o presente trabalho justifica-se na medida em que procura propor um novo modelo de aplicação do processo de gerenciamento de riscos complementar ao tradicional que, conforme será verificado mais adiante, incorpora ferramental fuzzy para o tratamento das informações oriundas de um processo majoritariamente subjetivo e com diversas possibilidades de cenários e percepções. Busca-se alcançar resultados práticos na melhor alocação de recursos, melhor sequenciamento construtivo de grandes obras e melhores estimativas de prazo para os projetos.

1.3. Objetivo da Pesquisa

Mais além do formalismo matemático envolvido em todo arcabouço teórico-prático da Lógica Fuzzy, esse trabalho discute e propõe um modelo que se utiliza da filosofia por trás do tecnicismo matemático tradicional. Será considerado a maneira pela qual melhor se pode transformar em números e graus de pertencimento, conforme estabelece a Lógica Fuzzy, opiniões e conhecimento tácito, muitas vezes dominados por vieses, realçados/valorizados exageradamente (em casos positivos) ou inversamente desvalorizados (em casos negativos) pelo fato de terem sido vividos pelo interlocutor, que em última análise é quem direciona as informações e parâmetros de toda uma análise de risco.

Esse modelo de gerenciamento de risco em projetos de investimentos, complementar ao tradicional, foi estudado dentro do contexto de megaprojetos offshore, envolvendo grandes volumes de investimento, inúmeras interfaces, por meio da aplicação do ferramental da Lógica Fuzzy nas análises qualitativas de risco, buscando reunir informações difusas, complexas e subjetivas, obtidas entre os variados atores, inerentes ao processo de planejamento do prazo de grandes obras industriais no setor offshore. Essas informações servirão de input para o MARF.

É necessário ter em mente que lidar com processos de tomada de decisão em cenários de incerteza, o que se propõe em última análise o presente trabalho, existe uma grande diferença entre uma boa decisão e um bom resultado (ZIMMERMANN, 1985). Essa observação é de grande relevância no contexto do gerenciamento de projeto complexo onde uma decisão muito bem embasada (por qualquer tipo de metodologia) pode trazer resultados absolutamente diferente daqueles esperados. Agentes estressores, danos, caos, imprevisibilidade, aleatoriedade são algumas características que são encontradas nesses tipos de projetos.

É preciso considerar que a informação primária que servirá de entrada para o modelo proposto é também incompleta e incerta. Sendo assim, nesse contexto, estamos sujeitos a alguns caprichos de eventos incertos. Porém no longo prazo, se consistentemente forem tomadas boas decisões, resultados positivos irão ocorrer com maior frequência que os negativos (ZIMMERMANN, 1985).

Com a ressalva acima, será apresentada a aplicação do modelo proposto em um megaprojeto de investimento offshore e comparado com a aplicação do modelo tradicional no mesmo projeto. Apesar da aplicação em megaprojetos, o modelo pode também ser aplicado em projetos menores e em diferentes setores da economia.

Com essa relação bem estabelecida, ou seja, aplicação versus comparação buscar-se-á integrar as diversas áreas inerentes a gestão de projetos e análise de riscos, com o objetivo de criar um arcabouço teórico-prático que contribua para maior visibilidade, previsibilidade e possibilidade de gerenciar os prazos do projeto de forma mais assertiva, confiável sempre avaliando e ponderando a aplicação desse gerenciamento considerando aplicação de recursos humanos e financeiros finitos nas diversas fases do projeto. Essas devem ser as orientações tomadas pela equipe de gerenciamento de risco de projeto e comunicada a equipe de projeto.

Dessa forma, é proposta uma visão holística e integrada dos processos de planejamento e gestão de risco em prazo, buscando aprimorá-lo, elaborando um modelo híbrido que complemente a metodologia de gerenciamento de riscos consagrada pelo PMBOK, incluindo o ferramental da Lógica Fuzzy. Pretende-se que o modelo apresentado se torne uma ferramenta de ampla utilização nas empresas que buscam realizar uma gestão de risco e prazo de projeto com maior previsibilidade, assertividade, mapeamento e priorização de riscos gerenciáveis.

O modelo proposto propõe inter-relacionar diferentes áreas de conhecimento – planejamento de projetos (cronograma) x gerenciamento de riscos (PMBOK) x lógica Fuzzy - integrando-as, com o objetivo de criação de arcabouço escasso na literatura, aplicação prática no contexto empresarial, expandindo a fronteira do conhecimento. Esse arcabouço deverá ser originado não só no âmbito de pesquisas de outros autores, como também pelo contato cotidiano do pesquisador com o tema proposto.

A pesquisa propõe-se estritamente na elaboração de um modelo de análise de risco qualitativo em prazo que terá como embasamento as teorias e aplicações de Gerenciamento de Projeto e mais especificamente Gerenciamento de Risco, assim como o arcabouço teórico da Lógica Fuzzy, buscando complementar a maneira tradicional como o gerenciamento de risco é aplicado atualmente.

No que diz respeito aos principais problemas encontrados no gerenciamento de projeto, ressalta-se que um planejamento mal elaborado é reconhecidamente um dos principais fatores que contribuem para atrasos na execução de projetos de grandes obras. As consequências mais diretas do aumento de prazo podem ocasionar alterações no escopo e significativo aumento de custo em relação aos originalmente planejados. Sob essa ótica, para Megaprojetos de engenharia no setor offshore que em sua maioria possuem vultuosos investimentos em capital financeiro e humano, além de mobilizar inúmeras cadeias de fornecimento distribuídas globalmente, esses desvios são potencializados e altamente impactantes.

Projetos dessa monta requerem planejamento minucioso para que não haja desperdício de tempo e dinheiro da ordem de milhões. Desde a elaboração do projeto básico, a contratação de empreiteiras e fornecedores, a mobilização de logística, a compra de materiais e equipamentos, que em sua grande parte são itens de longo tempo de fornecimento, o comissionamento *onshore* e *offshore* até a entrega para operação. Todas essas fases de projeto exigem elevados graus de gestão e interação entre diferentes áreas das empresas contratantes (*owners*), como as disciplinas técnicas de perfuração e poços, elevação e escoamento, engenharia submarina, e instalações de superfície; entre as disciplinas de gestão de projeto, as empresas contratadas (*contractors*) e subcontratadas (*subcontractors*).

Pretende-se com o trabalho alcançar um maior entendimento do contexto de projeto e propor modelo para questões como o grau de risco geral do projeto e planos de ação a se tomar diante de determinado cenário que se colocam na gestão, planejamento & controle e risco de prazo das obras industriais. Dessa forma, o modelo a ser proposto buscará sistematizar o processo de análise de risco de prazo de projetos, levando em consideração os diversos atores envolvidos e a complexidade dos projetos analisados.

Como objetivos específicos, destacam-se:

- a) Desenvolver modelo Fuzzy para a Gestão de Riscos;
- b) Gerenciar riscos e projetos de forma que seus prazos sejam mais previsíveis, mapeando e priorizando riscos de prazo;
- c) Considerar as variáveis consenso e peso do especialista na análise;
- d) Oferecer ao gestor visão sobre possibilidade/probabilidade de cumprimento do prazo planejado de forma mais realista e completa.

1.4. Hipótese

O estudo foi desenvolvido assumindo as seguintes hipóteses:

- 1- A Lógica Fuzzy permite melhor transcrição da linguagem humana no Modelo de Análise de Risco Fuzzy (MARF)
- 2- É possível reduzir vieses cognitivos utilizando o MARF;
- 3- É possível identificar e priorizar os riscos de um projeto (análise qualitativa) por meio do MARF de modo mais assertivo que o tradicional;
- 4- É possível alcançar maior nível de assertividade no que diz respeito ao grau de risco geral do projeto.

Supõe-se diante das hipóteses acima que essa é precisamente a situação encontrada quando se está planejando e gerenciando riscos num projeto com grande complexidade, no que diz respeito a interface de diversos atores, grandiosidade de recursos e homens-hora aplicados. Ademais, avalia-se que a aplicação de uma ferramenta híbrida que utilize os processos indicados no PMBOK com a aplicação do ferramental Fuzzy contribua com melhor priorização, alocação de recursos, no tratamento dos riscos e previsibilidade de prazo para tomadas de decisão nas diversas fases de projeto.

Diante do exposto, acredita-se ser natural a aderência e complementaridade da Lógica Fuzzy com os processos de análise de risco de projeto.

1.5. Metodologia e filosofia de pesquisa

A filosofia de pesquisa que objetivou desenvolver o presente modelo se baseou nas hipóteses acima e se apoiou na prática corrente da execução de inúmeras análises de projetos pelo autor para construir um modelo comprehensivo e efetivo que possa ser utilizado de forma simples e rápida. A metodologia se dividiu em nas seguintes fases: (1) Aprofundamento dos temas de interesse (a) Gerenciamento de Risco em Projeto e (b) Lógica Fuzzy aplicada; (2) Experiência prática em projetos de óleo e gás com longo ciclo de maturação; (3) Identificação das maiores lacunas no processo atual por meio de entrevistas e Survey; (4) Construção de Modelo que contribua com maior assertividade

da análise de risco; (5) aplicação do modelo em projeto de construção e montagem de uma unidade FPSO; (6) comparação entre os dois modelos.

A revisão bibliográfica foi realizada de maneira a obter o arcabouço teórico que permita construir um conhecimento novo e inédito. A partir daí novas contribuições foram propostas no que tange a gestão de risco de projeto e como sobre como lidar com as incertezas enfrentadas no dia a dia do gerenciamento de projetos.

Dada a interface entre duas principais áreas do conhecimento (Lógica Fuzzy e Gestão de Projetos), a intenção do presente projeto de pesquisa aplicada é versar sobre o tema de forma indutiva e dialética, buscando orientação na experiência do autor acerca da temática, desconsiderando ou desconstruindo alguns princípios pré-estabelecidos, com base na observação da realidade. A dialética foi utilizada no que tange a uma dinâmica interpretação do que será observado dentro do contexto de gerenciamento de risco no Brasil.

A pesquisa em campo teve grande relevância já que o que se pretende é a partir da realidade obter dados e responder questões sobre o tema para construção do conhecimento. Foram realizados questionários com uma amostra confiável de gerentes e analistas de projeto de grandes obras industriais, os quais forneceram uma visão realista e atual sobre como se posicionam sobre o tema de Gestão de risco de prazo de projetos.

Dada a limitada capacidade humana em desvendar e compreender todas as nuances de fenômenos naturais, tais como a percepção e interação entre um grupo de pessoas, tem-se que essa compreensão é incompleta, parcial e probabilística. Buscando elevar o nível de qualidade e a completude da pesquisa, o autor, na fase exploratória, vivenciou por mais de dez anos a realidade do processo de análise em questão e supriu as lacunas percebidas no dia a dia por meio de pesquisa na literatura.

Tomou-se a precaução de isolar o fenômeno vivenciado no caso particular e vislumbrar todos os casos possíveis em diversas indústrias por meio de participação em congressos e grupos de estudo sobre o assunto, nos quais pode-se perceber quase sempre as mesmas questões e críticas.

Com relação ao referencial teórico, dada a escassez de material nacional sobre o tema, a pesquisa se dá majoritariamente com material internacional. Alguns dos autores mais reconhecidos sobre o assunto são:

- 1- Prof. Dr. Aminah Robinson Fayek da Universidade de Alberta no Canada com (<http://www.civil.engineering.ualberta.ca/Research/ResearchAreas/Construction/AminahRobinsonFayek.aspx>)
Prof. Claudio Henrique dos Santos Grecco - COPPE/UFRJ, Laboratório de Lógica e Matemática Fuzzy (LabFuzzy), Programa de Engenharia de Produção e Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, Brasil
- 2- Carlos Alberto Nunes Cosenza – Prof. Doutor na Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 3- Lofti Zadeh – Prof. da Universidade da California, Berkeley
- 4- Hsi-Mei Hsu – Instituto de Engenharia Industrial, National Chaio Tung University, Taiwan

Em suma, a base metodológica utilizada para o desenvolvimento desta tese, foi a observação do fenômeno prático do gerenciamento de risco de grandes projetos no setor de óleo e gás, identificação das maiores lacunas, por meio de experiência vivenciada pelo autor, questionário aplicado aos profissionais de projeto para construção da proposta de um modelo híbrido que permita em tese reduzir ou eliminar lacunas existentes no método tradicional.

1.6. Estrutura da Tese

No capítulo 1, é contextualizado o cenário de gerenciamento de projetos no país, com suas principais dificuldades. Foram tratadas também questões de planejamento de projetos, na busca por um melhor entendimento sobre a prática dessa metodologia no país. Esse capítulo estrutura de maneira científica a pesquisa, aplicando o método científico deixando o leitor atento ao foco principal da pesquisa, suas limitações, objetivos e questionamentos.

O capítulo 2 apresenta a revisão da literatura sobre temas abordados na tese quais sejam: Gerenciamento de Projeto, Análise de Risco em Projetos e Lógica Fuzzy. Este capítulo tem por objetivo reunir as técnicas e autores com maior representatividade mundial e acadêmica acerca dos temas que servirão de base para o modelo proposto. Serão

revisados os temas de gerenciamento de riscos de projetos de maneira mais abrangente, que tem como ramificação o Gerenciamento de Riscos de prazo, arcabouço este bastante explorado na tese e motivo pelo qual surgiu o tema da pesquisa. Já a Lógica Fuzzy terá sua revisão baseada em alguns autores que em parte de suas pesquisas, associam a análise de risco ao ferramental Fuzzy. Após a análise e revisão desses dois grandes temas - Gerenciamento de Risco e Lógica Fuzzy - será descrito o potencial que essas duas áreas do conhecimento possuem se utilizadas em conjunto. Nesse capítulo também é contextualizado o local onde a pesquisa foi aplicada, o setor de óleo e gás.

O capítulo 3, analisa mais detalhadamente como as empresas em nível mundial aplicam a metodologia de gerenciamento de risco para mitigar riscos e alcançar uma maior previsibilidade em prazo para entrega do escopo do projeto. Traz ainda uma reflexão sobre a utilização de todo esse processo e suas principais lacunas.

O capítulo 4 tem como objetivo apresentar o modelo proposto para utilização no gerenciamento de risco de prazo de projeto aplicando a lógica Fuzzy, de modo a ser uma ferramenta prática para o planejador, analista de risco e tomador de decisão. Foi desenvolvida uma ferramenta que suporta toda metodologia para sua aplicação. Adiante, no capítulo 5, é detalhado o ambiente de projetos offshore no qual toda pesquisa foi realizada. Na sua sequência, o capítulo 6 aplica o modelo proposto e compara com a aplicação do modelo tradicional. Apresentando potenciais ganhos em relação ao modelo tradicional. O capítulo 7 traz conclusões e reflexões sobre avanços possíveis no processo de gerenciamento de risco além de recomendação para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi realizada de forma sistemática, seguindo uma metodologia de pesquisa em inúmeras bases (Web of Science, Science Direct, Scopus) de dados internacionais, conforme detalhado na Tabela 1 com objetivo de verificar aplicações da Lógica Fuzzy no gerenciamento de prazo de projeto. Alguns autores e trabalhos com enfoque nesse tema foram localizados, e contribuíram para direcionar o trabalho até que o modelo pudesse ser definido a partir de um modelo pré-existente. Esse modelo foi adaptado as particularidades de todo processo de análise de risco de prazo de projeto considerado no PMBOK.

Nesse capítulo são tratados os principais temas referentes ao trabalho: (I) Indústria offshore, (II) Gerenciamento de Projeto, (III) Megaprojetos e projetos complexos, (IV) Gerenciamento de Risco de Projeto, (V) Lógica Fuzzy, (VI) Vieses Cognitivos, (VII) O Consenso na Lógica Fuzzy. Após uma breve exposição de conceitos e principais autores dessas temáticas, será aberta uma seção que buscará avaliar a (VIII) Aplicação da Lógica Fuzzy no Gerenciamento de Risco de projeto.

2.1. O setor Offshore e seus projetos

2.1.1. Breve histórico da indústria naval no Brasil

A indústria naval no país teve seu início datado do século XVI, assim que pequenos estaleiros artesanais, principalmente voltados para a construção de canoas e pequenos barcos, além de prestação de serviços de reparo foram surgindo ao longo da costa brasileira (FOSTER, 2013). Assim, já se percebe o incrível potencial dessa indústria devido ao vasto litoral brasileiro e as diversas locações com águas abrigadas para o acabamento final das grandes unidades durante o processo de comissionamento.

No século XVIII o país começa a desenvolver capacidade para construções por meio da fundação dos Arsenais da Marinha em diversas localidades no país. Porém, a maior

ruptura ocorreu com o desenvolvimento da indústria naval privada em 1846, em Niterói no estado do Rio de Janeiro, quando Irineu Evangelista de Souza – o Barão de Mauá – comprou uma fundição no bairro da Ponta da Areia. Com o tempo e o impulso da Revolução industrial na Inglaterra, a fábrica produziu 72 navios para navegação de cabotagem, alcançando mais de 30% da produção de embarcações utilizadas pelo Brasil na Guerra do Paraguai. A partir daí outros estaleiros nacionais surgiram no Brasil na segunda metade do século XIX, com a indústria se desenvolvendo no Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro.

Nas décadas de 1960 e 1970, impulsionados pelo governo desenvolvimentista do Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira, buscando entre outras metas, a industrialização e modernização da economia do país, foram criados diversos fundos para fomentar a indústria naval. Nos anos 60, a indústria da construção naval brasileira estava oficialmente implantada (FOSTER, 2013) com os estaleiros Emaq, Só, Caneco, Mauá, Verolme e Ishibras impulsionando o desenvolvimento da cadeia de fornecimento do setor com pedidos de chapas de aço, equipamentos elétricos, tubulações etc.

Os principais navios construídos naquela época foram navios tanque, cargueiros, graneleiros, rebocadores, barcos de carga para cabotagem. Em 1968, no que se constituiu um marco na indústria, houve a construção da primeira plataforma auto elevatória para exploração de petróleo pela Petrobras no estaleiro Mauá.

Em 1969 foi criada a SUNAMAM – Superintendência Nacional da Marinha Mercante, com o objetivo de definir os planos da construção naval e gestão dos recursos destinados ao financiamento desse setor. Nessa época, houve grande reserva de mercado para empresas nacionais, com previsão 80% do volume de carga ficando a cargo das empresas brasileiras ou parceiras e 20% para o mercado livre.

Outro grande impulso do setor naval brasileiro foi o Plano de Emergência da Construção Naval (PECN) entre 1967 e 1970 com previsão de encomenda de 30 embarcações. Esse Plano foi seguido de dois outros planos chamados Programa de Construção Naval I e II na década de 1970.

Toda essa trajetória até então foi liderada pela Marinha Mercante e políticas governamentais as quais guiaram investimentos, ditavam o ritmo de crescimento e tipos de embarcações a serem produzidas. Esse incentivo levou o país a se tornar a segunda

maior potência da indústria da Construção Naval do mundo atrás apenas do Japão segundo o Sindicato da Construção Naval - SINAVAL (OFFSHORE, 2002).

Avançando na década de 1980, com diversas crises internacionais, como a do petróleo em 1973 e 1979, e no mercado interno devido principalmente ao ciclo inflacionário, o ritmo de crescimento da indústria não conseguiu se sustentar. A crise de 1973 ocorrida em função da Guerra de Yom Kippur fez com que os países da OPEP em acordo reduzissem a produção de petróleo, o que levou a uma elevação do preço da commodity em mais 400%. Já em 1979, a crise ocorreu em função da crise no Irã com a deposição do Xá Reza Pahlevi e instauração da República Islâmica. Essa crise elevou o preço do barril de óleo de US\$ 13 para US\$ 34 em valores da época.

Esses acontecimentos no cenário internacional impactaram diretamente o mercado interno, com a redução nos valores de frete, arrecadação dos fundos da Marinha Mercante, fragilizou os armadores e reduziu o nível de atividade nos estaleiros. Com o objetivo de sobrepor a crise, na década de 1980 foi lançado pelo Presidente Figueiredo o Plano Permanente de Construção Naval (PPCN). Esse plano flexibilizou regras impostas pela SUNAMAM e permitiram que os armadores tivessem maior poder de decisão sobre quanto investir e sobre as especificações dos navios (FOSTER, 2013). Contudo o plano atingiu menos de 40% da produção desejada e não foi capaz de superar o cenário econômico desfavorável enfrentado pelo setor.

Após a moratória decretada pelo Brasil em 1982, toda indústria se encontrava estagnada, o que foi agravado no início dos anos 1990 com a crise da dívida externa. Com a abertura comercial imposta pelo Governo Collor e a baixa competitividade das empresas nacionais, muitas delas foram adquiridas por grupos internacionais. Dessa forma, a indústria nacional colapsou. Alguns estaleiros que sobreviveram a crise passaram por processos de fusões e aquisições como Emaq e Caneco que foram arrendados por Ilha e Renave que pertenciam a empresários brasileiros, enquanto outros estaleiros como o Mauá e o Verolme-Ishibras que foram adquiridos respectivamente pelos grupos singapurianos Jurong e BrasFELS passaram para o controle estrangeiro.

Os produtos gerados pela indústria offshore de óleo e gás a partir da extração de óleo cru estão presentes no dia a dia de grande parte da população mundial. Mais de 6.000 (seis mil) produtos são gerados a partir do petróleo como matéria-prima, a partir de seus subprodutos diretos incluindo combustíveis para transporte, aquecimento e geração de

eletricidade, óleo para asfalto, matéria-prima para indústria química, plásticos e materiais sintéticos e outros diversos, conforme tabela a seguir.

Solventes	Diesel	Óleo Motor	Lubrificante
Tinta	Ceras de polimento	CD Player	Sapatos
Estofado	Jaquetas	Embarcações	Inseticidas
Pneus	Esmaltes	Perfumes	Capacetes
Antissépticos	Cortinas	Conservantes	Sabonetes
Cápsulas de remédios	Anti-histamínicos	Bolsas	Desodorantes
Corantes	Refrigerantes	Revestimentos	Epóxi
Repelentes	Fertilizantes	Coloração de cabelos	Batom
Borracha sintética	Glicerina	Borracha	Corda de nylon
velas	Saco plástico	Pranchas de Surf	Shampoo
Aspirina	Pasta de dente	Detergentes	Próteses
Travesseiros	Ataduras	Sorvetes	Chicletes
Amônia	Dentaduras	Lentes de contato	Creme de barbear

Tabela 2-Subprodutos indústria do petróleo - (Fonte: O Autor)

A economia global tem no setor offshore uma grande parcela no total da aplicação de recursos e investimentos. A indústria de óleo e gás possui um peso de 56% na matriz energética mundial, atende 96% da necessidade do setor de transporte e 64% do setor industrial (MENDES, ANDRÉ POMPEO DO AMARAL; TEIXIERA, CASSIO ADRIANO NUNES; ROCIO, MARCO AURÉLIO RAMALHO; D'OLIVEIRA, 2018).

A distribuição de produção e consumo do petróleo no mundo está representada Figura 1 abaixo:

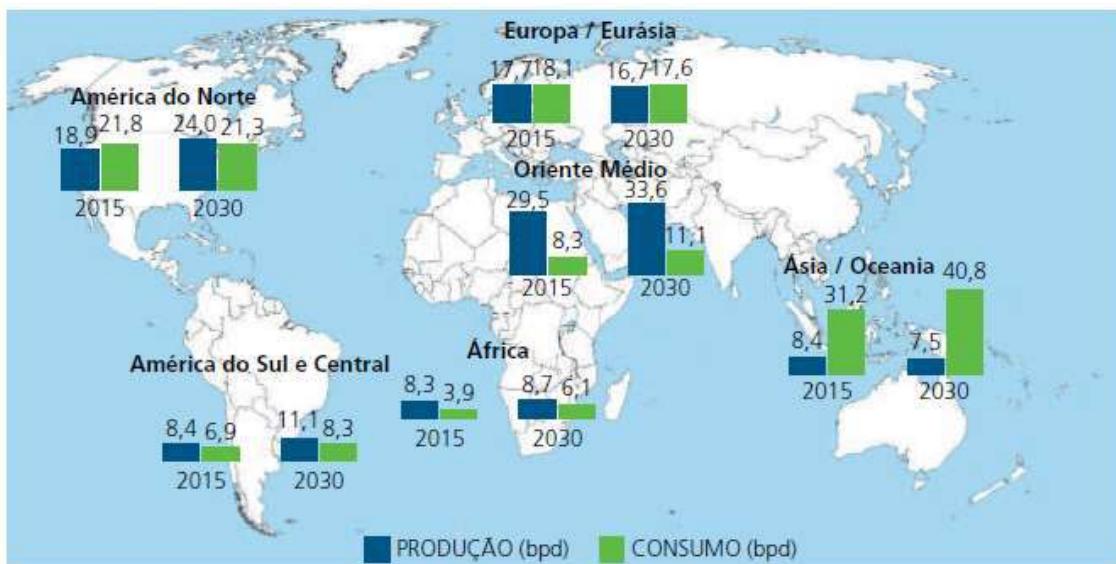


Figura 1 - Distribuição regional de produção e consumo de petróleo (Fonte: MENDES, et al 2018)

Os projetos no setor offshore são caracterizados por serem intensivos em recursos financeiros e mão-de-obra. Os projetos nesse setor geralmente envolvem atores espalhados ao longo de uma cadeia produtiva mundial. É também um setor intensivo em tecnologia e inovação.

Assim como na maioria dos setores produtivos, na indústria offshore, o fator econômico é de primeira importância no desenvolvimento do projeto. O proprietário (*owner*) necessita de um navio que forneça o melhor retorno possível para o investimento inicial e custos de operação (EYRES, 2007). Essa lógica é válida também para embarcações de exploração e produção de petróleo e mais especificamente para as FPSOs (*Floating, Production, Storage and offloading*). Ressalta-se que no caso da indústria offshore de óleo e gás, outro fator de extrema relevância é o prazo do projeto. Isso porque qualquer pequeno atraso ou adiantamento no início da produção de óleo pode impactar fortemente a viabilidade econômico-financeira do projeto.

2.1.2. A indústria offshore

A demanda por energia é um dos principais pilares nos quais se assenta a indústria moderna e o desenvolvimento econômico mundial. A representatividade dessa atividade econômica no PIB mundial gira em torno de 3%, ou 2 trilhões de dólares americanos em 2017⁵. Esse setor envolve o conjunto de empresas que exploram, desenvolvem e operam campos de óleo e gás. Essas empresas são especializadas em produzir petróleo cru por meio da sua extração em diversos locais. Alguns campos são localizados em terra firme (*onshore*), explorados de maneira tradicional, já conhecida desde o século XVIII e XIX. Existe também a exploração e produção em campos não convencionais chamados de areia betuminosa que consiste basicamente em retirar do solo o óleo cru misturado com a areia para posterior tratamento e refino.

Outra modalidade de extração que se tornou bastante conhecida e divulgada em função da elevada produção nos Estados Unidos é o Gás de Xisto, ou “*Shale Gas*”. Esse tipo de exploração, também onshore, consiste em fraturar a rocha (folhelho) em finas camadas para a extração do gás.

Contudo, a exploração e produção de óleo e gás no Brasil ocorre majoritariamente em águas profundas e ultra profundas, principalmente após a descoberta dos enormes campos na camada do pré-sal. Esses campos ficam localizados nas Bacias de Santos, Campos e Espírito Santo, próximos aos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo. O termo pré-sal advém do fato da acumulação do hidrocarboneto ser localizada em um conjunto de rochas abaixo da camada de sal com uma profundidade média abaixo do solo marinho de 6 a 8 mil metros. Normalmente esses campos são localizados a distâncias que variam em torno de 300 quilômetros da costa brasileira.

Com relação as instalações de superfície, nas condições descritas e com a mais avançada tecnologia disponível, a opção mais adequada para plataformas nesses casos são as FPSOs, sigla que significa *Floating, Production, Storage and Offloading*, ou seja, Unidade flutuante de produção, armazenamento e descarga. Essas unidades possuem uma

⁵ Pesquisa divulgada pela IBIS WORLD disponível em <https://www.ibisworld.com/global/market-research-reports/global-oil-gas-exploration-production-industry/>

planta de processo complexa para atender aos requisitos de qualidade necessários para exportação do petróleo para as refinarias brasileiras. Esse processo está descrito no item 5.1.

Os projetos offshore para exploração e produção de óleo e gás no pré-sal enfrentam elevada complexidade em função da logística e tecnologias necessárias para atender toda variedade de requisitos ambientais, técnicos e econômicos. Alguns desses desafios são:

- Perfuração e completação dos poços
- Interligação dos poços à plataforma
- Instalação de uma unidade de produção (plataforma) em alto mar;
- Escoar a produção, da plataforma até a terra, com a utilização de navios aliviadores para o óleo e gasodutos para o gás;
- Instalação de equipamentos submarinos em águas profundas e ultra profundas;
- Transporte de pessoas, equipamentos e materiais a 300 quilômetros da costa;
- Diversidade de fornecedores de equipamentos e necessidade de interface entre eles;
- Embarcações especializadas de apoio para lançamento dos dutos e risers submarinos.

Esses são apenas alguns dos desafios encontrados no processo de produção de óleo em alto mar a longas distâncias da costa. Os materiais e equipamentos necessitam de alta confiabilidade e durabilidade para resistir ao hostil ambiente marinho e oferecer segurança suficiente para operação.

Muito além do que se observa acima da linha d'água, os projetos para produção de petróleo possuem um longo ciclo de vida, de 6 (seis) a 8 (oito) anos em média, que vão desde o início da prospecção dos campos com a utilização de navios que realizam análises detalhadas do solo e subsolo marinho. Trata-se de um trabalho complexo no qual geólogos especializados recebem informações sísmicas do leito marinho e interpretam essas informações para identificar se existe ou não hidrocarbonetos acumulados nas rochas reservatório e seu possível o potencial de produção comercial.

Após essa fase, se confirmada pelo geólogo uma probabilidade aceitável de haver petróleo nas rochas reservatório, é realizada a perfuração do poço pioneiro para avaliações da qualidade do óleo e em seguida são perfurados os poços de extensão que revelam as

dimensões do reservatório e, portanto, sua viabilidade comercial. Nessa fase são utilizadas sondas de perfuração

Confirmada a viabilidade técnica e econômica do campo, os projetos da engenharia submarina e instalações de superfície são iniciados e dependem fortemente das informações iniciais disponibilizadas pelos geólogos na fase de exploração. A engenharia submarina é desenvolvida com base na extensão e capacidade de produção potencial do campo. Seus principais equipamentos são:

- Manifolds submarinos – Trata-se de um conjunto de válvulas que operam no sentido de direcionar a produção dos poços para um duto que leva o óleo para plataforma. Serve como um centro de distribuição do óleo extraído dos diversos poços ou do gás, água, CO₂ ou outro fluido injetado no poço.
- Linhas e Risers – As linhas e risers são dutos empregados no sistema submarino para coleta e escoamento da produção. As linhas normalmente repousam no leito marinho, enquanto os risers são dutos suspensos que elevam a produção até a plataforma. O ponto inicial da linha é o poço e o ponto final do riser são as bocas de sino⁶ na plataforma.
- Árvore de Natal Molhada – é um equipamento que reúne um conjunto de válvulas operadas de maneira remota. Servem para controlar o fluxo dos fluidos produzidos ou injetados no poço.
- Umbilicais – São linhas que possuem mangueiras hidráulicas e cabos elétricos que interligam a plataforma aos equipamentos e válvulas submarinas para injeção de produtos químicos, monitoramento de parâmetros de produção como vazão, pressão e temperatura de forma remota.

A indústria offshore movimenta e mobiliza elevada monta de recursos humanos e financeiros de forma direta e indireta. Algumas das indústrias e setores que impactam ou são impactadas pelas atividades do setor de óleo e gás são:

⁶ São estruturas metálicas anexadas ao longo do costado da plataforma que recebem todos os risers de produção, injeção e umbilicais.



Figura 2 - Cadeia do setor de petróleo e gás natural (IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo⁷)

Poucos são os setores da indústria nacional que se equivalem a indústria do petróleo no que diz respeito a sua capacidade indutora da economia como um todo (ARAGÃO, 2005). A participação da maior empresa do setor, a Petrobras e o setor de petróleo como um todo, estão representadas no gráfico abaixo, exibindo a crescente participação do setor na economia brasileira.

⁷ Disponível em <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/cadeia-do-setor-petroleo>

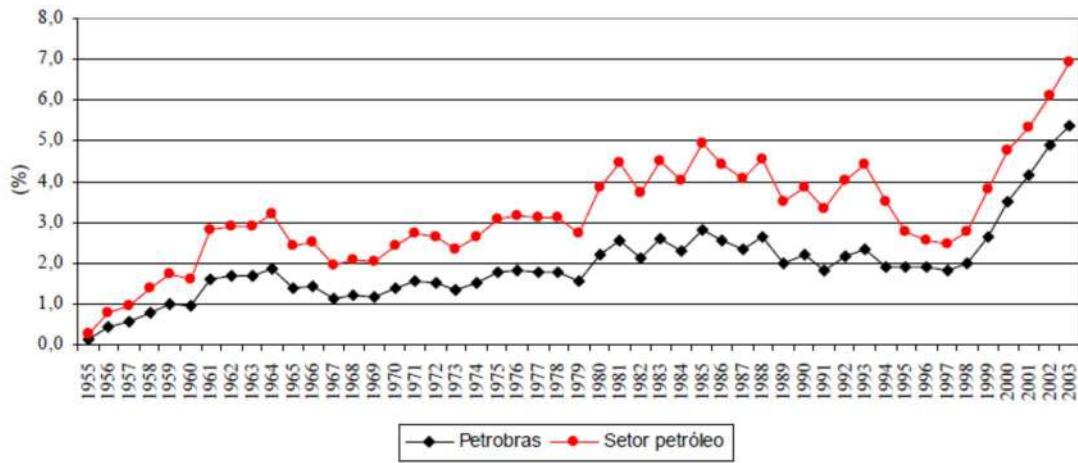


Figura 3 - Participação do valor agregado do setor petróleo e Petrobras no PIBpm brasileiro (%), 1955 – 2003 (ARAGÃO, 2005)

2.2.Gerenciamento de Projeto

O Guia PMBOK define gerenciamento de projeto como sendo a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas aplicadas as atividades de projeto para alcançar os requisitos de projeto (PMBOK, 2003). A IMPA define sucesso do projeto como sendo a capacidade dos gestores de obter uma boa performance no gerenciamento e não necessariamente do resultado do projeto (IMPA, 2006).

O não atendimento de um ou mais objetivos de projeto pode caracterizá-lo como um projeto malsucedido. Existem diversas visões e interpretações que caracterizam as falhas. Exemplo abaixo extraído de Merrow (2011) demonstra 5 resultados que se ultrapassados os limiares definidos na tabela, podem ser considerados projetos malsucedidos.

Resultados	Limiares para Falha
Custo x Orçamento	> 25 %
Competitividade de custo	> 25 %
Extensão de prazo de execução	> 25 %
Competitividade de prazo	> 50 %
Produção real x Produção planejada	Redução significativa de produção nos 2 primeiros anos

Tabela 3- Limiares para falhas em megaprojetos (MERROW, 2011)

Onde:

- Custo x Orçamento – é a razão entre o custo final real e a estimativa elaborada na sanção do projeto;
- Competitividade de custo: é razão entre custo realizado do projeto e outros projetos com escopo semelhante;
- Extensão de prazo de execução: É a razão entre o prazo realizado do início da engenharia detalhada até a completação mecânica da unidade comparado ao prazo planejado na sanção do projeto;
- Competitividade de prazo: é razão entre prazo realizado do projeto e outros projetos com escopo semelhante;
- Produção real x Produção Planejada: Comparativo entre volume de produção realizado x planejado.

Conforme Tabela 4 , os nove maiores projetos em execução no mundo em 2017 atingiram a monta de mais de meio trilhão de dólares americanos:

Projeto	Descrição	Investimento
Estação Espacial Internacional	A mais cara construção na história. Trata-se de um laboratório utilizado para experiências científicas no espaço.	US\$ 150 bilhões
Aeroporto internacional Al Maktoum	Construção do maior aeroporto do mundo em termos de tamanho e volume de passageiros.	US\$ 82 bilhões
Drenagem de água do sul para o norte da China	Construção de um sistema de drenagem de água do rio Yangtze usando três grandes canais para o norte do país.	US\$ 78 bilhões
Ferrovia e trem de alta velocidade na Califórnia	Construção de 1.300 km de ferrovia entre São Francisco e Los Angeles nos EUA	US\$ 70 bilhões
Dubailand	Construção do parque temático em Dubai e ampla estrutura.	US\$ 64 bilhões
Ferrovias em Londres	Expansão do sistema subterrâneo com 42 km de novos túneis para conectar 40 estações de metrô.	US\$ 23 bilhões
Aeroporto internacional Beijing Daxing	Construção do aeroporto com 7 pistas de decolagem e o maior terminal do mundo.	US\$ 13 bilhões
Jubail II	Segunda fase de desenvolvimento da cidade industrial de Jubail na Arábia Saudita com 100 plantas industriais, refinaria.	US\$ 11 bilhões
Ponte Hong Kong-Zhuhai-Macau	Construção de uma série de pontes e túneis submarinos que conectam as três principais cidades do delta do Rio Pérola (Pearl) na China.	US\$ 11 bilhões

Tabela 4- Maiores projetos em execução 2017 (<https://www.visualcapitalist.com/worlds-largest-megaprojects/>)

No contexto nacional, o país tem passado por crises periódicas e sucessivas em função de diversos fatores políticos e econômicos. A execução de projetos no custo e prazo planejados dentro de uma métrica aceita internacionalmente é fator crítico para o desenvolvimento do país visto que aumenta sua confiabilidade, atraindo novos investimentos. Dessa forma, a gestão de prazo do projeto se mal realizada pode inviabilizar ou impactar negativamente o resultado esperado.

Aliado a isso e ao fato de que megaprojetos possuem inúmeros atores envolvidos neste processo, dentre eles poder público, iniciativa privada, sociedade, órgãos reguladores, administradores do projeto, a comunicação entre esses atores também representa fator crítico para o sucesso do projeto.

As causas para esses desvios são diversas e no escopo desse documento não serão detalhadas. Pode-se destacar algumas das principais:

- 1- Pressões políticas – devido ao ciclo político-eleitoral com mandatários encerrando seu ciclo político, se lançando candidato à reeleição ou outros cargos eletivos;
- 2- Tributário – as obras quando finalizadas dentro de um determinado exercício podem contribuir para uma balança comercial mais positiva;
- 3- Pressões sociais – A expectativa da sociedade por entrega de projetos é uma variável que influencia o prazo planejado do projeto.

A engenharia é um dos principais pilares para consolidar em bases sólidas a estrada em direção ao desenvolvimento econômico e social. Na fase de execução de um projeto de investimento, as técnicas de construção e montagem hoje aplicadas em grandes obras indicam que o país se encontra entre aqueles que detém bom nível de amadurecimento no gerenciamento de prazo de projeto. Em contrapartida, o que se observa no campo do planejamento e controle dessas grandes obras, deixa muito a desejar se o prisma comparativo são os países mais desenvolvidos como China, Estados Unidos, Alemanha e Japão. O profissional que domina técnicas de planejamento e controle é cada mais escasso no país.

Além disso, as formas de contratação observadas no mercado de construção civil e naval, têm como suas principais modalidades o EPC (*Engineering, procurement and construction*) e o *Turnkey*.

O EPC é a modalidade contratual na qual a empresa contratada é responsável pela pelo projeto (básico e detalhado dependendo da contratação), fornecimento de materiais e equipamentos (*procurement*), pela construção em si do objeto do escopo e no caso do EPCM, do gerenciamento do projeto (*management*). A modalidade Turnkey se refere ao contrato no qual toda responsabilidade do escopo do projeto incluindo o comissionamento e pré-operação. O próprio termo define que a partir de algumas especificações - GTD (*General Technical description*) -, o contratado deve entregar a “chave” do projeto pronto ao contratante.

No cenário brasileiro e mais especificamente na indústria de óleo e gás, pode-se notar por meio da observação cotidiana desses contratos que há, em grande parte deles, contestações e discordâncias de ambas as partes contratante e contratado sobre a melhor forma de gestão do prazo do projeto ao longo de um empreendimento. Os motivos não são objeto da presente pesquisa, mas revelam que contratante e contratado não possuem um objetivo alinhado em comum, sobre qual deveria ser um projeto entregue no prazo, custo e qualidade. Aditivos de custo e prazo são figuras jurídicas recorrentes nesses projetos, o que pode beneficiar indevidamente a empresa contratada e incentivá-la a prolongar pelo máximo tempo possível a execução do projeto.

Os projetos possuem início, meio e fim. Nem sempre o fim de um projeto ocorre quando tem seus objetivos alcançados. Alguns projetos podem ser cancelados em fases intermediárias, no meio do seu ciclo de vida. A segunda causa mais comum para o fracasso de um projeto é um inadequado gerenciamento de risco, superada apenas por uma pobre definição do escopo do projeto (SYMONDS, 2011a), conforme Tabela 5 a seguir.

Principais causas de falhas em projeto
Pobre definição de escopo
Gestão de risco inadequada
Falha em identificar requisitos chave
Gerentes de projeto com pouca experiência e treinamento
Ausência de uso de métodos e estratégias formais
Falta de comunicação efetiva em todos os níveis organizacionais
Pobre gerenciamento de expectativa
Liderança sem efetividade
Falta de documentação detalhada
Falha em seguir corretamente os requerimentos
Falha em medir o progresso
Falta de detalhamento dos planos de projeto
Imprecisões estimativas de tempo e esforço
Diferenças culturais em projetos globais

Tabela 5-Principais causas de falha em projetos (SYMONDS, 2011b)

2.2.1. Organizações orientadas por projetos

Muitas empresas de Petróleo possuem áreas projetizadas orientadas basicamente a atender as demandas de negócio por novos projetos. Assim como outros segmentos, as empresas desse setor necessitam continuamente de novos projetos de Exploração & Produção, em função da depleção natural dos reservatórios de hidrocarbonetos. Esse tipo

de organização empresarial interna se adequa a essa realidade já que os projetos são originados de baixo para cima (*bottom-up*).

O processo de constante renovação do portfólio de projetos das empresas de óleo e gás se inicia nas áreas técnicas exploratórias e na medida em que esses projetos adquirem robustez suficiente, seus responsáveis iniciam um processo de escalada na hierarquia da empresa, caracterizando assim o processo “de baixo para cima” (*bottom-up*) de aprovação. Quando o projeto atinge grau de maturidade e viabilidade técnica-financeira necessárias, ele então é sancionado pela hierarquia da empresa.

Sendo assim, a organização projetizada se torna quase uma necessidade para o setor. Alguns autores diferenciam “organizações baseadas por projetos” de “organizações orientadas por projetos” (MITEREV; MANCINI; TURNER, 2017), entre outras diversas nomenclaturas para esse tipo de organização: Empresa multi-projeto (GERALDI, 2008), empresas intensiva em projeto ((SÖDERLUND; BREDIN, 2006), organização multi-projeto (CANONICO; SÖDERLUND, 2010), companhia baseada em projeto (JERBRANT, 2013), organização matricial projetizada (ARVIDSSON, 2009).

Para o contexto dessa tese, é suficiente classificar uma empresa baseada em projeto como sendo aquela que possui estruturas permanentes que incorporam múltiplos projetos ou até mesmo outras empresas projetizadas (MITEREV; MANCINI; TURNER, 2017). Essas estruturas são dinâmicas. São criadas e extintas com base na demanda por novos projetos e conclusão de projetos na carteira.

2.3.Megaprojetos e Projetos complexos

A classificação de megaprojetos é difusa e não possui consenso geral entre os acadêmicos. Porém algumas definições orientam de maneira geral o que pode ser considerado um megaprojeto. Projetos que custo mais de US\$ 1 bilhão, aqueles realizados em empresas multi-organizacionais, caracterizados por singularidade, complexidade, orientação para o resultado (técnico, financeiro e prazo), número de responsáveis (ZIDANE; JOHANSEN; EKAMBARAM, 2013).

Tamanho	Larga Escala e grande escopo Demanda elevada tecnologia e logística
Custo	Excedem US\$ 1 bilhão
Tempo	Excedem 5 anos de duração
Sucesso	Possuem diferentes objetivos
	Falham em estimar custos, prazos e antecipar resultados
	São orientados por metas (técnica, financeira e prazo)
	Tem uma performance ruim em termos de economia, ambiente e suporte público
	Ocasionalmente custos acima do orçado e possuem receitas abaixo das previstas
Complexidade	Requerem gestão de numerosas, concorrentes e complexas atividades
	Possuem grandes elementos de inovação tecnológica
Impactos	Impactos na comunidade, ambiente e orçamento do estado
	Possuem impactos sócio-políticos
Singularidade	São únicos
Partes interessadas	Atraem alta atenção do público e interesse político
	Possuem conflitos, pobre cooperação entre os parceiros
Incerteza	Associada ao alto risco
Responsável pela implementação	Requerem entradas multidisciplinares de várias organizações
Conhecimento	Nova área de pesquisa

Tabela 6 - A tabela representa as características e elementos de megaprojetos ((ZIDANE; JOHANSEN; EKAMBARAM, 2013)

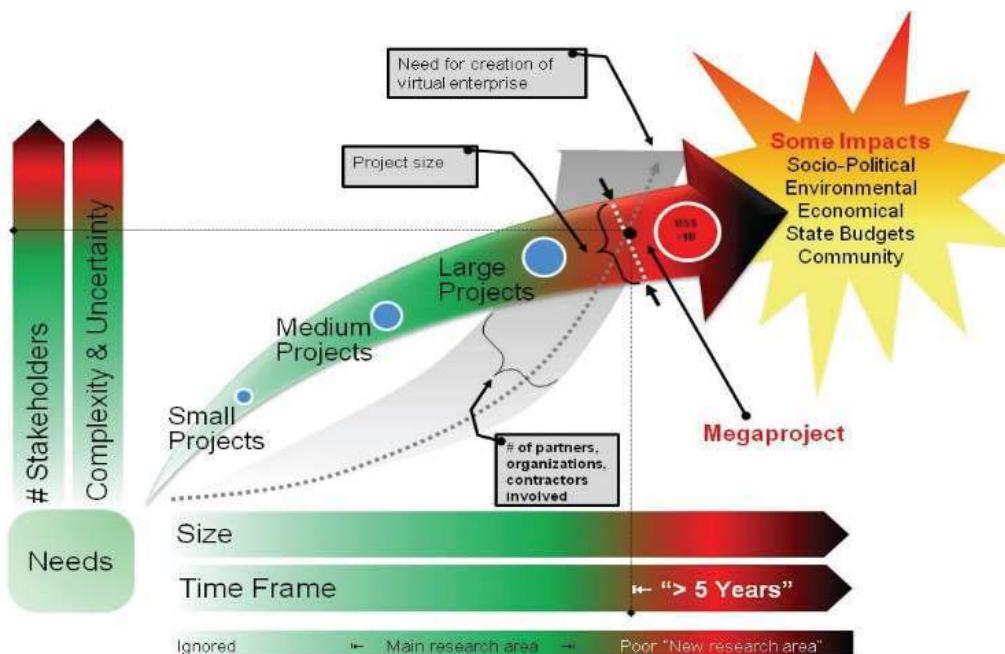


Figura 4 - Megaprojetos entre todos os projetos (Fonte: ZIDANE; JOHANSEN; EKAMBARAM, 2013)

A definição de megaprojetos e complexidade de projetos é bastante ampla considerando a grande abrangência do tema por inúmeros autores. Para (BACCARINI, 1996), projetos de construção são invariavelmente complexos a partir da Segunda Guerra Mundial e essa complexidade diz respeito as várias equipes/empresas/áreas de conhecimento inter-relacionadas. Uma segunda caracterização de complexidade explicada por Baccarini se mostra redundante já que traz diversos sinônimos da palavra complexidade, como “intricado”, “confuso”. Contudo o autor explica que a interpretação de complexidade está “nos olhos do observador”. Ou seja, envolve um conceito subjetivo sujeito a interpretações diferentes.

Megaprojetos são definidos pelo Departamento Americano de Transporte como sendo projetos com orçamento de pelo menos US\$ 1 bilhão, enquanto o IMPA (*International Project Management Association*) considera o valor de EUR 1 bilhão (MIŠIĆ; RADUJKOVIĆ, 2015)

Alguns autores (DANIEL; DANIEL, 2019; MAYLOR; VIDGEN; CARVER, 2008; XIA; LEE, 2005) diferenciam complexidade estrutural de complexidade dinâmica. A complexidade estrutural é caracterizada pela interdependência e diversidades dos componentes do projeto, enquanto complexidade dinâmica reflete mudanças e evoluções ao longo do tempo de projeto focada na dinâmica da relação entre componentes internos do projeto e componentes ambientais (GERALDI, 2011).

Sobre o termo complexidade, pode-se dizer que está frequentemente ligado a megaprojetos. Porém algumas definições são mais abrangentes. (REMINGTON, K.; POLLACK, 2016) promovem uma interseção entre a disciplina de gerenciamento de projetos (complexos) e sistemas complexos. Para os autores, sistemas complexos adaptativos possuem características conforme abaixo:

- Hierarquia – Caracterizado por sistemas e subsistemas assim um sistema dentro do outro. Assim um projeto complexo possui diversos subsistemas;
- Comunicação – Característica intrínseca de qualquer projeto, porém nos complexos com a particularidade de que existem um maior número de fronteiras e obstáculos para a boa fluidez da comunicação;
- Controle – Sistemas tipicamente mantêm a estabilidade da relação entre suas partes, e, portanto, mantém sua existência como um sistema. O controle é o que mantém o sistema unido num estado estável de operação;

- Surgimento - Significando que separadamente o sistema/atores não faz sentido, mas quando se conecta, ganha forma e função. Um exemplo são peças de bicicleta separadas as quais não possuem utilidade e essas mesmas peças montadas, revelando a real função de uma bicicleta), fase de transição;
- Fase de transição – Sistemas complexos adaptativos podem repentinamente adquirir nova forma em resposta a mudança de condições/ambiente. Trata-se do mesmo sistema (ou projeto) exibindo apenas propriedades diferentes. Na maioria das vezes em função de mudanças externas que geram mudanças internas;
- Não-linearidade – É causada pelo feedback positivo e induz mudanças. Significando que por alguma mudança ocorrida internamente, o projeto pode se beneficiar em um ciclo virtuoso;
- Capacidade de adaptação – É a resposta a mudanças ocorridas no ambiente/cenário para acomodar e tomar vantagem dessas mudanças. Um sistema que muda para se adaptar às novas condições se torna perene, mantendo a coerência com o ambiente;
- Sensibilidade a dependência das condições iniciais – Uma analogia utilizada pelo autor para explicar essa característica é o “efeito borboleta”. Pequenas alterações em determinado setor podem causar grandes alterações em outro setor completamente descorrelacionado ao primeiro. Exemplo clássico é o bater de asas de uma borboleta na América do Sul podendo causar um tornado na América do Norte. No que diz respeito aos projetos, um exemplo ocorre quando uma mesma equipe entregando o mesmo projeto em uma diferente situação inicial alcançam níveis de performance radicalmente diferentes.

O número de megaprojetos que não atinge pelo menos algum de seus objetivos (escopo, qualidade ou custo) é cada vez maior (MORRIS, PETER; HOUGH, 1988). Uma das formas de enfrentar esse fato é por meio da gestão de projetos e particularmente riscos em projetos. Dada a complexidade dos projetos atuais, o estudo dessa temática tem trazido cada vez mais interesse e pesquisas buscando contribuir para melhoria nos resultados de projetos complexos.

Os megaprojetos normalmente (mas nem sempre⁸) são liderados por grandes empresas. Essas empresas estão constantemente preocupadas com seu crescimento e perenidade (PENROSE, 1959). Esse argumento se torna relevante nos dias atuais pois vive-se a era do conhecimento e esse é reconhecidamente um fator diferencial competitivo. Com novas tecnologias, as empresas incorporam cada vez mais em seu corpo administrativo, gerencial e operacional conhecimentos que afetam diretamente as suas taxas de crescimento.

Este crescimento implica não apenas no aumento do produto nacional, mas também em uma mudança progressiva na economia. As empresas conseguem através de suas transformações alterar o quadro econômico de uma nação. Por isso, pode-se afirmar que as empresas hoje possuem um papel, por vezes, mais relevante que os governos nacionais na economia dos países, criando valor por meio principalmente de seus projetos.

No contexto do presente trabalho, importa destacar a definição de gerenciamento da construção, já que a temática envolve prioritariamente projetos de construção e montagem de unidades offshore. Dessa forma, Baccarini define o gerenciamento da construção como sendo um complexo processo, o qual requer habilidade em antecipar e modelar sistemas altamente dinâmicos e irregulares, incluindo cenário econômico e ambientes políticos e culturais; a habilidade de planejar e listar múltiplas e interdependentes partes interessadas, equipamentos e atividades; e a habilidade de lidar com complexidade técnica envolvida com possíveis novos e complexos equipamentos (BACCARINI, 1996).

Penrose em seu livro seminal (PENROSE, 1959) questiona quais são os princípios que orientam o crescimento rápido e por quanto tempo as empresas conseguem crescer. Apesar de abordar a temática, na década de 1950, os projetos não possuíam grande relevância como nos dias atuais. É inevitável a mudança no ambiente no qual as organizações se inserem no mundo pós-moderno. A pós-modernidade trouxe as empresas desafios, como aumento da concorrência, dificuldade de encontrar mão-de-obra especializada, firmar parcerias entre outros. Os consumidores estão famintos por mudanças, por inovações, por simplicidade conjugada com utilidade. A exigência pela

⁸ Quando se aborda o assunto, devemos separar o escopo do projeto em questão. Frequentemente megaprojetos industriais que resultam em ativos tangíveis são liderados por megaempresas, enquanto megaprojetos tecnológicos (com amplo escopo e alcance de mercado) que resultam em ativos intangíveis podem ou não ser liderados por megaempresas.

qualidade cresce exponencialmente assim como por preços justos. Cada vez mais projetos são executados com o objetivo de atender a essas demandas.

No contexto empresarial, qualquer estratégia corporativa de sucesso precisa ser construída a partir de um conjunto de premissas sugeridas por Porter conforme segue (PORTER, 1987):

- A competição ocorre no nível da unidade de negócio: uma empresa diversificada não compete diretamente no mercado, que o faz são suas unidades de negócio. Sendo assim, o sucesso da estratégia corporativa precisa surgir e reforçar a estratégia competitiva.
- A diversificação inevitavelmente adiciona custos e restrições às unidades de negócio: Além dos custos gerais corporativos, existem também outros custos e restrições menos evidentes gerados pelo fato de que as unidades de negócio precisam se submeter aos procedimentos e regras da corporação.
- Os acionistas podem se diversificar por conta própria: eles podem se diversificar de forma mais adequada às suas preferências, com menor riscos e de forma mais barata do que as corporações.

Assim, a estratégia corporativa só será bem-sucedida se realmente agregar valor às unidades de negócio, provendo benefícios tangíveis que superem os custos da perda de independência aos acionistas, gerando resultados que os mesmos não conseguiriam replicar por conta própria.

Um grande número de projetos na atualidade cresceu em tamanho e complexidade de forma nunca ocorrida antes na história humana. Isso se deve a vários fatores, dentre os quais destaca-se a necessidade de atender uma demanda cada vez maior por produtos e serviços, maior complexidade do escopo de projeto, multidisciplinaridade e grande número de interfaces, aumento da competitividade entre os atores no mercado global.

A população mundial encontra-se em crescimento⁹ e um número cada vez maior de pessoas tem acesso a produtos e serviços ofertados por empresas de todo globo. Esse crescimento populacional e consequentemente suas necessidades trazem consequências

⁹ Fonte: Banco Mundial – data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW?end=2018&start=1960&view=chart

dramáticas na gestão e tamanho dos projetos desenvolvidos atualmente. O tamanho dos projetos deve ser pensado não mais para atender a população local, mas sim a global, envolvendo uma enorme cadeia de fornecimento e distribuição para que possam ter viabilidade econômica.

Além da necessidade de disponibilizar novos produtos e serviços, esses projetos em muitos casos, demandam também mudanças no sentido de incremento das tecnologias empregadas no processo de produção e oferta dos serviços. Esse aumento de tecnologia traz consigo o aumento na complexidade da gestão dos projetos os quais demandam maior volume de recursos humanos e financeiros nos mais diversos segmentos do conhecimento.

Dados de mais de 300 megaprojetos globais mostram que 65% desses projetos possuem orçamentos maior do que 1 bilhão de dólares¹⁰ e falharam em atingir seus objetivos, quando o universo dos projetos em questão são os industriais, foco desse trabalho, a taxa de falha é maior do que 75% (MERROW, 2011).

Além de identificar a taxa de falha dos projetos, é importante ressaltar alguns indicadores que classificam megaprojetos como tal. O CII¹¹ formou um grupo de pesquisa para identificação de atributos que podem classificar o nível de complexidade de um projeto. Foram identificados 23 atributos e 37 indicadores agrupados em 11 categorias que avaliam o grau de complexidade de um projeto.

Categoria	Atributo	#	Indicador
Gestão das partes interessadas	Importância estratégica do projeto	1	Avaliar Influência do projeto no sucesso geral da organização (e.g.: lucro, crescimento, posicionamento no mercado etc.)
	Impacto sobre as partes interessadas	2	Avaliar o impacto das aprovações requeridas das partes interessadas no plano de execução original
		3	Avaliar o impacto das inspeções requeridas pelas agências regulatórias no plano de execução original

¹⁰ Ao contrário de (MIŠIĆ; RADUJKOVIĆ, 2015), (MERROW, 2011) considera outros fatores para classificar megaprojetos que não apenas o seu orçamento.

¹¹ <https://www.construction-institute.org>

Categoria	Atributo	#	Indicador
Governança	Parcerias	4	Identificar o número total de empresas envolvidas (joint ventures) no projeto
	Nível de controle / aprovações / prazos e autorizações	5	Antecipar quantas entidades de supervisão executiva acima da equipe de gerenciamento terá poder de decisão no plano de execução de projeto
		6	Antecipar o número de vezes que solicitação de mudança precisará de aprovação na hierarquia acima do gerente de projeto.
Planejamento Fiscal	Planejamento fiscal/financeiro	7	Identificar o número de portões de aprovação a partir do conceito até a finalização do projeto
		8	Avaliar os atrasos ou dificuldades que garanta os fundos do projeto
Qualidade	Qualidade dos fornecedores, contratados e subcontratados	9	Avaliar questões relativas à qualidade de materiais durante a execução do projeto
Legal	Obrigações regulatórias	10	Antecipar o número total de permissões que serão necessárias
		11	Avaliar o nível de antecipação da dificuldade em obter permissões
		12	Avaliar a dificuldade em obter aprovações do projeto de design
	Legal	13	Antecipar quantos problemas do plano de execução do projeto serão enfrentados devido a agências externas
Interfaces	Interfaces do projeto / Num. De participantes	14	Avaliar o número máximo de participantes (tempo integral) na equipe de gerenciamento de projeto durante a fase de engenharia detalhada
		15	Avaliar o número máximo de participantes (tempo integral) na equipe de gerenciamento de projeto durante a fase de suprimentos
		16	Avaliar o número máximo de participantes (tempo integral) na equipe de gerenciamento de projeto durante a fase de Construção e Montagem
Metas de execução	Metas de Custo	17	Comparar a meta de financiamento com benchmarks da indústria
	Metas de Prazo	18	Comparar a meta de prazo com benchmarks da indústria

Categoria	Atributo	#	Indicador
Design e tecnologia	Tecnologia	19	Avaliar a dificuldade do sistema de design e integração no projeto comparado com um projeto típico da companhia
		20	Avaliar o grau de familiaridade com os processos tecnológicos que irão envolver a fase de engenharia detalhada
		21	Avaliar o grau de familiaridade com a tecnologia (meios e métodos) que irão envolver a fase de Construção e Montagem
		22	Avaliar o grau de familiaridade com a tecnologia (meios e métodos) que irão envolver a fase de operação da instalação
Localização	Núm. De locações	23	Identificar quantos locais de execução do projeto serão usados durante a fase de engenharia detalhada
	Logística	24	Identificar quantos locais de execução do projeto serão usados durante a fase de fabricação (material de prateleira e equipamentos)
		27	Avaliar o impacto da localização do projeto no plano de execução de projeto
	Localização física	25	Avaliar a distância da localização do projeto a partir de áreas populadas
		26	Avaliar o nível de infraestrutura existente no local do projeto para suporte das necessidades
Definição de escopo	Gerenciamento de mudanças (dinâmica de mercado)	28	Identificar o percentual da fase de engenharia que necessita estar completa para iniciar a construção e montagem
		29	Avaliar o quanto claro é o processo de gestão de mudança para a equipe chave de projeto
		30	Avaliar o impacto de mudanças na magnitude na execução do projeto
		31	Avaliar o impacto de mudanças no escopo na execução do projeto
		32	Avaliar quanto significativamente a solicitação de informações ao mercado (RFIs) direciona mudanças no projeto
Recursos do projeto	Gerenciamento de campo direto	33	Identificar o percentual da equipe de gestão do projeto/construção irá trabalhar no projeto, comparado ao planejado
		34	Avaliar questões relativas à qualidade relacionada ao trabalho de campo durante a execução
	Disponibilidade de recursos	35	Verificar a frequência de atividades fora de sequência em função da indisponibilidade de materiais
	Rotatividade	36	Avaliar o percentual de rotatividade (<i>turnover</i>) do trabalho manual
		37	Avaliar o percentual de trabalho manual será alocado localmente

Tabela 7 - Categorias e indicadores de projetos complexos (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 2017)

2.4. Gerenciamento de Risco de Projeto

O ser humano é provido de racionalidade e a utiliza para solucionar os problemas com os quais se depara. O simples anseio por saber o que estar por vir para poder se antecipar na solução de problemas exerce grande influência no consciente humano. Seria vantajoso saber o que irá acontecer amanhã, ou daqui a um mês ou um ano. Poderíamos estar preparados para os acontecimentos vindouros de maneira que se fossem negativos ou prejudiciais, conseguindo amenizar ou até mesmo eliminar seus impactos negativos.

Diversos pensadores, filósofos, matemáticos estudaram a aleatoriedade e como lidar com ela. Girolamo Cardano foi um desses pioneiros a refletir sobre a aleatoriedade. Nascido na Itália em 1501, teve uma história de vida bastante peculiar. Mas deixou para a humanidade grandes contribuições sobre o tema que até hoje são válidas, como a Lei do espaço amostral. Em seu livro “*Liber de Ludo Aleae*”, ou “Livro dos Jogos de Azar” em português, Cardano deu o primeiro passo na direção de uma teoria da probabilidade, mais tarde sistematizada por Blaise Pascal e Pierre de Fermat. O arcabouço trazido pela Teoria da Probabilidade contribuiu fortemente para o avanço da disciplina de gerenciamento de riscos, incorporando resultados expressivos com o objetivo de determinar probabilisticamente datas de término de projetos.

Outra contribuição importante para a disciplina de gerenciamento de risco foi a Simulação de Monte Carlo. Ela é uma técnica simples, computacional que proporciona resultados probabilísticos acerca de durações e custos do projeto. Trata-se de simular diversas vezes sendo executado de acordo com as datas e custos planejados do início ao fim do projeto, levando em consideração variações otimistas e pessimistas de cada atividade. Nesse processo, podem surgir diversos caminhos críticos e subcríticos (*PERT* e *Critical Path Method*¹²). Esses caminhos – críticos e subcríticos - determinam as atividades que requerem mais atenção no que diz respeito a gestão, por parte da equipe de projeto.

¹² Existem dois métodos mais aceitos para determinar o caminho crítico de um projeto: PERT – *Program Evaluation and Review Technique* e o CPM – *Critical Path Method*. Ambos determinam qual é o fluxo de atividades de projeto que incorrem mais tempo (ou mais custo). Para maiores detalhes: (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2006)

O gerenciamento risco de projeto é hoje uma disciplina vastamente estudada e aplicada no contexto acadêmico e empresarial. Todo projeto, independentemente de seu tamanho e complexidade, possui riscos inerentes que podem impactar seus objetivos. Esses riscos podem ser gerenciados sob orientação de diversas metodologias existentes.

A metodologia mais utilizada por empresas com maior grau de maturidade em gerenciamento de projetos se baseia no guia PMBOK (PMI, 2013). Este guia oferece vasto material para que se possa estruturar um robusto processo de análise de risco. De acordo com o PMBOK e diversos outros autores, risco é um “evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo nos objetivos de um projeto, a metodologia aplicada nas empresas será discutida na próxima sessão.

Sendo assim, o PMBOK, possui um capítulo dedicado exclusivamente ao gerenciamento de risco. Esse guia traz em linhas gerais diretrizes para realizar uma análise de risco de projeto. A principal técnica sugerida por esse guia para análises quantitativas é a Análise de Monte-Carlo.

Em uma pesquisa tipo “survey” aplicada por Akintoye sobre a percepção da indústria de construção dos riscos associados com suas atividades e sobre a utilização das mais diversas técnicas de análise de risco e gestão foi concluído que essa gestão contribui para reduzir perdas e melhorar a rentabilidade (AKINTOYE; MACLEOD, 1997). Essa pesquisa apresenta diversos dados relevantes sobre o comportamento empresarial e estratégias para lidar com os riscos no setor de construção.

As principais informações obtidas dizem respeito as fontes de risco, os quais esses autores categorizaram em 9 grupos: Ambientais (forças da natureza); Políticos, sociais e econômicos; Contratuais; Financeiros; Construção (produtividade, segurança); Mercado de trabalho, Corporativo; Desenvolvimento de tecnologia da informação e Projeto (design). As técnicas citadas pelos autores foram prêmio de risco, índice de desconto ajustado de risco, probabilidade subjetiva, análise de decisão, análise de sensibilidade, Simulação de Monte-Carlo, dominância estocástica e Caspar e Intuição (AKINTOYE; MACLEOD, 1997). A técnica qualitativa pesquisada e utilizada no presente trabalho é a probabilidade subjetiva, que segundo os autores utiliza a experiência adquirida a partir de projetos semelhantes realizados no passado.

2.4.1. A metodologia aplicada em grande parte das empresas

Os objetivos da aplicação de uma metodologia de gerenciamento de risco são basicamente aumentar a probabilidade e impacto de ocorrência de eventos positivos e diminuir a probabilidade e impacto de eventos negativos em relação aos objetivos de projeto: prazo, custo e qualidade. Para tanto, como já mencionado anteriormente, seis (6) etapas são realizadas: Planejamento, identificação, qualificação, quantificação, resposta e monitoramento dos riscos. A orientação é que o gerenciamento de risco seja iniciado tão logo o projeto for aprovado.



Figura 5 – Objetivo do Gerenciamento de Risco (HULETT, 2011)

A Figura 5 acima deixa claro os benefícios que a aplicação de um processo de gerenciamento de risco pode trazer se for aplicado nas fases iniciais. Mostra também que ao longo do desenvolvimento do projeto, principalmente na fase final, os riscos têm menor potencial de impacto, são mais difíceis de serem mitigados e necessitam de investimentos cada vez maiores para efetivação de um plano de resposta. Um exemplo muito elucidativo diz respeito a erros e/ou mudanças de projeto na fase de execução da

obra. Suponha que toda uma estrutura metálica de um módulo de uma plataforma FPSO já está montada e por uma mudança solicitada pelo cliente ou erro seja necessário que um equipamento seja instalado onde já existe um contraventamento dando suporte estrutural e separando duas partes do referido módulo. Caso fosse realizada uma análise de risco na fase de projeto – com todos os atores envolvidos - possivelmente a necessidade seria identificada e tratada antes da fase de montagem do projeto e corrigido/alterado a tempo para uma solução menos custosa e demorada.

Na etapa de planejamento deve ser definido como conduzir o gerenciamento de risco das atividades de projeto. Essa etapa delinea, por meio de um plano, toda rotina do processo de gerenciamento de risco e é de extrema importância pois comunica, conscientiza e engaja a equipe de projeto sobre a importância de uma boa gestão de riscos. A prática comum em diversas empresas é a convocação de uma reunião de planejamento feita pelo líder do gerenciamento de risco da empresa ou do projeto com o gerente de projeto e sua equipe para orientações sobre a metodologia, prazos e cronograma para realização do Workshop de riscos, responsabilidade, determinação dos parâmetros da matriz de risco entre outros.

A etapa de identificação de riscos faz parte do workshop de risco e pode ser precedida pelo envio prévio dos riscos percebidos individualmente por cada líder de projeto, com o objetivo de otimizar o tempo de discussões e *brainstorming*¹³ durante o workshop. Nessa etapa os riscos são mapeados por toda equipe envolvida no projeto.

A terceira etapa é a análise qualitativa dos riscos identificados na fase anterior. Trata-se de priorizar os riscos para que os mais severos, sob a ótica da matriz de probabilidade x impacto (Figura 6), tenham uma maior atenção por parte da equipe de projeto. Para essa priorização, são elaboradas tabelas com a definição de faixas de probabilidade e impacto sobre os objetivos que se pretende gerenciar. No exemplo da Figura 7, prazo e custo.

¹³ *Brainstorming* é uma técnica de obtenção de informações na qual a meta é gerar uma extensa lista de riscos de projeto. Normalmente é realizada com uma equipe multidisciplinar que podem ou não fazer parte do projeto. As ideias e sugestões de possíveis riscos são sugeridas pelos participantes de forma livre.

Matriz Probabilidade x Impacto (P x I)						
Probabilidade						
Muito Alta	0,5	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Alta	0,4	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20
Média	0,3	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15
Baixa	0,2	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Muito Baixa	0,1	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
		Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
		Impacto				

Figura 6 – Matriz Probabilidade x Impacto (Fonte: O Autor)

Descrição do Impacto em Prazo					
Qualificação	Pontuação	PRAZO			
Muito Alta	0,5	Aumento/Redução de Prazo maior	20%	dias	
Alta	0,4	Aumento/Redução de Prazo entre	16% a 20%	dias	
Média	0,3	Aumento/Redução de Prazo entre	11% a 15%	dias	
Baixa	0,2	Aumento/Redução de Prazo entre	6% a 10%	dias	
Muito Baixa	0,1	Aumento/Redução de Prazo menor	5%	dias	
Descrição do Impacto em Custo					
Qualificação	Pontuação	CUSTO (US\$)			
Muito Alta	0,5	Aumento/Redução de custo maior	14%	Mi	
Alta	0,4	Aumento/Redução de custo entre	11% a 14%	Mi	
Média	0,3	Aumento/Redução de custo entre	7% a 10%	Mi	
Baixa	0,2	Aumento/Redução de custo entre	3% a 6%	Mi	
Muito Baixa	0,1	Aumento/Redução de custo menor	2%	Mi	
Descrição da Probabilidade					
Qualificação	Pontuação	PROBABILIDADE			
Muito Alta	0,5	Muito Provável			
Alta	0,4	Provável			
Média	0,3	Possível			
Baixa	0,2	Improvável			
Muito Baixa	0,1	Raro			

Figura 7 - Tabela de Probabilidade e Impactos (Fonte: O Autor)

Além disso, define-se a classificação de todos os riscos identificados através do resultado entre a probabilidade de determinado risco ocorrer e seu impacto nos objetivos do projeto, conforme Figura 8 a seguir.

ID	Título do Risco (Evento Incerto: Risco + Causas)	Causas	Impactos Potenciais	Hora da EAP	Categorias (EAR)	Data de Inclusão	Status do Risco	Área de Incidência / Disciplinas	Prior.	Prazo	Custo	Perí. SGR	Severidade
1			Impacto 1						Média	Muito Alto	Muito Alto	0,8	Alta
2			Impacto 2						Média	Muito Alto	Muito Alto	0,9	Alta
3			Impacto 3						Muito Alto	Alto	alta	0,9	Alta
4			Impacto 4						alta	Muito Alto	alta	0,9	Alta

Figura 8 - Planilha Análise Qualitativa (Fonte: O Autor)

Após a análise qualitativa, inicia-se a quarta etapa. A análise quantitativa de riscos, após uma checagem de consistência do cronograma do projeto, é executada um teste de estresse, aplicando a simulação de Monte Carlo, assim sendo todas as atividades do cronograma são simuladas tendo três ranges de variação: otimista, mais provável e pessimista. Esses ranges podem ser atribuídos como sendo um percentual da duração planejada. Uma boa prática de mercado sugere que esses percentuais sejam de 50% da duração planejada para a estimativa otimista, 100% para estimativa mais provável e 200% para estimativa pessimista. Dessa forma o cronograma possui uma vasta quantidade de cenários possíveis. Há profissionais de planejamento que optam por um detalhamento maior desses ranges de variação, fazendo-os variar de acordo com a duração planejada da atividade, conforme tabela abaixo:

Field	Value	Tasks	Distributi...	Min	Likely	Max	Correlati...	Description
Advanced Filter	= Filter 1	7455	Triangle	50%	100%	200%	none	Duration < 15 days
Advanced Filter	= Filter 2	8266	Triangle	70%	100%	150%	none	Duration < 30 days
Advanced Filter	= Filter 3	9224	Triangle	80%	100%	130%	none	Duration < 50 days
Advanced Filter	= Filter 4	465	Triangle	90%	100%	120%	none	Duration >= 50 days

Figura 9 - Tabela com range de variação para teste de estresse (Fonte: O Autor)

O teste de estresse no exemplo acima é executado de acordo com a duração das atividades. As atividades com duração planejada de até 15 dias são simuladas como tendo durações entre 50% e 200% de sua duração planejada. Atividades com até 30 dias são simuladas com duração de 70% a 150% de sua duração planejada e assim sucessivamente, conforme figura 4. Essa prática tem como objetivo simular o cronograma de uma forma mais realista, já que quando consideramos atividades com duração muito elevada, pode-se incorrer em erro de cenário. Um exemplo são atividades com duração de 100 dias ou

mais, apesar de não ser aconselhável durações tão longas. Caso algum evento de risco, por mais severo que seja, ocorra e impacte nessas atividades, dificilmente resultará numa duração de 200 dias.

Após o teste de estresse são obtidos alguns indicadores de criticidade e a partir deles, pode-se determinar um conjunto mais restrito de atividades que mais possivelmente impactarão na data de término do projeto. Com essas atividades determinadas e após uma sensibilização por parte da equipe de projeto mais próxima à realidade da fase do projeto em questão - Projeto básico, design, contratação e posteriormente execução da obra – uma lista de atividades é consolidada para realização do Workshop da análise quantitativa de risco.

Nesse Workshop, o fórum reunido deverá contar com participantes ativos do projeto, gerentes e outros colaboradores com experiência em projetos semelhantes. Essas pessoas irão avaliar com base no andamento do projeto e em suas próprias experiências anteriores, quais dos riscos identificados poderiam ocorrer nas atividades mais críticas e assim determinar suas estimativas otimista, mais provável e pessimista. A função de probabilidade mais utilizada, tendo como parâmetro essas estimativas é a triangular, porém existem outras distribuições que não serão escopo do presente trabalho¹⁴. A utilização dessa função se deve ao fato de que ela melhor representa o pensamento humano. Após a coleta das estimativas no workshop o analista de risco executa novamente a simulação de Monte Carlo fazendo variar agora somente as atividades estimadas e não mais o cronograma inteiro.

O resultado da simulação determinará estocasticamente qual será o caminho crítico, ou caminhos críticos do projeto além de oferecer probabilidades do projeto terminar em determinada data (P10, P50 e P90 por exemplo) e indicadores apontando quais atividades mais provavelmente impactarão o término do projeto, por meio do gráfico de tornado, conforme Figura 10 e Figura 11.

¹⁴ Para maiores detalhes, consultar (JOHNSON, 1997)

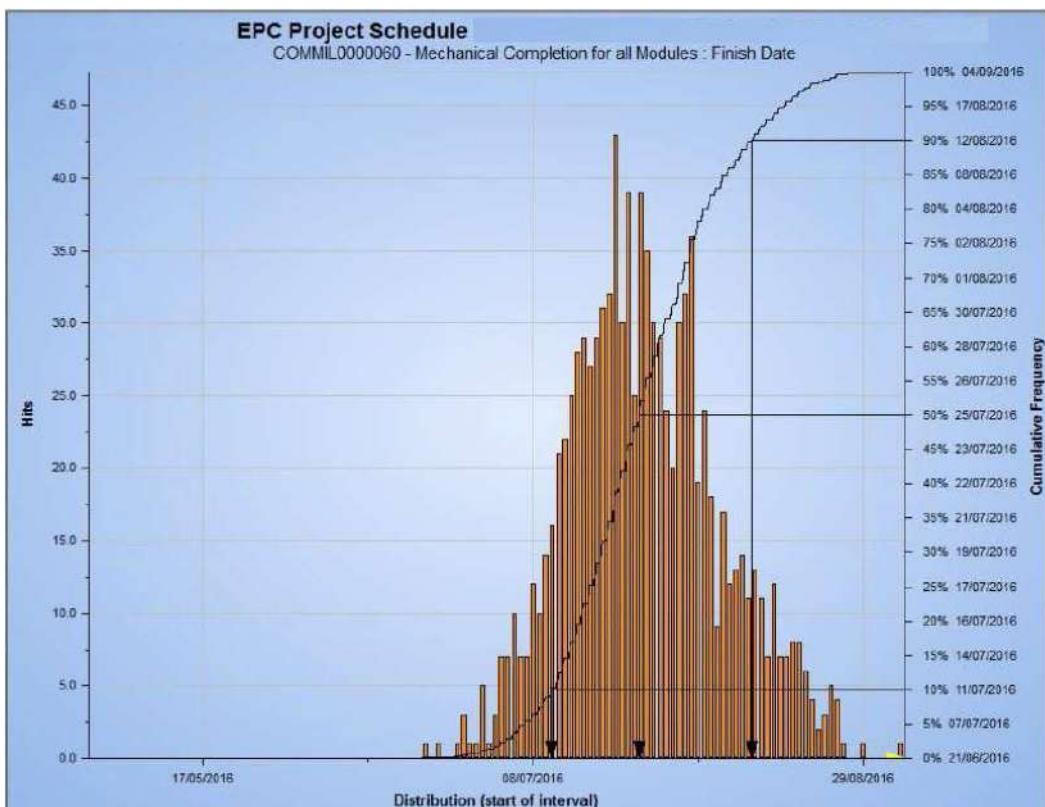


Figura 10 - Gráfico de distribuição de probabilidade da data de término de um projeto (Fonte: O Autor)



Figura 11 - Gráfico de Tornado (Fonte: O Autor)

Na Figura 10 são exibidas no eixo Y das ordenadas, ao lado esquerdo, a quantidade de vezes que a simulação encontrou determinada data, indicada no eixo X. No eixo Y das ordenadas ao lado direito é exibido o percentual de vezes referente a determinada data (por exemplo um marco ou término do projeto) que a simulação encontrou aquele marco ou término do projeto até aquela data.

A Figura 11 mostra o gráfico de tornado que exibe as atividades do projeto que mais impactam a sua data de término. Ele identifica e hierarquiza as atividades com maior probabilidade de influenciar a duração e término do projeto. O indicador exibido é o SSI – *Schedule Sensitivity Index* que é calculado como o produto entre o *Criticality Index (CI)*¹⁵ e a razão dos desvios padrão da atividade e do projeto. Na Figura 11 - Gráfico de Tornado, estão apresentadas as 10 atividades com maiores SSI com relação ao término do projeto.

A quinta etapa da análise de risco se refere ao planejamento de resposta aos riscos identificados. Nessa etapa são traçados planos que permitem aos gestores decidir sobre evitar, mitigar, transferir, compartilhar, melhorar ou aceitar os riscos mapeados, sendo eles ameaças ou oportunidades. Para cada risco são determinados responsáveis pelas ações, assim como prazos de execução dos planos.

Por fim, a sexta etapa procura monitorar e controlar os riscos e seus planos de resposta. Essa etapa constitui um fator crítico pois indica e comunica como estão sendo geridos os riscos. Com essa gestão, espera-se que os resultados subsequentes das análises quantitativas indiquem um aumento da probabilidade de término do projeto na data determinística.

Um gerenciamento de risco não deve ser finalizado até que o projeto se encerre. Ele é um processo que deve durar por todo ciclo de vida do projeto em uma busca constante e atenta na gestão dos riscos que podem vir a comprometer os objetivos do projeto.

Alguns dos benefícios esperados de uma boa gestão de riscos são:

- Minimizar gerenciamento por crise;
- Minimizar a ocorrência de surpresas e problemas;

¹⁵ *Criticality Index (CI)*, índice de criticidade, permite a identificação das atividades que mais provavelmente irão causar atrasos no projeto. Seu resultado representa o percentual de vezes que a atividade em questão passou pelo caminho crítico do projeto na simulação de Monte Carlo.

- Determinar de um plano de contingência adequado;
- Evitar retrabalho. Preparação para fazer certo da primeira vez;
- Aumentar a previsibilidade;
- Integrar os diversos atores do projeto

2.4.2. O planejamento em ondas e a análise de risco

O planejamento em ondas sucessivas de um projeto é uma sistematização aplicada ao cronograma no qual são elaborados sucessivos níveis de detalhamento de acordo com o horizonte de tempo e a maior ou menor certeza sobre detalhes das atividades. Esse tipo de planejamento pode e deve ser alinhado com a realização das sucessivas análises de risco. Cada onda de planejamento representa uma parcela do escopo do projeto arbitrada para ser detalhada em atividades necessárias à sua completa execução num horizonte de tempo definido, enquanto o restante do escopo não tem seu detalhamento avançado.

É comum que os gestores de projeto tenham uma visão mais detalhada das atividades que estão mais próximas de ocorrer, dentro de um horizonte de três meses por exemplo. Dessa forma o cronograma poderá ter um nível de detalhamento mais profundo para essas atividades, ao passo que atividades mais distantes serão descritas de modo mais geral e amplo. Quanto maior o nível de detalhamento do cronograma, mais específicos são os riscos inerentes àquelas atividades. Sendo assim, maior precisão pode ser atingida em uma análise de risco. Dessa forma, recomenda-se que assim que finalizada uma onda de planejamento, seja realizada uma rodada de atualização da análise de risco qualitativa e quantitativa, além da revisão e atualização dos planos de resposta.

Essa dinâmica de planejamento pode ser utilizada para mitigar riscos no curto e médio prazo, ou de acordo com o horizonte de planejamento da onda. Ela contribui para uma maior assertividade na avaliação dos potenciais riscos por especialistas pois atribui detalhes específicos ao escopo a ser avaliado. Dessa forma, é uma das práticas recomendadas no processo de gerenciamento de riscos de projeto.

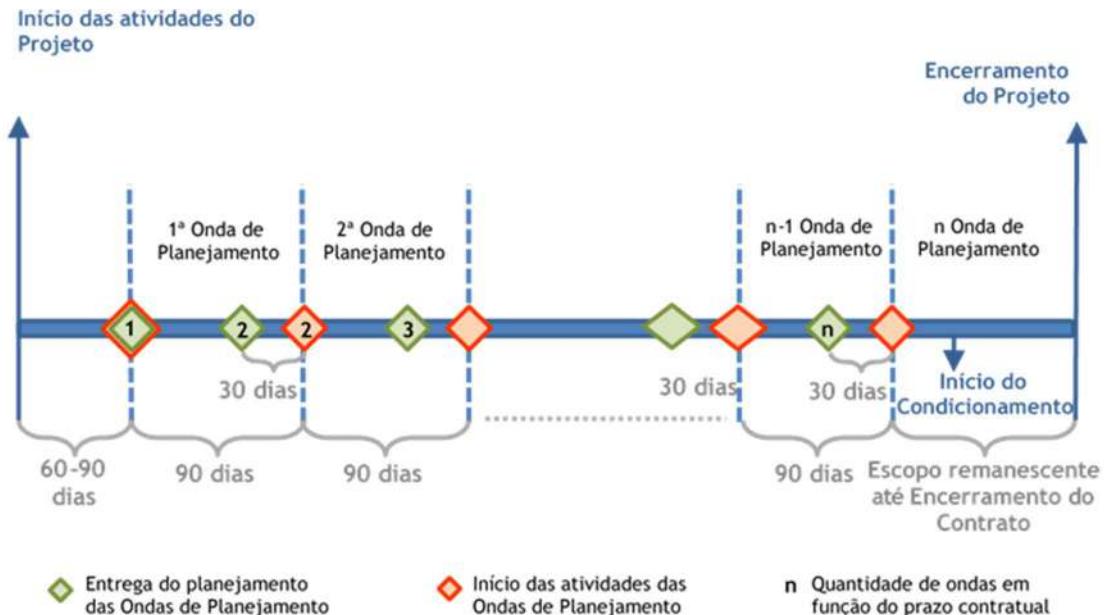


Figura 12-Processo do Planejamento em Ondas (Fonte: O Autor)

2.4.3. Advanced Work Packaging (AWP) e o Workface planning (WFP)

Advanced Work Packaging (AWP) é um conceito inicialmente desenvolvido pelo *Construction Industry Institute* (CII) e *Construction Owners Association of Alberta* (COAA). Trata-se de uma série de processos cuja intenção é melhorar a performance da construção desde seu conceito até o comissionamento. Engloba do desenvolvimento do Projeto Básico até a execução dos serviços no campo, dando ênfase ao processo de construtibilidade desenvolvido sobre a Maquete 3D. Estabelece uma sequência de emissão de documentos e aquisição de materiais de forma a atender as prioridades da construção e montagem, orientando a elaboração da EAP em função destas prioridades.

Os principais benefícios do AWP são (*"Construction Owners Association of Alberta"*, [s.d.]):

- A equipe de engenharia suporta o planejamento por meio de apoio na definição da sequência construtiva e cronograma;
- Os equipamentos fornecidos são mantidos dentro do cronograma, conforme planejado;

- Materiais são comprados e entregues de modo a suportar a construção, como se comportasse como uma produção puxada¹⁶;
- A comunicação de atividades específicas é aprimorada na frente de trabalho (*workface* ou *workfront*) do mais elevado nível até o campo;
- Restrições tais como disponibilidade de materiais e desenhos liberados para construção são melhor gerenciados;
- O trabalho objetivando o término do projeto é melhor controlado.

O *Workface Planning* (WFP) tem por objetivo executar os serviços certos com recursos certas no momento certo com o para otimizar a alocação de recursos financeiros e humanos, aumentando a produtividade. O WFP cria uma cultura de planejamento baseada no resultado final desejado, ou seja, realizar o projeto no prazo, custo e qualidade planejados. Essa metodologia faz com que as produções sejam “puxadas” e não mais “empurradas”¹⁷, trazendo diversos benefícios para gestão do projeto, como por exemplo redução de estoques intermediários, o avanço da obra se dá de acordo com a sequência de partida – ou seja, de acordo com a demanda.

Esses dois conceitos podem ser amplamente aplicados na realização do planejamento do projeto e por consequência no gerenciamento de risco, tornando os pacotes de trabalho com escopo mais definido e separando mais especificamente a equipe responsável pela execução do serviço. Dessa forma, é natural que cada líder ou supervisor de uma equipe tenha conhecimento suficiente de quais riscos podem incidir no escopo delineado para sua equipe.

¹⁶ O termo produção puxada se refere ao planejamento e controle da produção indicando que a estação de trabalho solicita trabalho da estação anterior apenas quando necessário – *make to order* (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2006) - em razão da demanda por exemplo. Esse é um dos princípios fundamentais da produção *Just-in-Time*.

¹⁷ O termo produção puxada se refere ao planejamento e controle da produção indicando que a produção não é baseada na demanda - *Make to stock* (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2006)

2.4.4. Variáveis de entrada e saída do modelo de Gerenciamento de risco tradicional

O modelo tradicional segue o padrão definido pelo PMBOK e possui como dados de entrada e saída:



Figura 13 - Entradas e saídas da análise de risco qualitativa no modelo tradicional (Fonte: O Autor)



Figura 14 - Entradas e saídas da análise de risco quantitativa no modelo tradicional (Fonte: O Autor)

Esse é o processo de análise de risco é seguido pela maioria das empresas maduras em gerenciamento de projeto.

2.5.Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy introduz e apresenta uma perspectiva diferente daquela tradicionalmente apresentada até então. Em 1965, na Universidade da Califórnia Berkeley, o matemático e engenheiro eletrônico, nascido no Azerbaijão e naturalizado americano, Lotfali Askar-Zadeh, mais conhecido por Lotfi Zadeh apresentou ao mundo seu trabalho seminal que daria origem a Teoria da Lógica Fuzzy. Suas ideias foram por algum tempo fortemente criticadas por matemáticos tradicionais e ele encontrou dificuldade em publicar seu primeiro trabalho sobre o tema que por dois anos foi recusado por jornais técnicos da época. Era inconcebível que a incerteza fosse permitida (Tanaka, 1996). Dessa forma ele utilizou seu próprio periódico chamado *Information and Control* para publicar tais conceitos com o lançamento de um artigo intitulado “Fuzzy Sets” ou “Conjuntos Fuzzy”.

Em 1974 as ideias de Zadeh foram pela primeira vez aplicadas na Universidade de Londres por Ebrahim Mamdani para controlar um motor a vapor simples. Após a primeira aplicação, o ferramental Fuzzy foi aplicado por diversos profissionais e empresas como Fuji Electric, Hitachi no Japão entre outras na década de 1980.

Como o próprio nome denota, Fuzzy (difuso, nebuloso) incorpora a ideia de incerteza, subjetividade, imprecisão. A princípio essas palavras podem causar repulsa para engenheiros e matemáticos, tão acostumados ao rigor e precisão nos resultados. De fato, o ser humano é bastante apegado a precisão e necessidade de ter absoluta certeza dos resultados que são apresentados diante da tentativa da solução de problemas.

Cada vez mais nos deparamos com problemas complexos de solução muitas vezes inviáveis, mesmo com potentes sistemas computacionais disponibilizados na atualidade. Para Lotfi Zadeh, “nós devemos encarar nossa tolerância para imprecisão” (ZADEH, 1973). Dessa forma é necessário que saibamos lidar com algum tipo de imprecisão. Quanto mais se puder determinar o grau de precisão ou imprecisão, melhor será para

determinar se a resposta para determinado problema atende ou não as expectativas desejadas.

Nesse contexto, a lógica Fuzzy apresenta ferramentas confiáveis para determinação do grau de precisão de uma determinada análise. Essa precisão (ou imprecisão) pode ser obtida por meio da determinação de funções de pertinência, como será detalhado ao longo da tese.

A maioria dos engenheiros e seus trabalhos não apresentam a incerteza em seus modelos e teorias. A lógica Fuzzy é dedicada justamente para caracterização e quantificação da incerteza em diversos problemas do dia a dia. No caso particular do presente trabalho, megaprojetos serão avaliados e decisões deverão ser tomadas com base em diversas variáveis que podem não ser facilmente quantificadas e estimadas. Dessa forma, uma questão fundamental abordada na presente pesquisa emerge: Até que nível de precisão devemos e/ou podemos alcançar para uma tomada de decisão em situações nas quais existem recursos limitados e informações vagas e subjetivas? A solução para tomada de decisão requer qual nível de precisão?

CHAMOVITZ & COSENZA (2010) explicam que o uso da lógica Fuzzy em sistemas (como projetos) complexos será indicado sempre que se pretende aproximar o modelo construído da realidade. Essa realidade advém da interação entre diversos atores, o que a torna complexa em diversos fatores. Na mesma linha, Zadeh enuncia que “quanto maior a complexidade do sistema, nossa habilidade em realizar afirmações precisas e significativas sobre o comportamento desse sistema diminui até o limite além do qual precisão e significância ou relevância são características quase mutuamente excludentes” (ZADEH, 1973). Tal afirmação veio a ser conhecida como Princípio da Incompatibilidade e é largamente usado na aplicação da Lógica Fuzzy.

Sendo assim, quando for considerada a possibilidade de utilização do ferramental Fuzzy para solução de determinado problema, o profissional deve ponderar a necessidade de explorar a tolerância da imprecisão em seu modelo (ROSS, 2010). No contexto apresentado nessa pesquisa, será visto que razoáveis níveis de imprecisão poderão ser aceitos em prol de uma tomada de decisão mais rápida.

Os sistemas Fuzzy possuem especial utilidade no que diz respeito a informações não somente numéricas, o que proporciona um apelo ainda maior no que diz respeito a

aproximar o comportamento de sistemas complexos onde funções analíticas e relações numéricas são inexistentes ou de improvável construção de modelos. A complexidade e subjetividade em muitas das questões postas no mundo moderno favorecem a aplicação da Lógica Fuzzy cada vez maior na academia e empresas.

Em resumo, (ROSS, 2010), explica que os sistemas Fuzzy são muito úteis em dois contextos principais. O primeiro diz respeito a situações envolvendo sistemas altamente complexos nos quais o comportamento não é bem entendido. O segundo contexto é apresentado em situações em que uma aproximação rápida da solução é necessária.

Com suas diversas aplicações no contexto da realidade complexa, incerta e imprevisível, esse ferramental vem se mostrando uma solução em vários campos de atuação como engenharia, medicina, economia, sociologia, biologia entre outros. Com ela, objetiva-se trazer para o campo dos quantificadores lógicos (Fuzzy) a complexidade da realidade, considerando essa complexidade e dificuldade em encaixá-la em padrões definidos ou mesmo fixando algumas variáveis. Com isso enfrentamos um *trade off*: quanto mais utilizamos a Lógica Fuzzy, menos precisos podem ser os resultados, porém mais confiáveis eles se mostram. Ao gestor será dada a possibilidade de optar entre resultados matematicamente exatos (no modelo tradicional) ou um modelo com resultados que considera variáveis de entrada com maior nível de subjetividade. Decidindo assim entre o incremento na dificuldade e uso de recursos para análise ou um modelo em prol de maior abrangência e eficiência na obtenção dos resultados.

No gerenciamento de risco de projeto, muitas vezes é preciso agilidade nos resultados para tomadas de decisões assertivas baseadas em informações em sua maioria imprecisas e incertas. Dessa forma, o *tradeoff* entre precisão e significância é bastante bem representado pela seguinte Figura 15 - Precisão X Significância no mundo real.

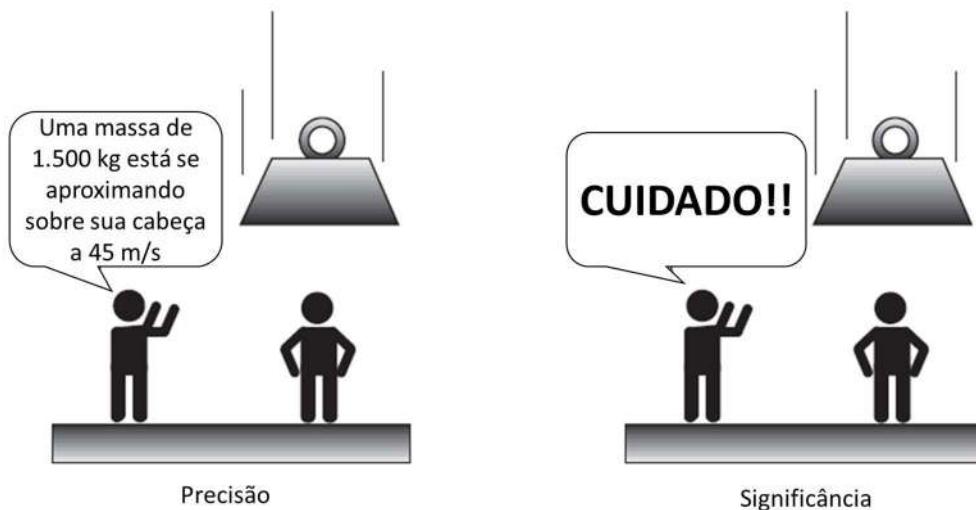


Figura 15 - Precisão X Significância no mundo real. (Fonte: Adaptado de (SIVANANDAM; SUMATHI; DEEPA, 2007))

Muitas vezes essa incerteza no resultado de uma análise pode ser melhor do que um resultado matematicamente exato, mas que não considera todas as variáveis do sistema complexo em questão. A lógica Fuzzy exibe resultado que adequa a importância relativa da precisão. Em determinadas situações, como exposta na figura acima, muitas vezes é melhor uma resposta rápida e menos precisa do que uma resposta precisa e demorada.

Não se pode ser simplista a ponto de imaginar que a realidade complexa se encontra entre zeros e uns. A lógica clássica e determinística nos impõe essa limitação. O que se procura com a Lógica Fuzzy é entender e quantificar valores intermediários, atribuindo-se graus de pertinência entre 0 (zero) e 1 (um) para determinar o grau de certeza, ou incerteza do pertencimento de uma variável dentro de um determinado conjunto (Fuzzy). Na lógica Fuzzy, a verdade de qualquer afirmação se torna uma questão de grau.

Algumas vantagens elencadas por (JANG, J. S. R.; GULLEY, 1995) para utilização da lógica Fuzzy em comparação com a lógica tradicional são:

- Naturalidade da abordagem com conceitos de fácil entendimento;
- Flexibilidade em sua aplicação;
- Tolerante com dados imprecisos;
- Modela funções não lineares da arbitrariedade da complexidade;
- Construída com base na experiência de especialistas;
- Baseada na linguagem natural, base da comunicação humana.

A lógica Fuzzy tem como um dos objetos de estudo, o pensamento humano em sua mais diversa e profunda complexidade, ambiguidade, subjetividade. Ela se propõe a traduzir em números e possibilidades aquilo que é processado no cérebro humano e externalizado através da fala, com os mais variados conflitos cognitivos e diferentes entendimentos, acerca dos problemas a serem discutidos e tratados.

A Lógica Fuzzy possui duas diferentes vertentes. No sentido estrito, a lógica Fuzzy é um sistema lógico que consiste em uma extensão da lógica multivalorada tradicional. Já em um sentido mais amplo, a Lógica Fuzzy pode ser considerada quase sinônimo da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, originada por Lotfi Zadeh. Essa Teoria relaciona objetos ou elementos a conjuntos com fronteiras nebulosas ou mal definidas. O conceito de grau de pertencimento é a maior consideração a ser feita nessa Teoria. Esse grau de pertencimento tem por objetivo quantificar o quanto cada elemento pertence a cada conjunto.

Para maiores detalhes técnicos sobre aplicações da lógica Fuzzy, consultar Apêndice I.

2.5.1. Fuzzificação e Defuzificação

A utilização da Lógica Fuzzy passa necessariamente pelo processo de Fuzzificação, mas não necessariamente pelo processo de defuzzificação. Esses dois processos são fundamentais para entendimento e aplicação da Lógica Fuzzy.

O processo de fuzzificação é o processo de transformar as entradas tradicionais (*crisp*) em entradas Fuzzy (ROSS, 2010). Isso pode ser feito apenas reconhecendo que muitas variáveis que consideramos *crisp* e determinísticas na verdade não são absolutamente determinísticas, assim como as estimativas de possibilidades de ocorrência de um evento de risco em um projeto por exemplo. Elas carregam consideráveis incertezas.

Se a forma de incerteza é originada pela imprecisão, ambiguidade ou vagueza, então a variável é provavelmente Fuzzy e pode ser representada por funções de pertencimento (ROSS, 2010). Ou seja, a fuzificação nada mais é do que a transformação das variáveis numéricas tradicionais em variáveis Fuzzy, chamadas de funções de pertencimento.

A defuzificação pode ser realizada em função da necessidade de obtenção de valores numéricos tradicionais (*crisps*). Enquanto os conjuntos Fuzzy são ferramentas valiosas para processar a incerteza, muitas decisões e sistemas requerem valores numéricos (FAYEK, 2018). Por exemplo quando um carro autônomo precisa “reduzir a velocidade”. Um computador não está apto a usar o conceito Fuzzy diretamente (por exemplo reduzir a velocidade lentamente) mas ao invés disso precisa de valores tradicionais (*crisp*) (FAYEK, 2018). Dessa forma, a defuzificação é aplicável quando sistemas de controle Fuzzy são utilizados, mas na maioria das aplicações, a defuzificação é opcional.

Assim o processo de fuzificação e defuzificação pode ser resumido da seguinte forma, segundo (ROYCHOWDHURY; PEDRYCZ, 2001):

$$\mathbb{R} \rightarrow Fuz(\mathbb{R}) \rightarrow \tau \rightarrow IE(\tau) \rightarrow \tau \rightarrow Def(\tau) \rightarrow \mathbb{R},$$

Onde:

\mathbb{R} é o conjunto dos números reais

$Fuz(\mathbb{R})$ é a denotação do processo de fuzificação

τ é o domínio dos conjuntos fuzzy

$E(\tau) \rightarrow \tau$ é o motor de inferência (normalmente Mamdani)

$Def(\tau)$ é a denotação do processo de defuzificação

Sob uma perspectiva epistemológica, o processo de defuzificação não é tão simples quanto possa parecer. Segundo (ROYCHOWDHURY; PEDRYCZ, 2001), a certeza envolve lidar com aspectos epistemológicos onde um pedaço de conhecimento pode não ser conhecimento se estiver errado ou obscuro. Existem diversas teorias epistemológicas¹⁸ onde a (PEI, 2004) certeza é medida por meio da identificação do conjunto de crenças que podem ser completamente justificadas, e não deixam margem para dúvida na cabeça do observador (ROYCHOWDHURY; PEDRYCZ, 2001).

¹⁸ Ver MARTINS JP, S. S. **Reasoning in multiple belief spaces**. [s.l.] Encyclopedia Artif Intell, 1984. GRIFFITHS A... **Knowledge and belief**. Oxford, UK: Oxford Univ. Press, 1967. P., E. **The encyclopedia of philosophy**. [s.l.] New York: MacMillan Co., 1967.

A teoria da incerteza divide com fontes epistemológicas onde pode haver várias crenças na mente do observador, ou seja, no presente trabalho, o conjunto de pessoas que compõem a equipe de projeto. A nebulosidade ou vagueza é devida a falta de conhecimento completo sobre determinado tema (GRIFFITHS A., 1967; MARTINS JP, 1984), e isso induz a um conjunto de verdades parciais, para as quais justificativas racionais podem ser difíceis de se obter (ROYCHOWDHURY; PEDRYCZ, 2001). E na complexidade de muitos sistemas e projetos, é preciso conviver com essas verdades que o referido autor denomina de parciais. O mesmo acrescenta ainda que em um “mundo de conhecimento e entendimento limitado, nós sempre inferimos informações usando nossas crenças e noções e nós criamos conceitos vagos e amorfos” (ROYCHOWDHURY; PEDRYCZ, 2001).

Quando o modelo Fuzzy é proposto em análises de risco, a justificativa se resume aos trechos citados acima. Como cada projeto é único e com diversas possibilidades de cenários e eventos, o processo de fuzificação e defuzificação é capaz de tornar a análise sobre essas possibilidades e cenários de forma mais confiáveis (FAYEK, 2018).

2.5.2. Possibilidade, Vagueza e Imprecisão

(DUBOIS *et al.*, 1993), defende que uma das mais controversas questões da modelagem da incerteza e ciência da informação é o relacionamento entre a teoria da probabilidade e os conjuntos Fuzzy. De acordo com o autor, existem “pontes” que ligam a Teoria da Probabilidade e a Teoria dos Conjuntos Fuzzy. Um primeiro ponto de vista é reconhecer a medida de possibilidade como um “envelope” da probabilidade.

Outro ponto importante diz respeito a conjuntos aleatórios e funções baseadas em crenças. Sobre esse enfoque, a visão das medidas de possibilidade como fronteiras superiores da família das medidas de probabilidade foram adotadas no fim dos anos setenta (1970) em um modelo mais restrito chamado de conjuntos aleatórios e teoria das funções de crença (*belief function theory*) (DUBOIS *et al.*, 1993). Outra semelhança ou ponte, é a função de probabilidade pode ser interpretada como a função de pertencimento na lógica Fuzzy. Nesse trabalho, o autor aponta frequentes confusões que são geradas a partir das teorias

da probabilidade, possibilidade e conjuntos Fuzzy. Ressalta também conexões e lacunas entre as referidas teorias.

Sendo assim, a incerteza pode ser encarada com essas duas principais teorias brevemente referenciadas acima: a Teoria da probabilidade e a Teoria da Possibilidade. A primeira muito mais conhecida do público geral, sobre a qual não serão detalhados seus axiomas. A segunda, não tão conhecida, serve de base para o arcabouço da Lógica Fuzzy. Ambas diferem apenas por um dos 16 axiomas, entretanto há diferença significativa entre lógica Fuzzy e a lógica probabilística (GAINES, 1978).

Esse mesmo autor explica que o termo lógica Fuzzy tem sido usado na literatura com diversos significados:

- 1- A base para argumentos com declarações/opiniões vagas – nesse caso o termo Fuzzy tem um sentido coloquial antes de Zadeh enunciar uma definição técnica, com usos independentes do termo;
- 2- Base para argumentos linguísticos com declarações vagas usando a teoria dos conjuntos Fuzzy para fuzificação de estruturas lógicas – Essa definição mais restrita corresponde ao arcabouço definido por Zadeh nos valores linguísticos;
- 3- Lógica com diversos valores que variam de 0 a 1 – Dando origem ao que é chamado das funções de pertencimento.

A incerteza surge basicamente da vagueza e imprecisão da informação. Apesar de serem duas palavras que podem trazer ideias semelhantes, elas diferem no que diz respeito a capacidade ou falta dela de medir alguma variável ou avaliar deterministicamente uma questão. A vagueza está mais associada a julgamentos que tem uma característica de avaliação muito pessoal. Exemplo de informações vagas são qualidade de imagem (boa, ruim) avaliação da beleza de uma pessoa (feia, bonita).

Por outro lado, a imprecisão é usada para quantificar uma variável aleatória e também pode ser usada para descrever a falta de conhecimento para entidades descritivas. Está associada a dificuldade de quantificar informação. Um exemplo de imprecisão se relaciona com um determinado instrumento de medição, que possui determinada escala que intrinsecamente traz algum grau de incerteza. Dessa forma, medir um campo de futebol com uma régua com escala de metros traz uma inexactidão, ou imprecisão mais do

que medir esse mesmo campo com uma régua escalada em centímetros. Além disso esse nível de imprecisão pode ser medido (ROSS, 2010).

Em 1977, Zadeh enunciava que a “imprecisão intrínseca na linguagem natural é, majoritariamente, “possibilística” (*sic*) ao invés de probabilística por natureza” (ZADEH, 1977). Dessa forma, explica o autor, empregar o conceito de distribuição de possibilidade, a uma proposição, p , em linguagem natural, pode ser traduzido para procedimentos os quais calculam a distribuição de probabilidade se um conjunto de atributos que estão implicados por p .

Quando se trata de possibilidades, a maior preocupação passa a ser com o significado da informação ao invés de sua medição ou quantificação. O grande avanço na aplicação da Lógica Fuzzy no gerenciamento de risco de projeto está diretamente relacionado a afirmação anterior, no que diz respeito a tentativa de aproximar o significado das informações oriunda de julgamentos pessoais, e que, portanto, podem variar de indivíduo para indivíduo. Essas informações se enquadrarão em um sistema organizado que podem se encaixar em determinados padrões cada uma dessas avaliações e por fim prover resultados confiáveis e assertivos.

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy encarada como base para criação da Teoria da Possibilidade desempenha função similar àquela encontrada na teoria da medição (*measure theory*) em relação a teoria da probabilidade. Dentro dessa perspectiva uma restrição Fuzzy pode ser interpretada como uma distribuição de possibilidade, com sua função de pertencimento desempenhando o papel de função de distribuição de possibilidades e uma variável Fuzzy está associada com a distribuição de possibilidade da mesma maneira que a variável aleatória está associada com a distribuição de probabilidade (ZADEH, 1977). Dessa forma, a Teoria de Possibilidade ou Teoria da Incerteza, se preocupa em lidar com informações incompletas

O conceito de Possibilidade pode ser melhor explicado por três axiomas:

- 1- Assume-se que o espaço amostral é uma descrição exaustiva dos estados futuros ou alguma característica que se pretenda avaliar. Nada fora desse espaço tem significado: $pos(\emptyset) = 0$;

- 2- Assume-se que não há contradição dentro do espaço amostral o que implica que dentro desse espaço há pelo menos um elemento com possibilidade 1: $pos(\Omega) = 1$;
- 3- Corresponde ao axioma da soma na teoria das probabilidades, com a seguinte notação: $pos(U \cup V) = \max(pos(U), pos(V))$ para qualquer subconjunto separado de U e V.

É importante ressaltar que diferente de possibilidade, a lógica Fuzzy é composicional com relação ao operador união e interseção. A diferença entre ambas pode ser exemplificada com o nível de água em uma piscina. Na lógica Fuzzy quando a piscina está cheia até a metade, pode ser dito que o nível de verdade da proposição $p =$ a piscina está cheia é 0,5. A palavra “cheia” pode ser tomada como um predicado Fuzzy descrevendo a quantidade de água na piscina.

Já na teoria da possibilidade, pode ser dito que existe uma piscina completamente cheia ou vazia. A proposição $p =$ a possibilidade do nível que a piscina está cheia é de 0,5 descreve o grau de crença nessa afirmação. Pode ser interpretado como uma crença sobre a chance de a piscina estar cheia.

A representação “possibilística” da incerteza é qualitativa por natureza (DUBOIS; PRADE, 1995). Com essa máxima, pode-se aplicar tal teoria no gerenciamento de risco em sua fase qualitativa, onde a informação é apenas parcial. Considerando um dos objetivos do gerenciamento de risco qualitativo reduzir a chance de impactos negativos no projeto, o que em última análise, trata-se de uma tomada de decisão com relação ao plano de ação a seguir para mitigação de determinado risco. Assim sendo, pode-se tomar a Teoria da Possibilidade como uma ferramenta útil para o modelo proposto.

A Teoria da Possibilidade parece se adaptar de forma bastante adequada à presente pesquisa pois provê uma representação de uma ignorância parcial. Seu cerne é também qualitativo por natureza pois requer uma escala onde o máximo, mínimo e outras podem ser definidas. A natureza qualitativa se alinha com o fato de que apenas informação incompleta está disponível nas situações práticas do dia a dia (DUBOIS; PRADE, 1995). Essa afirmação reforça a aderência da teoria com a prática do gerenciamento de risco de projetos, onde as informações em sua grande parte não são completamente conhecidas pelos atores envolvidos e está baseada em suas próprias experiências.

A diferença entre os diversos tipos de incerteza também foi objeto de estudo de Gaines (GAINES, B. R.; KOHOUT, 1975). Foram categorizados três tipos de incertezas pelo autor, conforme abaixo:

Incerteza Possível	Incerteza Frequente	Incerteza Provável
É um evento sobre o qual nenhuma confiança pode ser afirmada até a ocorrência ou não do evento. Isso significa que um evento com consequências negativas deve ser levado em consideração, porém uma consequência positiva desse evento não deve ser levada em consideração. A Teoria da Probabilidade não provém nenhuma explicação sobre esse conceito.	Um evento E é frequente no sentido da Teoria das sequências infinitas, ou seja, na sequência de eventos, E_i , por qualquer N, existe M>N, tal que $E_m = E$, i.e., E ocorre “frequentemente” na sequência E_i . Isso corresponde a interpretação de E como um evento sobre o qual a ocorrência pode ser considerada, porém sua frequência relativa de ocorrência não é necessariamente estável ou conhecida. A explicação possível na Teoria de Probabilidade é que $P(E) > 0$, o evento com uma probabilidade diferente de zero.	O evento E é frequente e sua frequência relativa de ocorrência em uma sequência de eventos converge para um valor definido, P(E), a sua probabilidade de ocorrência.

Tabela 8 - Tipos de Incerteza – (GAINES, 1975)

Em resumo, o quadro acima expõe que na incerteza possível não se pode afirmar nada sobre sua ocorrência, na incerteza frequente existe uma probabilidade de ocorrência do evento desconhecida enquanto na incerteza provável tem uma probabilidade conhecida.

A diferença entre a Teoria da possibilidade e a lógica Fuzzy ainda é tema e motivo de grandes equívocos e discussões. Ambas se preocupam com a temática da incerteza, porém cada uma possui sua particularidade. Ainda atualmente a Lógica Fuzzy é confundida com a Teoria da Possibilidade, principalmente devido à dificuldade no entendimento entre verdade parcial e crença parcial (DUBOIS; PRADE, 2017).

Cabe ressaltar no contexto da aplicação da Lógica Fuzzy a diferença entre Chance e Incerteza, conforme vimos acima relacionamento a teoria de probabilidade e da possibilidade, a vagueza (ou Fuzziness) descreve a ausência de distinção de um evento, enquanto Chance descreve a incerteza sobre a ocorrência de um evento (ROSS, 2010). Para exemplificar essa diferença, imagine que no processo de seleção de um jogador de vôlei, o recrutador esteja procurando um jogador “muito alto”. Uma das informações do recrutador é que em determinado local do país indica que existe 95% de chance de encontrar um jogador maior do que 2,00 (dois) metros de altura. Outra fonte indica que existe um bom jogador em outro lugar do país com um alto grau de pertencimento no conjunto dos “muito altos”. O problema com a informação da primeira fonte é que se trata de uma quantidade ou valor probabilístico. Existe a chance de 5% que na primeira região o jogador não tenha dois metros e poderia inclusive ser alguém de estatura extremamente baixa.

2.5.3. Modelo Básico Fuzzy

Um modelo básico e genérico de utilização do processo de análise por meio da Lógica Fuzzy segue o esquema a seguir:

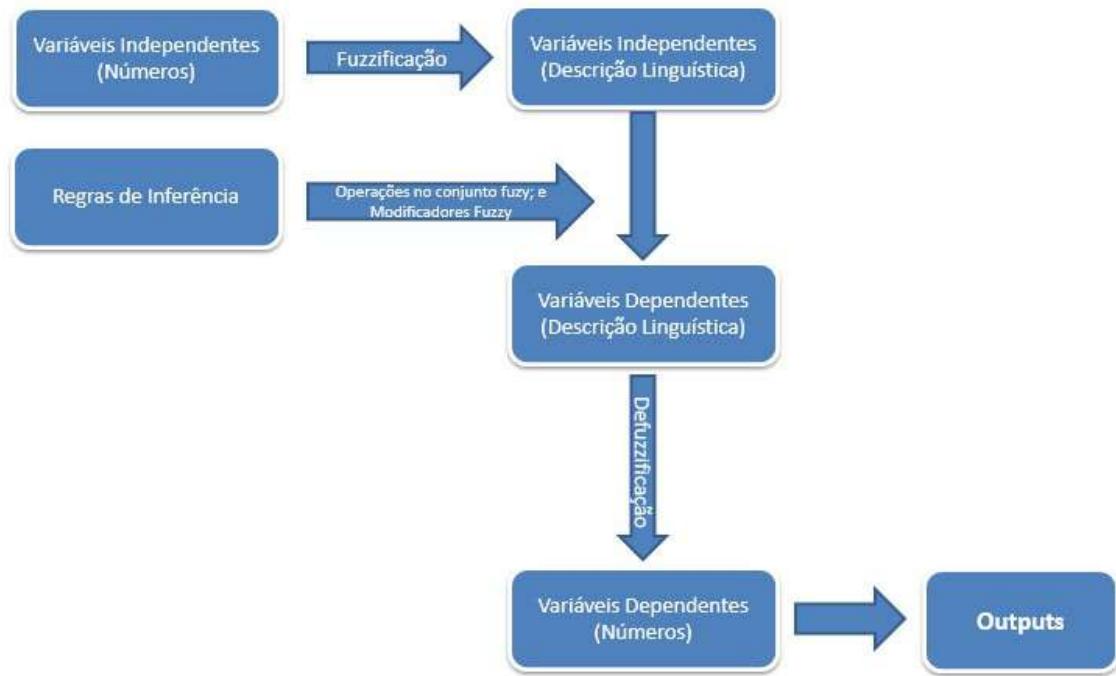


Figura 16 - Sistema Fuzzy (SHANG; HOSSEN, 2013)

Os passos para montagem de um sistema Fuzzy são (SHANG; HOSSEN, 2013):

- 1- Selecionar variáveis independentes como direcionadoras determinantes ou indicadores da variável dependente;
- 2- Criar conjuntos Fuzzy para as variáveis dependentes e independentes. Ao invés de usar valores numéricos, são utilizados conjuntos Fuzzy e a linguagem humana para descrever a variável. O grau de verdade (pertencimento) de cada variável pertence a certo conjunto Fuzzy específico, por meio da função de pertencimento;
- 3- Regras de inferência são construídas (arbitrariamente). Modificadores Fuzzy podem ser usados para alterar sutilmente a função de pertencimento, de acordo com a descrição das regras de inferência;
- 4- O conjunto de saída Fuzzy da variável dependente é gerado com base nas variáveis independentes e as regras de inferência. Após a defuzzificação, um valor numérico pode ser usado para representar o resultado do conjunto de saída Fuzzy.
- 5- O resultado é então usado para subsidiar o tomador de decisão.

É importante notar que no passo 4, o valor numérico apresentado na defuzzificação pode ou não ser usado. Dessa forma, o resultado pode ser apresentado de duas formas: fuzzificado ou defuzzificado.

2.5.4. A Lógica Fuzzy e suas aplicações

Projetos de engenharia possuem inúmeras interfaces entre os diversos atores envolvidos desde a fase de concepção até a operação. Em comum a todas essas fases é a incerteza em maior ou menor grau relacionada aos eventos futuros com chances de impactar positiva ou negativamente o prazo do projeto. Contudo, as incertezas envolvidas em determinados tipos de situação são das mais diversas origens. Algumas delas podem ser expressas matematicamente, outras mais adequadamente de forma linguística.

Diversos tipos de incerteza podem não ser modeladas pela teoria da probabilidade. Essas incertezas estão sujeitas e se originam de subjetividade, ambiguidade, vagueza/imprecisão. A incerteza está particularmente inserida no contexto de projeto, que por definição possuem escopo definido e único, não sendo, portanto, um processo. Dessa forma, torna-se impossível gerir um projeto assim como algum outro projeto no mundo foi gerido. Cada projeto possui suas particularidades e desafios.

O gerenciamento de projetos, em especial, projetos de engenharia e construção & montagem envolve o desenvolvimento de aplicações e técnicas que objetivam contribuir com a habilidade de planejar, estruturar, prever, controlar e avaliar esses projetos para atingir o escopo, prazo, custo e qualidade (FAYEK, 2018). Além do fato de que cada projeto é único, a sua complexidade tem relação direta com alguns fatores como número de interfaces e volume de recursos aplicados.

A aplicação da lógica Fuzzy foi bastante criticada e gerou bastante resistência por diversos estatísticos tradicionais. Entretanto sua utilização passou a ser mais ampla no momento que se percebeu a complementaridade entre as teorias tradicionais, como pode ser explorado em autores como (ZIMMERMANN, 1985) e (ROSS, 2010).

A variável linguística tem como função mais importante fornecer uma maneira sistemática para caracterizar de forma aproximada fenômenos complexos e mal definidos. Dessa forma, o uso de uma descrição por linguagem natural ou descrição linguística e não por meio de variáveis quantificadas (números), permite o tratamento de sistemas complexos a serem analisados por temos matemáticos convencionais (GRECCO, 2012). A abordagem da lógica Fuzzy é uma adequada e poderosa ferramenta que pode lidar com

a linguagem natural e raciocínio aproximado, traduzindo matematicamente variáveis linguísticas em números.

Muitos avanços na teoria foram observados em diversas direções (inteligência artificial, ciência da computação, engenharia de controle, teoria da decisão, sistemas experts, pesquisa operacional, reconhecimento de padrões e robótica), entretanto é extremamente difícil para profissionais e pesquisadores recém apresentados as técnicas Fuzzy reconhecer propriamente o estado da arte desse arcabouço (ZIMMERMANN, 1985).

Além das áreas descritas acima, as aplicações dos conjuntos Fuzzy podem ser encontradas na generalização da matemática tradicional como topologia, teoria dos grafos, álgebra etc.; Aplicações em algoritmos como métodos de clusterização, controle, programação matemática, aplicação em modelos de transporte, estoques, manutenção entre diversas aplicações no mundo real (ZIMMERMANN, 1985). Essas aplicações demonstram o quanto ainda pode se expandir essa técnica que considera um fator cada vez mais presente na modernidade: a incerteza e aleatoriedade.

2.5.5. Tomada de decisão com informações Fuzzy

A tomada de decisão é uma importante área do conhecimento científico que tem sido aplicada em algumas áreas, com maior destaque nas ciências sociais e econômicas. Uma das grandes problemáticas de tomar decisões em cenários de incertezas é o volume de informações sobre os possíveis resultados para cada um desses cenários. Essas informações podem ter mais ou menos valor (importância), ser mais ou menos precisas, ser mais ou menos dinâmicas (se alterando com o passar do tempo). Os planos de ação decorrente do tratamento dessas informações podem também ser tipicamente vagos e imprecisos.

Esse é o cenário que se depara quando se trata de gerenciamento de risco em projetos de grande complexidade. Projetos desse tipo envolvem elevada quantidade de recursos e a maior parte das decisões sobre os rumos tomados tem grande impacto para o projeto e as partes interessadas. As consequências das ações e decisões podem resultar em sérios danos à saúde dos trabalhados, ao meio ambiente e mesmo a economia como um todo.

Nesses casos, os seres humanos não tomam decisões consistentes com a teoria da utilidade racional (MAES, M. AND FABER, 2004). Na verdade, estudos da psicologia cognitiva mostram que a racionalidade é uma hipótese fraca no processo de tomada de decisão, facilmente refutada e portanto, nem sempre útil como explicação axiomática da Teoria da Tomada De Decisão (ROSS, 2010). A preferência humana por pelo risco em um ambiente de elevada incerteza não é facilmente modelada por métodos racionais (ROSS, 2010).

ROSS (2010) ressalta que se deve ter em mente que para a tomada de decisão em ambientes de incerteza “*existe uma diferença entre uma boa decisão e um bom resultado*” (ROSS, 2010), significando dizer que a relação entre o caminho (decisão) tomado e o resultado alcançado nem sempre é direto, previsível ou linear. Trata-se de um processo estocástico o qual não possui apenas um modo de evoluir e essa evolução pode ser desconhecida ou não prevista, mesmo que se conheça a condição (cenário) inicial.

De modo a ilustrar tais afirmações ROSS (2010) exemplifica da seguinte forma:

“A despeito de nosso treinamento formal nessa área e a despeito do senso comum, sobre o quanto transparente é a noção de incerteza, nós percebemos esse treinamento e senso comum para tomadas de decisão sendo violados todos os dias no mundo empresarial. Um gerente toma uma boa decisão, porém o resultado é ruim e o gerente é demitido. Um médico utiliza o melhor procedimento em uma cirurgia e o paciente morre e o médico é processado por incompetência. Um rapaz se recusa a aceitar uma carona não solicitada para sua casa por um vizinho distante, fica completamente molhado, arruina seus sapatos e é repreendido pelos pais por não aceitar a carona. Um adolescente decide dirigir em uma estrada de alta velocidade após consumir bebidas alcoólicas e chega em casa a salvo. Em todas essas situações, os resultados não têm nenhuma relação com a qualidade da decisão tomada ou com o processo por si só. O melhor que podemos fazer é tomar decisões racionais em todo momento que nos deparamos com uma escolha sabendo que no longo prazo os resultados positivos irão superar os resultados negativos.”

MAES, M. AND FABER (2004) ainda abordam os dois tipos de decisões que os engenheiros se deparam, envolvendo a temática desse trabalho, as quais são descritas a seguir:

- 1- Decisões operacionais, onde para a disponibilidade de recursos uma ação otimizada é exigida para evitar um específico grupo de perigos; e

- 2- Decisões estratégicas, que envolvem aspectos relacionados a certo nível de preparação e antecipação para eventos futuros.

Apesar de haver no escopo desse trabalho análise de ambos os tipos de decisão no âmbito dos projetos de construção e montagem de unidades offshore, as decisões sobre as quais serão mais avaliadas, devidos aos seus potenciais altos impactos são as decisões estratégicas, nas quais a alta gerência pode determinar curso de ações abrangentes para evitar ou mitigar determinados riscos para o projeto.

No contexto da análise qualitativa e análise quantitativa de riscos, a tomada de decisão pode se dar em função do resultado final de uma análise das variáveis Fuzzy que na primeira irá estabelecer qual a melhor estratégia para tratamento de risco e na segunda a previsibilidade de prazo para entrega do escopo do projeto.

Ross oferece alguns paradigmas para tomada de decisão em ambientes Fuzzy. Questões como preferências pessoais, múltiplos objetivos, racionalidade não-transitiva e consenso de grupo são apresentadas (ROSS, 2004).

A primeira delas, chamada “Avaliação Sintética Fuzzy” é o processo no qual vários elementos e componentes individuais são sintetizados em um formato agregado, ou seja, o todo é a síntese das partes. Nesse modelo, a avaliação de um objeto, principalmente um objeto mal definido (como o risco ou impacto de uma determinada atividade), sempre é vaga e imprecisa. Essa avaliação é descrita sob a forma de linguagem natural pois uma avaliação numérica é muito complexa e/ou dispendiosa.

O “Ordenamento Fuzzy” é a maneira pela qual os riscos (e.g.) podem ser enumerados do mais impactante para o menos impactante no projeto em termos de ofensor para seu prazo de conclusão. É assumido que a incerteza nessa priorização (*ranking*) é imprecisa. Uma primeira abordagem é o uso da função de densidade de probabilidade (FDP) para identificar a probabilidade de uma variável do modelo (risco, nesse trabalho) ser maior do que outra (altura). Uma segunda abordagem é assumir que a incerteza no ranking se origina a partir da ambiguidade (na descrição, atribuição e impacto do risco). A terceira abordagem diz respeito a imprecisão, incorporando o princípio da extensão de Zadeh para calcular o pertencimento de afirmação com relação a um determinado número Fuzzy ser ou não maior que outro.

A terceira abordagem é denominada “*Ranking Não-Transitivo*”. A transitividade diz respeito ao tipo de escolha ou ordenamento no qual as mesmas condições anteriores estão presentes: ambiguidade, imprecisão e vagueza. Dessa forma, se $A > B$ e $B > C$ não implica necessariamente $A > C$. Um exemplo são preferências entre comidas ou cores (ou em nosso caso riscos). Para acomodar essa questão, foi introduzida a noção de relatividade de Shimura (SHIMURA, 1973).

Na quarta abordagem “*Preferência e Consenso*”, a qual será utilizada na presente pesquisa, o autor explica que apesar de parecer simples a questão do consenso do grupo, a maior preocupação é quantificar a noção de consenso. O autor argumenta que a maneira clássica de medir o “grau de consenso” é muito restritiva. Ressalta-se a antítese de consenso: ambivalência ou mesmo grau de preferência entre duas ou mais alternativas. Existem 3 tipos de consenso: Tipo I é o caso no qual o consenso é claro para uma opção e para todas as outras existe uma mesma preferência secundária. No tipo II, existe também uma clara primeira opção e todas as opções secundárias possuem uma preferência “definitiva”. Para exemplificar os dois tipos, são utilizadas as duas matrizes abaixo que demonstram preferência da linha “i” sobre a coluna “j”:

$$M_1^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 17 - Matriz de preferência Tipo I (ROSS, 2010)

$$M_2^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 18 - Matriz de preferência Tipo II (ROSS, 2010)

Por fim, o Tipo 3 ocorre quando existe uma decisão unânime para a opção preferida e existem infinitas preferências Fuzzy secundárias, conforme matriz abaixo:

$$M_f^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.5 & 0.6 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0.4 & 0 & 0.7 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 19- Matriz de preferência Tipo 3 (ROSS, 2010)

A “Tomada de decisão multiobjetivos” avalia o quanto cada alternativa satisfaz cada objetivo. Nessa quinta abordagem, o grau de pertencimento de uma determinada alternativa para um objetivo mostra o grau no qual essa alternativa satisfaz um critério específico para esse objetivo. Dessa forma se alcança uma medida para cada objetivo de quanto importante ele é para o tomador de decisão para determinada decisão.

2.6.Vieses cognitivos e modelos comportamentais

Julgamentos e decisões de qualquer pessoa em quaisquer situações podem estar sujeitos a diversos tipos de vieses. Na tomada de decisão e análise de risco de projetos, esses vieses podem ser percebidos em maiores ou menores graus. No modelo tradicional de gerenciamento e análise de risco, percebe-se pouca ou nenhuma atenção sobre o tema. Esses vieses podem comprometer as análises e reduzir a qualidade dos resultados. Alguns desses vieses podem ser oriundos de processo cognitivo falho, motivações distorcidas, pressões hierárquicas e por resultados (da análise de risco), percepções distorcidas.

No caso particular das análises em projetos complexos de engenharia, onde diversas interfaces, empresas, interesses, pessoas e recursos financeiros estão inseridos, os vieses podem se tornar um relevante fator de desvio entre o resultado obtido e o resultado ideal. Essa diferença entre outros fatores pode ser atribuída aos vieses. Nessa seção, serão

destacados alguns tipos de vieses identificados na literatura e propostas de amenizá-los, mitigá-los ou mesmo eliminá-los em alguns casos.

Alguns vieses podem ser corrigidos na origem, ou seja, antes mesmo de serem expressos, bastando apenas que o analista de risco traga ao conhecimento dos participantes da análise de risco algumas categorias e exemplos mais comuns. Dessa forma se por exemplo for abordado inicialmente vieses de desejo e repúdio a alguns eventos de risco positivos ou negativos, esses vieses podem ser mitigados.

Alguns outros vieses poderão ser corrigidos a posteriori a depender de alguns critérios do analista de risco. Exemplos desses vieses são aqueles que podem ter uma base histórica confiável e um julgamento muito diferente dessa base.

Os julgamentos são baseados em opiniões e experiências, e além dos vieses, elas estão sujeitas a incertezas que são percebidas de diversas formas de pessoa para pessoa. (HULETT, 2009) considera 3 tipos de incertezas na análise quantitativa de riscos que podem afetar o planejamento de projetos. Essas incertezas também estão sujeitas aos diversos tipos de vieses:

- 1- Incerteza baseada em erros de estimativas – Esse tipo de incerteza, normalmente chamada de ambiguidade, é bem conhecida e discutida. Ela surge se existe uma falta de definição do escopo do projeto ou do serviço a ser realizado ou o tipo de variável de entrada que deve ser considerado para se estimar determinado range de variação.
- 2- Incerteza baseada na variabilidade – Algumas incertezas nas durações das atividades são resultado da falta de conhecimento relacionado às condições ou cenários dos projetos. Essas condições e cenários são por exemplo produtividade, condições climáticas, situação político-econômica, entre outras.
- 3- Incerteza baseada em eventos discretos de risco – Essa incerteza envolve basicamente eventos discretos, com a probabilidade de ocorrência maior que 0% e menor que 100% e o impacto tem um range de variação que pode direcionar o prazo do projeto para muito além ou aquém do estimado.

Outro fator que tende a enviesar as análises é a cultura organizacional, que pode ser tal que penalize os profissionais que questionam, desafiam ou simplesmente tem posicionamentos diferentes daqueles expressos pela empresa com relação ao

planejamento do projeto e suas datas de entrega. É comum ocorrer análises de riscos nas quais a empresa determina uma data de entrega do escopo do projeto e os profissionais envolvidos devem realizar análises que considerem a orientação da empresa para que o resultado seja próximo de uma determinada data. Isso é o que alguns autores denominam de viés comportamental (HULETT, 2009; HUNZIKER, 2019). Trata-se de discutir os riscos com potenciais implicações negativas para a empresa de forma aberta e realista.

Outro viés característico nas análises de risco são os denominados “vieses cognitivos”. São os vieses oriundos dos próprios conhecimentos do indivíduo. Esse viés ocorre quando o indivíduo confia na heurística ou “regras de ouro” para expressar determinada informação (HULETT, 2009). Se a heurística for perfeita, então a informação será muito boa, porém se houve algum viés (cognitivo) associado a heurística, então o julgamento é comprometido.

Em um estudo, a NASA - *National Aeronautics and Space Administration* – propôs um modelo prático em forma de lista de verificação que ajuda a reduzir os vieses no setor aeroespacial e corrigir as limitações cognitivas no processo de identificação e análise de risco (EMMONS, DEBRA; MAZZUCHI, THOMAS A.; SARKANI, SHAHRAM; LARSEN, 2018). Nesse estudo, os autores afirmam os vieses cognitivos são pertinentes a diversas indústrias e setores, profissionais experientes, e equipes; e ele afeta a habilidade humana de imparcialmente identificar e avaliar os riscos de determinado projeto. Além disso também examina o ambiente no qual o projeto está inserido.

Os autores definem heurística como sendo “atalhos mentais humanos” no julgamento subjetivo e tomada de decisão. São definidas quatro classes de vieses: (1) viés social, (2) viés de tomada de decisão, (3) vieses de memória e (4) vieses de crença e probabilidade. Os vieses de tomada de decisão e probabilidade de crença seriam os que teriam maior influência na identificação dos riscos e esses vieses foram divididos em quatro categorias: (1) otimismo, (2) falácia planejada, (3) ancoragem e (4) efeito ambiguidade (EMMONS, DEBRA; MAZZUCHI, THOMAS A.; SARKANI, SHAHRAM; LARSEN, 2018).

O viés otimista é demonstrado quando pessoas estão avaliando a magnitude ou consequência do evento de risco (EMMONS, *et al* 2018), segundo os autores existe uma tendência de ser super otimista com relação aos resultados favoráveis ou a tendência de não identificar por completo os resultados potenciais negativos. Essa argumentação vai ao encontro do estudo de Tali Sharot, no qual, inferências sobre o que pode ocorrer no

futuro são críticas para o tomador de decisão (SHAROT, 2011). Segundo a pesquisadora, o ser humano tem uma tendência em prever o que acontecerá no futuro de forma exageradamente positiva e subestimar os eventos negativos.

Sharot mostrou em sua pesquisa que o viés otimista sugere uma importante divergência em relação à abordagem clássica no entendimento do comportamento da mente humana. Esse viés destaca a possibilidade que a mente tem de desenvolver mecanismos para predizer de forma equivocada as ocorrências futuras (SHAROT, 2011).

Esse comportamento deve ser avaliado com a devida atenção no contexto de uma análise de risco, já que opiniões são expostas acerca do projeto e possivelmente com o viés otimista. Se pudermos de alguma forma calcular e expurgar esse viés, teremos uma análise mais completa e fidedigna.

Com relação ao viés da falácia planejada, (EMMONS, *et al* 2018) afirma que o planejamento é impactado. Esse impacto pode ser notado na distorção das durações das atividades no cronograma de projeto. Eles argumentam que o erro de julgamento é uma consequência da tendência de se adotar uma abordagem interna de predição e estimativa focando nos elementos de um problema específico, obstáculos e recursos ao invés de distribuição dos resultados de problemas ou projetos similares (LOVALLO, D.; KAHNEMAN, 2003 apud EMMONS, *et al* 2018).

O viés de ancoragem é a predisposição de se confiar na informação inicial, resultados ou experiência, ou seja, as âncoras (TVERSKY, A.; KAHNEMAN, 1974 apud EMMONS, DEBRA; MAZZUCHI, THOMAS A.; SARKANI, SHAHRAM; LARSEN, 2018). Segundo os autores, para esse viés, pode existir uma tendência de se ancorar em direção de identificar certos tipos de riscos contra outros tipos relativo ao que é percebido ao longo do ciclo de vida do projeto.

Por último, o viés de ambiguidade é aquele surgido pela falta de informação ou onde a ambiguidade e incerteza são altas (EMMONS, DEBRA; MAZZUCHI, THOMAS A.; SARKANI, SHAHRAM; LARSEN, 2018). Esse tipo de viés é bastante comum nas análises de risco em megaprojetos complexos.

Na importante pesquisa de Tversky e Kahneman (TVERSKY, A.; KAHNEMAN, 1974) sobre modelos comportamentais na tomada de decisão, foram identificados inúmeros vieses que desviavam o julgamento humano das regras normativas de probabilidade e

teoria da utilidade, porém não foi estudado mais atentamente os vieses comportamentais (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015). Esses vieses incluem conscientes e subconscientes distorções de julgamento nas decisões em função de interesse próprio, pressões sociais ou contexto organizacional.

Esses vieses e distorções podem comprometer gravemente o resultado das análises de risco. Para resolver essa questão, os analistas precisam se preocupar com os vieses que podem distorcer as entradas do modelo. Alguns casos típicos dizem respeito por exemplo a presença ou não de superiores hierárquicos, às pressões por respostas e resultados que interessam outras partes interessadas no projeto ou até mesmo pressões políticas externas. Outros vieses comportamentais dizem respeito ao excesso de confiança e ao supracitado viés otimista.

A definição de viés cognitivo dada por Montibeller é “*a sistemática discrepância entre a resposta “correta” no julgamento, dada por uma regra formal normativa, e a resposta do tomador de decisão ou especialista para a mesma questão*” (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015). Essa definição considera que existe uma resposta “correta”, porém no âmbito do gerenciamento de projeto, na maioria dos casos, não existe resposta correta, apenas opiniões, nem sempre técnicas, para se definir, decidir e tratar riscos. Alguns profissionais possuem opiniões diferentes e essas opiniões nem sempre podem ser classificadas com “corretas” ou “incorrectas”.

Por outro lado, no escopo do presente trabalho, aparentemente o conceito de viés motivacional se mostra mais adequado, já que representa aquele no qual os “julgamentos são influenciados pelo desejo ou indesejados da ocorrência de eventos, consequências, resultado ou escolhas” (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015). O mais comum no caso de gerenciamento de risco de projeto são estimativas extremas, ou seja, excessivamente otimistas ou pessimistas na duração de determinadas atividades, ou até mesmo na necessidade de pré-requisitos excessivos para se conseguir iniciar uma atividade.

Um dos vieses identificados por (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015) é bastante comum nas análises de risco. Trata-se do Viés de Ancoragem, que ocorre quando a estimativa numérica, tanto na duração das atividades quanto na probabilidade e impacto dos riscos, é baseada (ancorada) em algum valor inicial, como ocorre frequentemente nas análises de risco. Uma possível solução para o viés é não apresentar duração e as

probabilidades anteriores colhidas para que o especialista não tenha sua opinião enviesada.

O viés de disponibilidade ou fácil lembrança ocorre quando a probabilidade do evento facilmente lembrado é superestimada. No contexto do gerenciamento de projetos complexos, muitas vezes as estatísticas de projetos passados semelhantes não refletem a probabilidade de nova ocorrência, o que torna essa informação passível de ancoragem. Uma solução é prover contraexemplos para desancorar as opiniões (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015).

A representação míope de um problema (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015) também ocorre frequentemente nas análises de risco. Esse viés ocorre quando um problema é considerado muito simples em função de um modelo mental do especialista por uma falta de conhecimento completo sobre o assunto. Ocorre com frequências nas análises pois diversos profissionais com diversas formações técnicas participam das reuniões de risco onde são inquiridos a emitir suas opiniões. Uma possível solução é sugerir que quando o profissional não tenha maior domínio do tema tratado, que não manifeste sua opinião ou que manifeste ressaltando a falta de conhecimento.

A super confiança é o viés que ocorre quando determinado escopo ou atividade está em bons níveis de performance por longo tempo ou quando o nível de incerteza atribuído está muito reduzido(MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015). Nesses casos, é indicado que começar a análise com estimativas extremas (altas ou baixas).

Todos os vieses descritos nos acima são definidos pelo autor como vieses cognitivos e caracterizados por serem resistentes a lógica, decomposição ou uso de treinamento e ferramentas, portanto mais difíceis de se corrigir. Já os vieses motivacionais, muito frequentemente identificados nas análises, foram divididos em duas categorias: (i) são de mais fácil identificação, medição e correção.

(MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015) sugere a categorização de alguns vieses com suas respectivas evidências e técnicas de remoção ou mitigação. Alguns dos mais comuns no processo de análise de risco são

- O desejo de que eventos positivos, aumentando a avaliação de probabilidade de ocorrência por parte do especialista;

- O desejo de que eventos negativos não ocorram, diminuindo a avaliação de ocorrência do evento pelo especialista;
- Viés de confirmação quando existe o desejo de confirmar a crença de um determinado especialista levando a seletividade inconsciente na aquisição e uso de evidências;
- Viés de Ancoragem ocorre quando a estimativa do valor numérico é baseada em um valor inicial (âncora) o qual é posteriormente insuficientemente ajustado para prover uma resposta final;

2.7. Consenso e Lógica Fuzzy

Em um grupo de pessoas onde alguma decisão deve ser tomada, como a definição do grau de risco de determinado possível evento que venha a impactar um projeto, o consenso do grupo é uma informação importante, demonstrando o grau de acordo ou desacordo dos participantes a respeito das probabilidades e impactos desses riscos. Sendo assim, é relevante que exista algum indicador que represente esse grau de consenso.

O grau de consenso Fuzzy foi pesquisado por inúmeros autores e possuem algumas definições que diferem entre elas. Para (BEZDEK, J. C.; SPILLMAN , B.; SPILLMAN, 1978), o grau de consenso é percebido como o completo e unânime acordo com as questões discutidas, Já (EKLUND *et al*, 2007), define consenso como sendo um meio para alcançar um acordo comum por meio da evolução das opiniões das alternativas viáveis.

Diversos pesquisadores (GRECCO, 2020; HSU; CHEN, 1996; MORÉ, 2004) propuseram modelos nos quais o grau de consenso foi medido e avaliado se havia ou não um nível adequado para determinada tomada de decisão. A maioria dos modelos segue as mesmas linhas gerais utilizando métodos de agregação baseados na teoria dos conjuntos Fuzzy para combinar opiniões individuais para tomada de decisão em grupo. É proposta a utilização da relação de preferência Fuzzy por cada especialista com posterior derivação da relação de preferência do grupo a partir da preferência Fuzzy individual. Alguns modelos também consideram o peso do especialista. Essa entrada atribui importância a cada especialista a depender de alguns critérios julgados relevantes pelo

analista de risco ou pela administração da empresa. Sendo assim, o especialista com maior experiência, por exemplo, tem maior peso atribuído a sua opinião.

2.8.A Lógica Fuzzy e o Gerenciamento de Risco

Grande parte dos trabalhos e modelos científicos na engenharia prezam pela exatidão em seus resultados. Sendo assim, raros são os casos nos quais são encontrados trabalhos científicos nas ciências exatas que mencionam imprecisão e incerteza. De outro lado, a disciplina de gestão de projetos possui diversas análises subjetivas as quais remetem ao comportamento humano ou dificuldades em prever cenários futuros.

Estamos resolvendo problemas os quais necessitam de respostas exatas? Respostas aproximadas são suficientes? Dado um determinado nível de complexidade de um projeto, pode ser razoável confiar em um resultado impreciso e com o grau de imprecisão definido a priori, por meio da definição dos termos linguísticos, ao invés de se buscar uma resposta precisa e muitas vezes não confiável e que demande quantidade inviável de tempo e recursos humanos e computacionais. O tomador de decisão demanda informações práticas a respeito dos modelos possíveis a serem utilizados e sua relação custo-benefício. Na posse dessas informações, ele poderá optar pelo modelo que mais se adequa às suas necessidades.

Muitas vezes os executivos e tomadores de decisão sentem necessidade de se embasar em respostas técnicas exatas para respaldar sua tomada de decisão. Em alguns casos essa resposta não poderá ser atingida. É imperioso determinar então quando é possível se determinar precisamente um resultado e quando não o é. A disciplina de gerenciamento de risco de projeto, sugere que dado o tamanho e complexidade de um projeto, não será possível um resultado exato. Dessa forma por um lado é preciso estabelecer quais são os projetos nos quais será mais adequado aplicar uma metodologia híbrida a ser proposta e quais projetos poderão ser acompanhados por meio de metodologia tradicional.

A relação de causa e efeito entre os riscos que podem impactar nas atividades de um projeto nem sempre são claras e inequívocas. Por isso, torna-se no mínimo sugestiva a utilização de regras Fuzzy para formular a relação entre esse conjunto risco-atividade.

Essa relação pode não ser direta, mas vaga e imprecisa. Ademais, cada um dos atores envolvidos na determinação dessa relação de causa-efeito pode possuir uma percepção subjetiva e única que difere entre esses atores. Trata-se de percepção subjetiva sobre a possibilidade de ocorrência ou não de eventos. É como alguém fosse questionado sobre a beleza de uma determinada pessoa. Mesmo se houver um claro alinhamento sobre o padrão de beleza, pode haver opiniões diferentes. Quem é belo para um pode não ser belo para outro.

2.8.1. Técnicas de Simulação em Projetos de Construção

As técnicas de simulação de projetos são amplamente utilizadas no gerenciamento de projeto e risco de projeto (SHAHEEN; FAYEK; ABOURIZK, 2009). Elas buscam fornecer previsibilidade de prazo para os tomadores de decisão e gerentes de projetos melhor mobilizar recursos e estimar custos. Contudo, da maneira tradicional como a modelagem de prazo (cronograma) é estimada, algumas incertezas de natureza subjetiva, limitam a acurácia de seus resultados (FAYEK, 2018).

A maneira pela qual esses autores sugerem realizar a simulação de um projeto, se adapta de forma natural nas empresas que não possuem dados históricos de projetos semelhantes ao que se quer avaliar e também a projetos complexos os quais podem não possuir paralelo na empresa ou mesmo no mercado. Além disso, alguns fatores analisados são puramente subjetivos e particulares para cada projeto. As pesquisas em simulação de projetos se apoiam exclusivamente em dados numéricos (determinísticos e variáveis probabilísticas), entretanto, existe um outro tipo de dado subjetivo (as chamadas variáveis Fuzzy), que foram ignoradas na pesquisa dessa temática (FAYEK, 2018).

Fayek sugere ainda que fatores como absenteísmo e padrões de comportamento são exemplos de dados subjetivos os quais não devem ser probabilisticamente pois eles não podem determinar fatores subjetivos como a relação entre o comprometimento e absenteísmo. O comprometimento de um trabalhador é uma variável subjetiva e, portanto, dificultando avaliações probabilísticas.

Três tipos de simulação Fuzzy são propostas por Fayek: (i) Simulação Fuzzy discreta de eventos (SFDE), (ii) Sistema Fuzzy Dinâmico (SFD) e (iii) Modelagem Fuzzy baseada em Agente (MFBA). Segundo a autora, a simulação adequada deve ser selecionada baseada no tipo de sistema que está sendo modelado, considerando a proposta do modelo, as características de cada simulação e o nível de abstração desejado. Algumas dessas simulações podem se utilizar de técnicas tradicionais probabilísticas de simulação, como a Simulação de Monte-Carlo.

Os três tipos de simulação são resumidamente explicados abaixo:

- (i) Simulação de eventos discretos – É a técnica desenvolvida para modelar sistemas nos quais as mudanças ocorrem em pontos discretos ao longo do tempo. É adequada para modelagem de sistemas tipo-processo¹⁹. Permite aos planejadores desenvolver representações de processos de construção baseados em computadores e testar diferentes estratégias para execução dos processos de construção.(FAYEK, 2018) APUD (ODHABI, H. I., PAUL, R. J., MACREDIE, 1999).

Os passos para o desenvolvimento para tal simulação são (a) identificar as atividades de construção incluídas no processo, (b) identificar a sequência das mesmas tarefas, (c) estimar a duração de cada tarefa individual e (d) estimar os recursos requeridos (Mão-de-obra direta, equipamentos e materiais). Os principais resultados dessa técnica são relacionados a duração do projeto e fatores de performance dos recursos.

- (ii) Sistemas dinâmicos – Foi introduzido por Jay Forrester para modelagem de comportamento dinâmico de sistemas complexos no domínio industrial (FAYEK, 2018) APUD (STERMAN, 2000). Sistemas dinâmicos envolvem componentes interdependentes com interações variáveis ao longo do tempo. Trata-se de uma técnica de cima para baixo (*top-down*) que primeiramente modela o sistema em um nível macro de abstração (menos detalhes) e depois identifica as variáveis que influenciam o estado do sistema. Como projetos de construção são extremamente complexos, envolvendo processos de

¹⁹ Sistemas tipo-processo (*Process-Type Systems*) são sistemas nos quais diversas atividades são executadas em sequência, com grande repetição, para completar pacotes de trabalho (*work packages*). Exemplo disso é o processo de terraplanagem que inclui diversas atividades de construção (escavação, transporte de cargas, expansão do terreno etc.) executadas em sequência e com grande número de repetição (FAYEK, 2018).

retroalimentação e componentes interdependentes e relações não-lineares que requerem dados quantitativos e qualitativos (FAYEK, 2018) APUD (NASIRZADEH, F., AFSHAR, A., KHANZADI, M., HOWICK, 2008). A técnica de Sistemas Dinâmicos é uma opção viável para modelagem de sistemas que são dinâmicos por natureza e incluem processos de retroalimentação.

- (iii) Modelo baseado em agente – técnica de simulação de baixo para cima (*bottom-up*) recentemente desenvolvida que modela a interação de agentes em sistemas complexos. Permite ao planejador definir características de comportamento individual dos agentes e posteriormente o comportamento global emerge como resultado da observação e ações agregadas de diversos agentes (FAYEK, 2018) APUD (AHN, S., LEE, 2014; ASGARI, S., AWWAD, R., KANDIL, A., ODEH, 2016; BEN-ALON, L., SACKS, 2017). Em função das interações entre os diversos agentes não serem lineares, o comportamento do sistema não é a soma dos comportamentos individuais (FAYEK, 2018) APUD (HOLLAND, 1999). Essa técnica se inicia modelando o sistema em nível individual para prever o comportamento do sistema como um todo.

No que diz respeito a primeira técnica, pode-se, de forma bastante direta e objetiva se substituir pela simples montagem de um cronograma com recursos alocados, já que essa ferramenta é amplamente utilizada e com resultados bastante precisos incluindo o poder de realizar análise devido a quaisquer alterações na performance da MOD (Mão-de-obra direta) e disponibilidade de Recursos materiais e equipamentos. A segunda técnica ressalta e inclui modelagem que considera um cenário de permanente mudança nas interações entre os diversos atores e suprimentos do projeto. Diversos autores aplicaram esse tipo de modelagem em análise de risco de projetos (FAYEK, 2018). A terceira técnica encontra-se ainda em estágio inicial de interesse e estudo no que diz respeito a sua aplicação no gerenciamento de construção quando se considera a utilização do ferramental Fuzzy.

Quando se avalia o mundo real, que inclui sistemas com diversas incertezas que podem ser classificadas entre probabilísticas aleatórias (podem ser modeladas com dados

numéricos) e incertezas não-probabilísticas (que incluem subjetividade e expressões linguísticas), as técnicas acima se apoiam na disponibilidade de dados numéricos e não levam em consideração as incertezas subjetivas que existem na prática do gerenciamento de projetos (FAYEK, 2018). A autora pontua ineficiência de cada uma das técnicas, ressaltando que (i) cada projeto é único e não possui informação numérica suficiente para gerar distribuições de probabilidade, (ii) modelagem não captura a relação entre as variáveis já que podem ser vagas e imprecisas em projetos de construção que podem ser motivação da equipe, cooperação entre trabalhadores, adequação ao programa de manutenção e (iii) a natureza das variáveis é subjetiva. Essas técnicas são incapazes de capturar o pensamento humano e processos de tomada de decisão, para isso, a lógica Fuzzy e variáveis Fuzzy são mais efetivas quando lidam com sistemas humanos.

Um exemplo de como se pode usar as variáveis Fuzzy, regras Fuzzy e a linguagem natural para incorporar incertezas subjetivas diz respeito ao comportamento do agente (humano) em um projeto de construção e pode ser descrito da seguinte forma: se os trabalhadores de uma equipe possuem alinhamento e seu comprometimento é alto, então a performance da equipe é alta. Esse exemplo reforça e explica o que é denominado motor ou regra de inferência Fuzzy, que será utilizado na presente pesquisa.

A tese defendida pela autora é que a lógica Fuzzy é a técnica apropriada para modelar incertezas subjetivas em variáveis de projetos de construção e as técnicas de simulação tradicionais podem ser significativamente melhoradas se for aplicado o ferramental Fuzzy (FAYEK, 2018).

Sendo assim, são propostas adaptações nessas técnicas no sentido de incorporar a lógica Fuzzy na modelagem. Três desafios são mencionados para que se possa utilizar o ferramental Fuzzy nessas técnicas: (i) como modelar efetivamente as variáveis subjetivas que são tradicionalmente tratadas determinística e probabilisticamente; (ii) permitir que os relacionamentos entre variáveis que possuem formas matemáticas conhecidas conter não apenas variáveis determinísticas e probabilística, mas também variáveis subjetivas, e (iii) modelar relacionamentos para os quais a forma matemática não é conhecida (FAYEK, 2018).

2.8.2. O uso das variáveis linguísticas na Análise de risco

As variáveis Fuzzy são variáveis para as quais os valores possíveis, ou níveis são conjuntos Fuzzy (FAYEK, 2018). Por exemplo, quando é avaliado o custo de construção de um projeto, pode-se descrevê-lo como pequeno, médio ou grande, que são termos linguísticos definidos dentro de um universo de discurso. A autora cita ainda que a métrica de custo, por exemplo, é numérica, porém a ideia é avaliar a compatibilidade dessa medida com conceitos Fuzzy, que são os níveis das variáveis Fuzzy para custo, nesse caso pequeno, médio ou grande.

Nos grandes projetos, por vezes, existe a necessidade de transformar uma informação quantitativa (precisa ou não), como o custo ou estimativa de prazo por exemplo, em um conceito menos preciso, tal como pequeno ou grande. É importante notar que quando modela-se sistemas complexos, raramente pode-se obter informações precisas (FAYEK, 2018), o que nos remete mais uma vez ao princípio da incompatibilidade.

As variáveis linguísticas – linguagem - utilizadas por um profissional podem ser diferentes do que um de seus colegas imagina. Um exemplo disso é a palavra “muito” - um modificador linguístico de uma variável linguística. “Muito” para uma pessoa pode ter um significado e para outra pode ter um significado diferente, inclusive dentro de um mesmo contexto. Algumas situações para estimativas de prazo e análise de risco passam exatamente por esse tipo de problema. Por isso existe a necessidade de uniformizar o entendimento com relação a cada uma das variáveis que são atribuídas a um determinado parâmetro da análise.

Uma questão importante que se coloca na correta qualificação do risco após sua identificação é a adequada alocação da categoria de risco no qual ele foi inserido em sua qualificação. A busca por uma palavra ou expressão que possa melhor definir uma determinada faixa de probabilidade do risco ocorrer é uma tarefa subjetiva. Algumas indicações, porém, foram consagradas por Hillson.

Segundo Hillson, o risco tem duas dimensões: incerteza e impacto. A primeira diz respeito a algo que não ocorreu, mas que pode ou não ocorrer. A segunda se refere ao que pode ocorrer no caso do evento de risco se concretizar e como ele pode afetar os objetivos de projeto (HILLSON, 2005). Nesse contexto, o autor expõe algumas observações sobre a

natureza única de um projeto e portanto a riscos únicos; os valores reais dos riscos não podem ser medidos *a priori* em função de sua ocorrência durante o projeto; alguns riscos não são conhecidos em sua totalidade, ou seja, não sabemos exatamente sua probabilidade e nem seu impacto; e por último, expõe o fato de que não medimos os riscos, mas sim estimamos, em função de uma grande variedade de fontes subjetivas e inconscientes (assim como descrito no viés otimista). O viés otimista pode ser acentuado caso a gerência do projeto esteja presente no *Workshop* (reunião) de risco, muitas vezes tolhendo, mesmo que involuntariamente a equipe a manifestar com imparcialidade suas percepções.

A abordagem de Hillson se preocupa com uma interpretação subjetiva e com diferentes significados para diferentes pessoas, assim como o caso da beleza descrito no item 2.6. Na prática, o que ocorre nos *workshops* é o uso de sinônimos para as palavras numa tentativa de nivelar o que ela realmente deve refletir.

Descrição da Probabilidade		
Qualificação	Pontuação	Probabilidade
Muito Alta	0,5	Muito alta ou Muito Provável
Alta	0,4	Alta ou Provável
Média	0,3	Média ou Possível
Baixa	0,2	Baixa ou Improvável
Muito Baixa	0,1	Muito Baixa ou Raro

Figura 20 - Descrição da probabilidade (Fonte: O Autor)

Esse tipo de categorização traz benefícios na correta estimativa de uma probabilidade na medida em que abrange um grande range de variação, ou seja, cada categoria engloba um quinto (10%) de uma escala de 0 (zero) a 1(um). Dessa forma, mesmo que um membro da equipe avalie que a probabilidade de determinado risco seja 21% e outro avalie o mesmo risco com probabilidade de 29%, eles serão alocados dentro da mesma faixa de probabilidade de “Média ou Possível”. Isso quer dizer que apesar das diferentes percepções a atribuição de probabilidade será a mesma, reduzindo assim potenciais diferenças de percepções.

Dessa forma, a recomendação do autor, é que além da utilização das variáveis linguísticas, também sejam expostas para a equipe o range de probabilidade em questão, conforme Figura 21 abaixo.

DESCRÍÇÃO DA PROBABILIDADE		
Qualificação	Pontuação	PROBABILIDADE
Muito Alta	0,5	Muito Provável (>50%)
Alta	0,4	Provável (de 26% a 50%)
Média	0,3	Possível (de 11% a 25%)
Baixa	0,2	Improvável (de 5% a 10%)
Muito Baixa	0,1	Raro (<5%)

Figura 21 - Descrição de probabilidade com ranges (Fonte: O Autor)

3. ANÁLISE DO PROCESSO TRADICIONAL

As grandes empresas que aplicam o processo de gerenciamento de risco de projeto nos dias de hoje, optam pelo método tradicional descrito no PMBOK, o qual não considera algumas variáveis de entrada e saída importantes para se obter um resultado mais assertivo e confiável. Exemplos disso são as tentativas de exatidão nas estimativas a avaliações qualitativas transformadas em probabilidades, como se representassem um cenário puramente estatístico no qual as chances de ocorrência de determinado eventual tivessem probabilidades já determinadas. Claramente, num ambiente de megaprojetos, dificilmente teremos situações e eventos que poderão ser reproduzidos em diferentes projetos. O cenário possivelmente mudará em função dos gestores, fornecedores, clientes e prazos.

Os projetos complexos em engenharia ou outro setor possuem uma característica presentes em todos os outros projetos, porém de maneira amplificada: são únicos. Diante desse aspecto, a busca por histórico de projetos semelhantes guarda uma grande imprecisão e incerteza, já que o cenário, os atores e as interface podem ser completamente novos.

O modelo tradicional não captura a imprecisão e vagueza inerente a esse tipo de projeto sobretudo considerando a impossibilidade de ser obter dados históricos. Dessa forma, uma entrada do modelo tradicional pontual e determinística pode prejudicar o resultado da análise de risco. Se ao contrário de uma opinião representar apenas um ponto único de incerteza, essa mesma opinião representar um espectro mais ou menos amplo de possíveis cenários e eventos, certamente a probabilidade dessa opinião “amplificada” representar as diversas possibilidades de ocorrência do evento de risco irá contribuir positivamente no resultado dessa análise.

3.1. Coleta de dados e entrevista com gestores

Buscando identificar e avaliar as maiores lacunas existentes entre o modelo tradicional de análise de risco orientado pelo PMBOK ou outros guias tradicionais e a necessidade

de informações dos tomadores de decisão, o autor realizou questionários com profissionais com experiência em projetos. O método *Survey* exploratória de corte-transversal via questionário foi utilizado para pesquisa por ser entendido como melhor método para capturar como e porque as metodologias tradicionais de gerenciamento de risco falham ou são bem-sucedidas.

A amostra foi selecionada de forma não-probabilística, seguindo o critério de escolher apenas analistas, gestores e diretores de projetos. Esses participantes foram indagados a indicar novos participantes dentro dos mesmos critérios citados inicialmente²⁰. A pesquisa foi enviada para 100 profissionais.

Algumas das principais respostas obtidas mostraram que 94,4% dos profissionais consideram o processo de análise de risco importante para tomada de decisão. Mais da metade desses profissionais avaliaram que o nível de acurácia da análise de risco é médio (variando entre 10% e 50%), o que representa um baixo nível de acurácia.

Dois possíveis benefícios que podem ser obtidos pela análise de risco de projeto foram avaliados pelos profissionais com relação a sua importância. A Previsibilidade, com relação ao término do projeto e a visibilidade, priorização e planos de ação dos riscos. Mais de 60% dos profissionais consideraram a visibilidade, priorização e planos de ação mais importantes do que a previsibilidade, demonstrando que a análise qualitativa dos riscos é considerada mais relevante para os objetivos do projeto.

Além disso, foi verificado junto aos profissionais quais metodologias são mais utilizadas para o gerenciamento de risco. A grande maioria utiliza metodologia própria com adaptações do PMBOK ou a própria orientação do PMBOK. Apenas 13,9% se utilizam de outra metodologia.

O engajamento dos profissionais também foi verificado e chegou-se à conclusão de que a nível individual esse engajamento se situa em torno de médio a muito alto, enquanto a nível de percepção sobre engajamento da equipe de projeto se situa entre baixo e alto. Esse nível de engajamento foi considerado baixo pelo autor, demonstrando que dada a

²⁰ Conhecido como método “Snowball” ou bola de neve no qual os participantes iniciais indicam por aderência ao tema outros participantes que podem contribuir com suas respostas.

importância desse processo revelada pelos próprios profissionais, o nível de engajamento deveria ser maior.

A pesquisa também mostrou que o consenso é questão mais relevante do que a votação vencida pela maioria (democracia). Para os profissionais é mais importante que exista um consenso adequado do que a maioria se imponha sobre a minoria sobre questões associadas aos riscos do projeto.

Sendo assim, o autor sugere que novas metodologias devam ser desenvolvidas considerando algumas variáveis como incertezas subjetivas, vagueza, vieses e consenso do modo a complementar a metodologia tradicional utilizada na maioria das empresas.

Com base nos resultados do questionário e autores de referência, na próxima seção, foi proposto um modelo que busca diminuir a lacuna entre o estado atual e desejado tanto no processo quanto na assertividade dos resultados obtidos nas análises de risco desses projetos.

4. MODELO DE ANÁLISE DE RISCO FUZZY - COPPE-MARF

4.1. Sobre a modelagem – Modelos de pensamento

Os modelos se apresentam como ferramenta para sistematizar conhecimentos e aplicá-los na prática. Essa ferramenta se remete aos tempos antigos de Arquimedes. Para (EPSTEIN, 2008) qualquer um que se aventura a algum tipo de projeção, ou imagina como uma dinâmica social – uma epidemia, guerra ou movimentos migratórios – deveria rodar algum modelo. Para o autor, todos rodamos implicitamente modelos frequentemente em nossas mentes, constituindo consistência interna e não testada. As consequências lógicas são desconhecidas. Trata-se de modelo implícito e não escrito.

Sabedoria reside no fato de selecionar e aplicar o (s) conhecimento (s) e modelo (s). Modelos são estruturas formais representadas matematicamente ou por meio de diagramas que nos ajudam a entender mundo (PAGE, 2018). Com o objetivo de formalizar, documentar e argumentar sobre o tema, o modelo será proposto reunindo arcabouço teórico e prático de forma a constituir arquétipo supostamente complementar ao conhecimento existente. Segundo (PAGE, 2018), a arte de modelar incrementa a habilidade de se racionalizar, explicar, projetar, comunicar, agir, predizer e explorar.

Sendo assim, a experiência prática e vivência acadêmica, determinaram a construção do modelo explícito, que sob determinadas circunstâncias e premissas retorna determinado resultado. Escrever modelos explícitos permite que outras pessoas repliquem seus resultados (EPSTEIN, 2008) levando em consideração seus casos práticos. EPSTEIN (2008) afirma que outra vantagem dos modelos é permitir análise de sensibilidade. Pode-se vasculhar uma grande variedade de parâmetros sobre uma grande variedade de possíveis cenários para identificar as mais salientes incertezas, regiões e robustez, e importantes limiares (EPSTEIN, 2008).

Um dos motivos de se construir modelos é prever o que irá acontecer sob determinadas condições. No entanto, Epstein (2008) enumera outras 16 (dezesseis) importantes razões pelas quais modelos são importantes ferramentas na vida humana:

1. Explicação (distinto de predição)

2. Orientar a coleta de dados
3. Ressaltar a dinâmica essencial sobre o tema
4. Sugerir dinâmicas análogas
5. Descobrir novas questões
6. Promover o hábito científico
7. Amarrar (incluir) resultados para variações plausíveis
8. Ressaltar incertezas centrais
9. Oferecer opções em situação de crise quase imediatamente
10. Demonstrar *tradeoffs* e sugerir eficiências
11. Desafiar a robustez da prevalência teórica por meio de perturbações
12. Expor conhecimento prévio como incompatível com dados disponíveis
13. Treinar profissionais
14. Disciplinar o diálogo
15. Educar o público geral
16. Revelar a aparente simplicidade (complexidade) sendo complexa (simples)

Todos os motivos listados acima se enquadram no objetivo do modelo que será proposto a seguir. No contexto das análises de riscos pode-se utilizar o modelo proposto para explicar determinada data de entrega do projeto com as premissas adotadas, pode-se orientar tomadas de decisão, analisar outros cenários possíveis e seus ônus e bônus, identificar quais eventos podem ser mais impactantes no projeto, desenvolver planos para mitigar impactos dos riscos (crises), trocar experiências profissionais etc.

Os projetos utilizados nos modelos são complexos no sentido demonstrado nos capítulos anteriores. Essa complexidade determinada pelo aumento da quantidade de informação, necessidade de adaptabilidade, e interdependência implica na carência de previsibilidade do que vem a seguir impõe certa dificuldade em lidar com previsões.

Para minimizar erros de previsões nesse tipo de projeto, é necessário conhecimento, ou seja, a organização, relacionamento e sistematização de dados, fatos históricos e informações. Esse conhecimento se traduz na capacidade de identificar os diversos fatores e forças mais importantes para atingir os objetivos do projeto. Notadamente os projetos são únicos, portanto, sem base de dados histórica completamente fidedigna para aplicação direta em outros projetos.

Sendo assim, são necessários modelos específicos que possam processar as informações oriunda da equipe de projeto que processam suas entradas e geram resultados com maior nível de confiança possível. Por outro lado, é preciso ressaltar que o modelo necessariamente é uma simplificação da realidade, e como toda simplificação, possui abstrações. Algumas dessas abstrações podem ser conhecidas e outras não. Dessa forma o modelo está sujeito a constante refinamento e melhorias.

O presente modelo considera como informações essenciais de entrada as opiniões de profissionais (pessoas) de variados perfis e consequentemente grande variação de comportamentos e maneiras de se expressar. Sendo assim, apesar de todo ferramental Fuzzy disponível para auxiliar na mitigação de contradições, ambiguidades e vieses, ainda sim podem ser obtidos resultados distantes da realidade observada a posteriori. Destarte, recomenda-se a utilização conjunta de outros modelos de análise de risco para comparação e sensibilização dos resultados obtidos pelo modelo proposto.

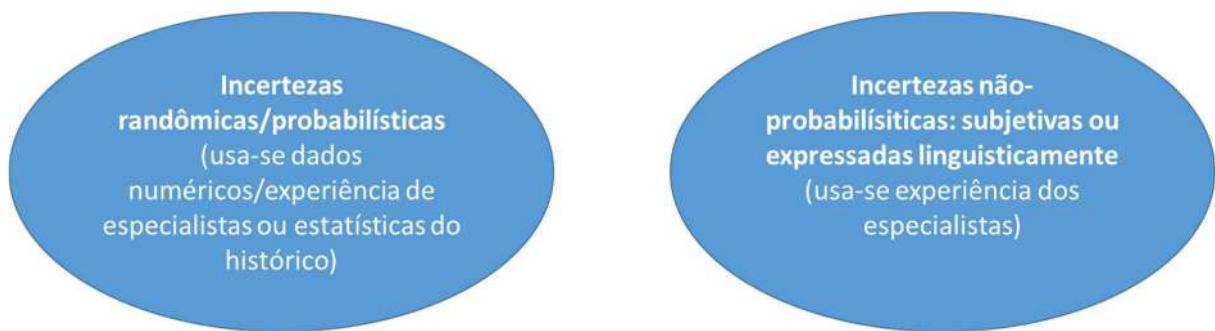


Figura 22 - Dois tipos de incerteza (Fonte: O Autor)

Como exposto anteriormente, a lógica Fuzzy propõe um modelo de aproximação entre rigor tradicional matemático com o pensamento humano, levando em consideração que um dos principais anseios do ser humano, em particular dos administradores de empresas, é tentar de alguma forma antever cenários futuros para melhor tomada de decisão, um novo Modelo de Análise de Risco-Fuzzy (MARF) pode ser desenvolvido para melhor previsibilidade de prazo de projeto. Alinhado a essa ideia, ZIMMERMAN (1985) explica que a teoria dos conjuntos Fuzzy fornece uma estrutura matemática estrita, na qual um fenômeno conceitualmente vago (evento de risco por exemplo) pode ser representado de forma precisa e ser rigorosamente estudado.

Os projetos de construção e montagem de uma unidade estacionária de produção requerem grande período de maturação até que todas as outras disciplinas envolvidas – poços, engenharia submarina, elevação e escoamento – estejam com avanço suficientemente razoável para estabelecer os parâmetros necessários para o projeto da UEP a ser construída. Nesse contexto, o modelo proposto foi aplicado em um projeto de Construção e Montagem de FPSO que no momento da realização da presente pesquisa encontra-se em fase de comissionamento em sua locação final. A escolha desse projeto se deveu ao acesso as diversas fases e profissionais que atuaram desde sua origem até o momento da realização da pesquisa.

4.2. Ferramentas computacionais

Algumas ferramentas computacionais que se baseiam nos fundamentos da Lógica Fuzzy são utilizadas por acadêmicos e profissionais. Essas ferramentas aplicam os princípios da computação flexível (*soft computing*), que explora a tolerância para imprecisão, incerteza e verdades parciais para alcançar soluções convenientes, robustas e de baixo custo (MATHWORKS, 2015)

O modelo proposto, utilizando o ferramental Fuzzy, diferente das metodologias utilizadas atualmente, necessita desse tipo de algoritmo computacional que leve em consideração as questões fundamentais trazidas pela lógica Fuzzy. Essas questões dizem respeito a vagueza, imprecisão, ambiguidade entre outras. As variáveis linguísticas foram convertidas para conjuntos fuzzy. Sendo assim, foram utilizados no modelo proposto planilhas de apoio que auxiliaram na fuzificação das variáveis de entrada. A defuzificação dos resultados finais foi elaborada no mesmo sistema elaborado pelo autor, buscando o máximo de simplicidade e automação para o usuário final.

4.3. O Modelo

O modelo proposto busca oferecer a integração entre o modelo tradicional do PMBOK e aplicação da lógica Fuzzy de forma a obter resultados mais assertivos e confiáveis se comparados a metodologia tradicional de análise de risco. Esse modelo está orientado para simplicidade em sua aplicação sem a necessidade de grandes alterações na maneira pela qual o processo tradicional é realizado. O avanço do presente modelo sobre a tradicional aplicação de análise de risco em projetos está precisamente nos principais direcionadores do conceito de Fuzzy, definidos da seguinte forma:

“A lógica Fuzzy pode ser vista como uma tentativa de formalização/mecanização de duas extraordinárias capacidades humanas. A primeira é a capacidade de argumentar, considerar a tomar decisões racionais num ambiente de imprecisão, incerteza, informações vagas, informações conflitantes, verdades parciais e possibilidade, em resumo, um ambiente de informação imperfeita. E segundo, a capacidade de processar grande variedade de tarefas físicas e mentais sem nenhuma medição ou ferramentas computacionais.”

(ZADEH, 2008).

O processo de análise de risco pressupõe a obtenção de resultados para em última análise a tomada de decisões, tanto decisões automatizadas quanto decisões humanas. E no mundo real, as decisões são tomadas em um ambiente no qual os objetivos, as restrições e as consequências de possíveis ações não são precisamente conhecidas (ZADEH, 1977). E mais do que isso, essas decisões podem desencadear outras restrições e consequências as quais não estão mapeadas no cenário inicial de um projeto.

Dessa forma, a lógica Fuzzy reconhece a incapacidade humana em alcançar soluções 100% exatas e precisas para problemas com altos graus de complexidade e interdependência. Esse é exatamente o cenário encontrado na gestão de megaprojetos industriais.

O Modelo de Análise Risco Fuzzy (MARF) foi construído considerando o arcabouço teórico apresentado nos capítulos anteriores. Nesse arcabouço, porém, a teoria e aplicabilidade foi utilizada para diversos outros fins diferentes da análise de risco de projetos. Alguns modelos Fuzzy de análise de risco de projeto foram pesquisados (EDUARDO; BRAGA, 2017; EKLUND; RUSINOWSKA; DE SWART, 2007; FAYEK,

2018; GRECCO, 2012; HSU; CHEN, 1996; MOHAMED; ELBARKOUKY; MAGDYABOUSHADY, 2014) e contribuíram para a construção do presente modelo, porém o conjunto de variáveis e método utilizados não foram identificados na literatura.

O objetivo final do modelo é apresentar todos os riscos mapeados e ordenados em grau de severidade do projeto considerando toda vagueza, ambiguidade, vieses, competências dos especialistas e divergência de opiniões, de modo a agregar essas informações em um termo linguístico e um número que caracterize a potencial severidade do impacto dos riscos mapeados no prazo de um projeto. Esse grau de severidade irá orientar a decisão a ser tomada pelo gestor do projeto no que diz respeito a estratégia de tratamento dos riscos.

Essa é uma forma de além de otimizar o uso de recursos humanos e financeiros, fornecer informações para alta direção a cerca da viabilidade e continuidade do projeto, atualizando de tempos em tempos o seu nível de risco.

Como premissa, foi adotado no modelo que todas as oportunidades (riscos positivos) já foram capturadas no processo de planejamento do projeto e que potenciais ganhos de prazo são irrelevantes no projeto. A adequação do modelo para captura de oportunidades se torna simples na medida que basta acrescentar os termos linguísticos e respectivos graus de pertencimento.

Outra premissa importante, diz respeito a interseção das opiniões entre os especialistas. Nesse modelo, caso a interseção entre duas opiniões seja nula, então deverá ser utilizado o método Delphi para coletar maiores informações sobre o risco para que as opiniões tenham um mínimo de convergência.

Um aspecto importante a ser considerado no modelo diz respeito ao peso do especialista que possui um maior grau de consenso entre todos os outros. Baseado no grau de importância e no nível de consenso, nesse método ele terá um peso maior. Significa representar que esse profissional reúne um conjunto de informações que talvez os outros não possuam.

Parte do método utilizado se baseia na proposta dos autores citados acima e trata-se de um método multicritério para tomada de decisão em grupo. Um dos benefícios de modelo em relação ao tradicional diz respeito a medição do consenso do grupo em relação as suas opiniões. Além disso, o material de base desenvolvido pelo autor se caracteriza pela rastreabilidade de todas as informações originadas pelos especialistas. O modelo propõe

o método de agregação por similaridade que combina as estimativas subjetivas individuais representadas por números Fuzzy (HSU; CHEN, 1996) e segue as seguintes etapas:

- 1- Definição do número Fuzzy triangular (NF) para cada estimativa dos especialistas assumindo que possuem interseção em determinado nível de corte α (*alfa-cut*) entre 0 e 1;
- 2- Medição do grau de consenso entre as opiniões dos especialistas pela função de similaridade;
- 3- Construção da matriz de consenso que fornece informações a respeito do grau de consenso entre os especialistas, considerando o peso do especialista;
- 4- Combinação das opiniões dos especialistas pelo método de agregação por similaridade.

Para esse fim, de maneira sistemática os seguintes passos devem ser tomados:

- 1- Seleção dos Especialistas (Seção 4.3.1);
- 2- Definição dos termos linguísticos e números Fuzzy utilizados para avaliar Probabilidade e Impacto dos Riscos identificados - Fuzzificação (Seção 4.3.2)
- 3- Coleta dos dados junto aos especialistas (Seção 4.3.3)
- 4- Determinação do Peso do Especialista (questionário) (Seção 4.3.4)
- 5- Consolidação dos dados coletados dos especialistas (Seção 4.3.5)
 - a. Consolidado da Probabilidade e impacto de cada risco (Seção 4.3.5.1)
 - b. Cálculo do grau de consenso entre as opiniões (Seção 4.3.5.2)
 - c. Elaboração da Matriz de consenso (Seção 4.3.5.3)
 - d. Cálculo de consenso relativo (Seção 4.3.5.4)
 - e. Cálculo do Grau de consenso relativo (Seção 4.3.5.5)
 - f. Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas (Seção 4.3.5.6)
 - g. Determinação do Valor Fuzzy agregado para Probabilidade e Impacto de cada Risco (Seção 4.3.5.7)
 - h. Cálculo dos Grau de Importância da Probabilidade (GIP), Impacto (GII) e Risco (GIR) (Seção 4.3.5.8)
- 6- Defuzzificação (Seção 4.3.6)
- 7- Regras de inferência para determinar estratégia de tratamento do risco (Seção 4.3.7)

8- Cálculo do Risco Total do Projeto (Seção 4.3.8)

De maneira resumida, o modelo segue os seguintes passos:

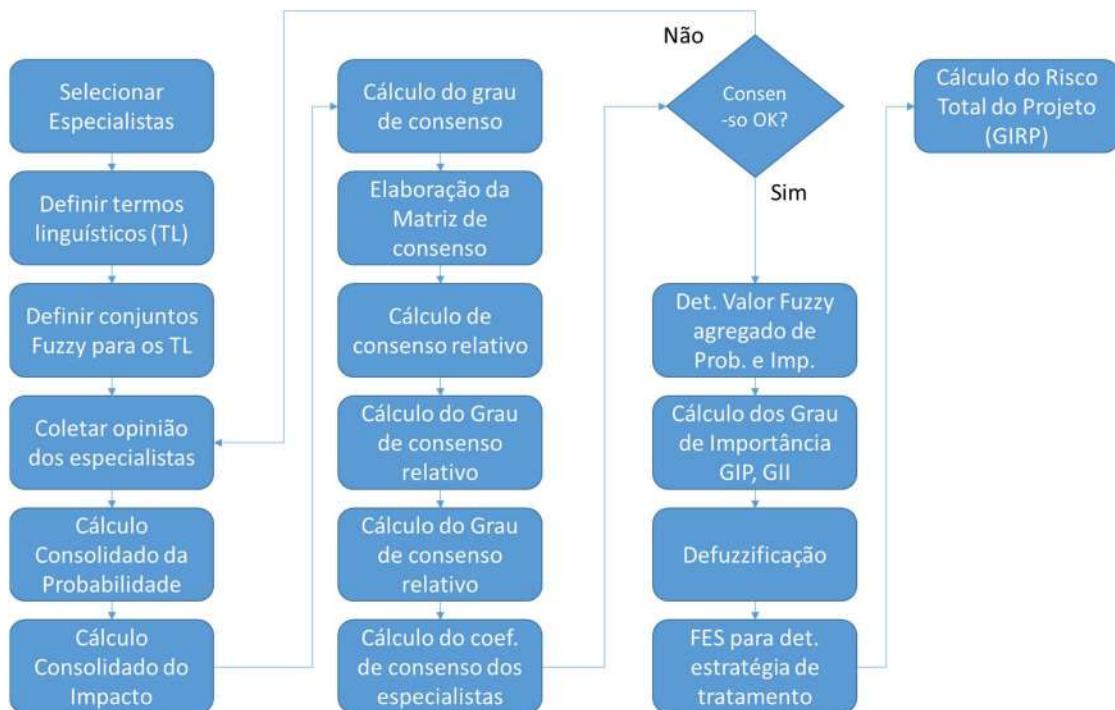


Figura 23 - Etapas do Modelo COPPE-MARF (Fonte: O Autor)

4.3.1. Seleção dos Especialistas

Nessa fase, são selecionados os especialistas determinados pelo gerente de projeto em conjunto com o analista de risco. Recomenda-se que a abrangência da escolha desses profissionais seja feita nas diversas áreas de empresa de modo a reduzir o possível viés da equipe de projeto com opiniões otimistas.

O grupo selecionado não deve ser tão grande a ponto de considerar profissionais com pouco conhecimento e aderência ao projeto e nem tão pequeno a ponto de excluir profissionais com experiência e conhecimento de projetos similares. Recomenda-se que exista a maior diversidade possível de profissionais com visões das diversas disciplinas

do projeto além de gerentes para visão mais estratégica dos riscos. Recomenda-se que o quórum selecionado não ultrapasse 20 profissionais.

Nesse mesmo contexto, é torna-se importante avaliar quais profissionais farão parte da análise. Eles podem ser separados para responder algumas perguntas que tenham maior afinidade com sua área de conhecimento principal, enquanto podem ficar excluídos de algumas questões sobre as quais não possuem domínio.

4.3.2. Definição dos termos linguísticos, Números Fuzzy e funções de pertinência de Probabilidade e Impacto dos Riscos - Fuzzificação

A fuzificação é o processo de transformar um valor crisp em valor Fuzzy (ROSS, 2010). Isso é feito reconhecendo que as quantidades consideradas crisp e determinísticas na verdade não o são. Elas carregam uma considerável incerteza, imprecisão, ambiguidade e vagueza (ROSS, 2010). Com isso, a melhor maneira de se descrever a probabilidade e impacto de um risco é por meio da fuzificação, conforme detalhado abaixo.

Essa importante etapa do modelo irá determinar entre outras entradas, o grau de propensão ou aversão ao risco. Esse grau depende dos números Fuzzy escolhidos. Caso as maiores faixas estejam situadas mais próximas do zero no eixo das abcissas da representação do número Fuzzy, o perfil caracterizado é de propensão ao risco, fazendo com que mais riscos se enquadrem nessa faixa, enquanto no caso contrário, as maiores faixas se localizem mais próximas do 1 no mesmo eixo, fica caracterizada maior propensão ao risco. As figuras abaixo demonstram exemplos de propensão e aversão ao risco.

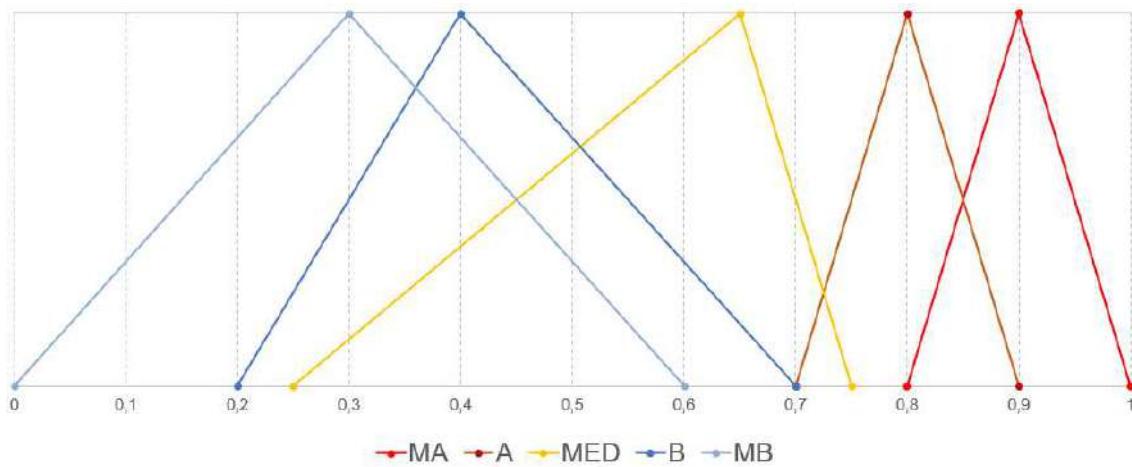


Figura 24 - Número Fuzzy caracterizando propensão ao risco (Fonte: Autor)

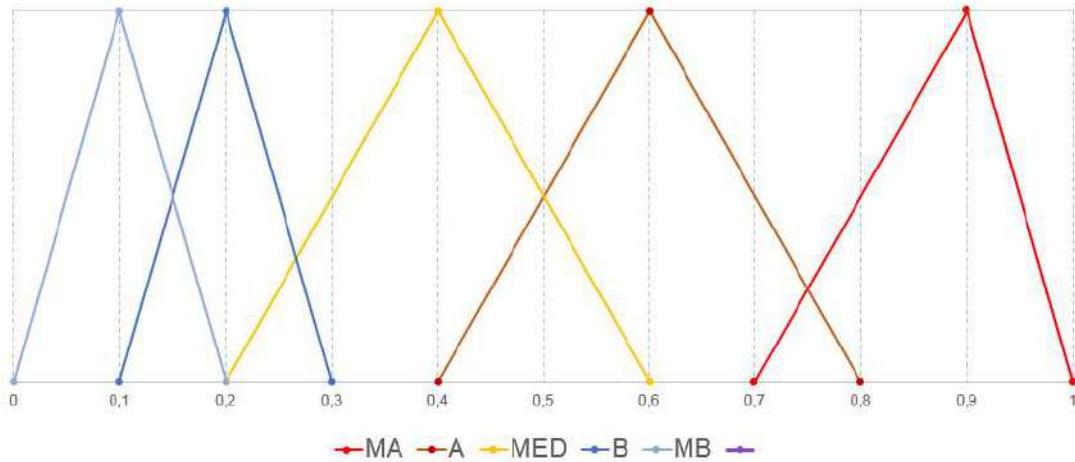


Figura 25 - Número Fuzzy caracterizando aversão ao risco (Fonte: Autor)

A utilização dos termos linguísticos para atribuição de valor subjetivo a probabilidade de impacto dos riscos identificados se mostra fortemente aderente a todo contexto da análise de risco onde as opiniões são baseadas em conhecimento tácito e experiências em projetos anteriores com descrições potencialmente vagas e incertas. Sendo assim, a atribuição das variáveis linguísticas a probabilidade e impacto dos riscos é associado ao seu determinado conjunto Fuzzy e seu respectivo grau de pertinência. O presente modelo utiliza 5 diferentes números Fuzzy, conforme preconiza (HILLSON, 2005) para caracterizar a probabilidade e impacto dos riscos:

- Probabilidade Muito Alta – Representa que o possível evento de risco quase certamente irá ocorrer, considerando o contexto atual, o possível contexto futuro, outros projetos semelhantes ou experiência do especialista;
- Probabilidade Alta - Representa que o possível evento de risco possui elevada possibilidade de ocorrência, considerando o contexto atual, o possível contexto futuro, outros projetos semelhantes ou experiência do especialista;
- Probabilidade Média - Representa que o possível evento de risco pode ou não ocorrer com a mesma possibilidade, considerando o contexto atual, o possível contexto futuro, outros projetos semelhantes ou experiência do especialista;
- Probabilidade Baixa - Representa que o possível evento de risco possivelmente não irá ocorrer, considerando o contexto atual, o possível contexto futuro, outros projetos semelhantes ou experiência do especialista;
- Probabilidade Muito Baixa - Representa que o possível evento de risco quase certamente não irá ocorrer, considerando o contexto atual, o possível contexto futuro, outros projetos semelhantes ou experiência do especialista;
- Impacto Muito Alto – Impacto que compromete severamente o prazo projeto podendo atingir escopo ou recurso crítico e essencial e pode no limite inviabilizar o projeto;
- Impacto Alto - Impacto compromete sobremaneira o prazo do projeto, porém suas consequências não o inviabilizam;
- Impacto Médio - Impacto compromete o prazo do projeto podendo postergar escopo não crítico do projeto;
- Impacto Baixo - Impacto compromete o prazo do projeto em recursos não críticos sem causar maiores problemas;
- Impacto Muito Baixo - Impacto compromete o prazo do projeto em apenas escopo pequeno sobre materiais, equipamentos e outros recursos de fácil substituição.

Na Figura 26 está representado o modelo composicional dos riscos e do projeto como um todo e na Figura 27 as funções de pertinência dos termos linguísticos utilizados nesse modelo.

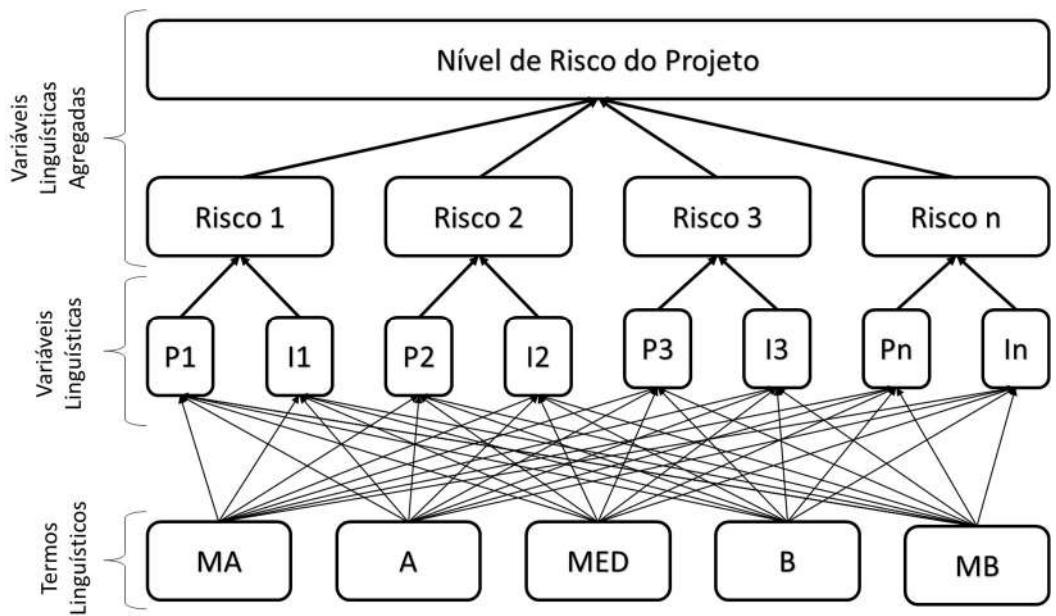


Figura 26 - Variáveis e termos linguísticos (Fonte: Autor)

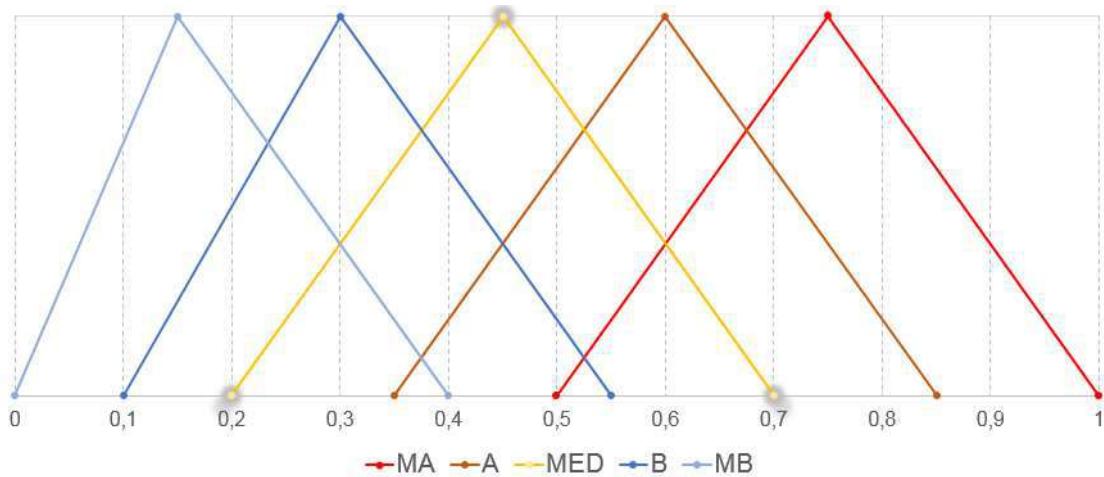


Figura 27 - Gráfico das Funções de Pertinência associadas às variáveis linguísticas (Fonte: Autor)

Simbologia	Termo Linguístico	Número Fuzzy
MA	Muito Alto	(0,5; 0,75; 1)
A	Alto	(0,35; 0,6; 0,85)
MED	Médio	(0,2; 0,45; 0,7)
B	Baixo	(0,1; 0,3; 0,55)
MB	Muito Baixo	(0; 0,15; 0,4)

Tabela 9 - Números Fuzzy para os termos linguísticos (Fonte: Autor)

4.3.3. Coleta dos dados junto aos especialistas

Após seleção dos especialistas, contato e envio de informações prévias e instruções sobre a análise de risco, a planilha padrão que alimenta o sistema MARF deve ser enviado aos especialistas. Esse material coleta informações sobre perfil do profissional, mapeamento dos riscos e suas opiniões sobre probabilidade e impacto de forma detalhada e rastreável. Dessa forma, o viés de ancoragem é mitigado e as opiniões são tomadas com base nas percepções individuais sem nenhum tipo de influência externa.

4.3.4. Determinação do peso dos especialistas

Cada especialista recebe a planilha enviada na etapa anterior e uma das informações preenchidas é o questionário que determina seu peso na análise. O questionário consta das seguintes perguntas:

Qual sua função?			
1.	Gerente	()	1
	Engenheiro	()	0,8
	Técnico	()	0,6
Qual sua maior escolaridade			
2.	Doutorado	()	1
	Mestrado	()	0,9
	Pós Lato Senso	()	0,8
	Graduação	()	0,7
	Curso Técnico	()	0,6
	Quantos anos de experiência possui na Empresa		
3.	Mais de 20 anos	()	1
	De 15 a 20 anos	()	0,8
	De 10 a 15 anos	()	0,7
	De 5 a 10 anos	()	0,6
	Menos de 5 anos	()	0,5

	Quantos anos de experiência possui em projetos semelhantes a esse?		
4.	Mais de 20 anos	(<input type="checkbox"/>)	1
	De 15 a 20 anos	(<input type="checkbox"/>)	0,8
	De 10 a 15 anos	(<input type="checkbox"/>)	0,7
	De 5 a 10 anos	(<input type="checkbox"/>)	0,6
	Menos de 5 anos	(<input type="checkbox"/>)	0,5

Tabela 10 - Questionário Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor)

Com essas informações é possível calcular o Peso do Especialista na análise de risco, segundo a fórmula abaixo:

$$GIE_i = \frac{tQ_i}{\sum_{i=1}^n tQ_i}$$

Onde:

tQ_i = total de pontos do questionário para o especialista i

4.3.5. Consolidação dos dados coletados dos especialistas

Nessa fase, são calculados os indicadores de consenso e aplicado o peso do especialista, combinando os questionários respondidos com o perfil e opiniões por meio do método de agregação de similaridade (HSU; CHEN, 1996), conforme etapas abaixo.

4.3.5.1. Consolidado da Probabilidade e impacto de cada risco

Essa etapa se propõe a consolidar em matriz as opiniões de todos os especialistas de forma a servir de base para todos os cálculos do modelo proposto.

	P.R1	P.R2	P.R3	P.R4
E1	A	A	MED	MA
E2	MB	MB	MA	MED
E3	B	MA	B	MA
E4	MB	MED	A	MED

Tabela 11 - Exemplo de matriz consolidadora das opiniões dos especialistas (Fonte: O Autor)

4.3.5.2. Cálculo do grau de consenso entre as opiniões

A maneira proposta por Hsu para calcular o consenso envolve a razão entre a interseção e união das áreas compostas pelas funções de pertencimento das opiniões fornecidas pelos especialistas, seguindo a equação abaixo.

$$GC_{ij} = \frac{AI}{AU} = \frac{\int_x (\min\{\mu_{Ni}(x), \mu_{Nj}(x)\}) dx}{\int_x (\max\{\mu_{Ni}(x), \mu_{Nj}(x)\}) dx}$$

Onde o numerador representa a interseção e o denominador representa a união entre as áreas das opiniões de dois especialistas. As figuras Figura 28 e Figura 29 abaixo, descreve graficamente o conceito utilizado.

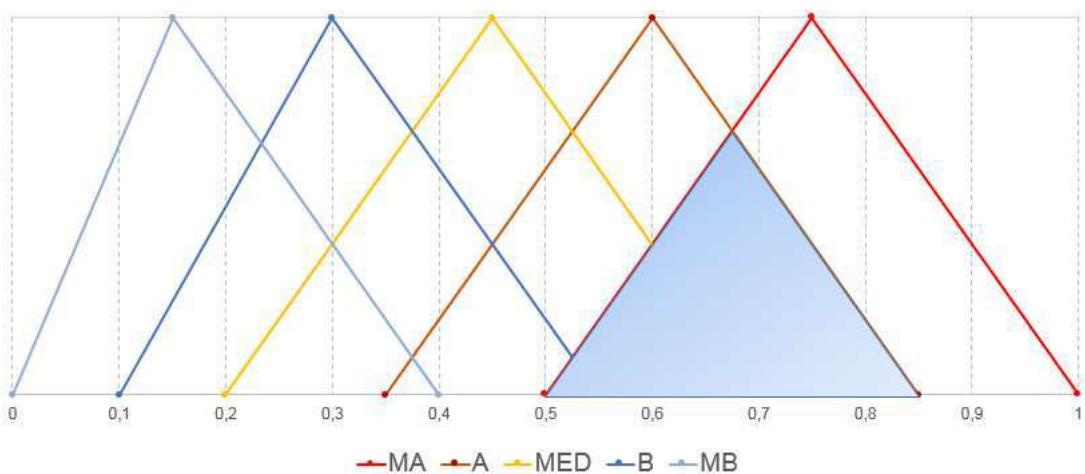


Figura 28 - Área de interseção entre duas opiniões de especialistas (Fonte: O Autor)

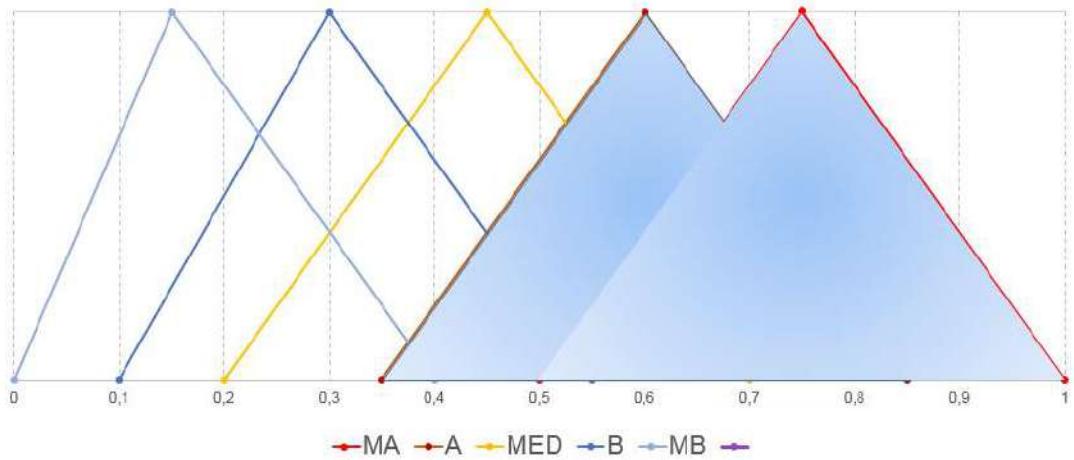


Figura 29 - Área de união entre duas opiniões de especialistas (Fonte: O Autor)

As tabelas Tabela 12 e Tabela 13 abaixo representam os valores numéricos de união e interseção das áreas entre os 5 termos linguísticos utilizados no modelo.

Valores Interseção áreas de Probabilidade					
	MA	A	MED	B	MB
MA	0,25	0,126	0,038	0,002381	0
A	0,126	0,25	0,126	0,038	0,002381
MED	0,038	0,126	0,25	0,126	0,038
B	0,002381	0,038	0,126	0,225	0,1
MB	0	0,002381	0,038	0,1	0,2

Tabela 12 - Valores de interseção entre áreas utilizadas no modelo (Fonte: O Autor)

Valores União áreas de Probabilidade					
	MA	A	MED	B	MB
MA	0,25	0,374	0,374	0,422619	0,45
A	0,374	0,25	0,374	0,437	0,447619
MED	0,374	0,374	0,25	0,349	0,324
B	0,422619	0,437	0,349	0,225	0,325
MB	0,45	0,447619	0,412	0,325	0,2

Tabela 13 - Valores de união entre áreas utilizadas no modelo (Fonte: O Autor)

Caso não haja interseção entre as estimativas iniciais do k-ésimo e do l-ésimo especialista pode-se usar, então, o Método Delphi. O Método Delphi é útil na obtenção de informações suficientes para ajustar os dados fornecidos por cada especialista, para que haja essa interseção (GRECCO, 2012 APUD (SAATY, 1980; TUROFF e LINSTONE, 2002).

4.3.5.3. Elaboração da Matriz de consenso

A matriz de consenso exibe de forma organizada consenso entre dois especialistas com relação a probabilidade e impacto de cada um dos riscos identificados. Os números apresentados nessa matriz variam entre 0 e 1. O valor 0 (Zero) significa que não houve nenhum consenso entre a opinião do i-ésimo (linha) e j-ésimo (coluna), enquanto o valor 1 significa que houve consenso máximo entre as opiniões.

Dessa forma, a matriz representa de maneira consolidada e apresenta uma visão geral do consenso entre os especialistas nos diversos riscos do projeto. Caso haja excessiva discordância (muitos zeros na matriz), talvez seja necessária uma nova rodada presencial para alinhamento geral das definições de cada risco com baixo consenso.

$$MC = \begin{bmatrix} 1 & GC_{12} & \cdots & GC_{1j} & \cdots & GC_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ GC_{i1} & GC_{i2} & \cdots & GC_{ij} & \cdots & GC_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ GC_{n1} & GC_{n2} & \cdots & GC_{nj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

4.3.5.4. Cálculo do consenso relativo

O consenso relativo resulta no número escalar que permite quantificar o consenso entre os especialistas com relação a cada um dos riscos. Sua fórmula de cálculo segue a equação abaixo.

$$CR_i = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n CG_{ij}$$

4.3.5.5. Cálculo do Grau de consenso relativo

O Grau de Consenso relativo informa o quanto um especialista concorda em sua avaliação com os outros especialistas do grupo. O cálculo é dado pelo média ponderada da concordância relativa de cada especialista, conforme equação abaixo.

$$GCR_k = \frac{CR_k}{\sum_{i=1}^n CR_i}$$

4.3.5.6. Cálculo do coeficiente de consenso dos especialistas

Esse coeficiente é obtido através da razão entre o grau de concordância relativa (GCR_k) e o peso do especialista (GIE_k).

$$CCE_k = \frac{GCR_k \times GIE_k}{\sum_{i=1}^n (GCR_i \times GIE_i)}$$

4.3.5.7. Determinação do Valor Fuzzy agregado para Probabilidade e Impacto de cada Risco

Cada risco tem seu respectivo valor Fuzzy para probabilidade e impacto. Ele é determinado pelo número Fuzzy triangular, conforme equações abaixo.

$$N_{prob} = \sum_{i=1}^n (CCE \otimes n_{ip})$$

$$N_{imp} = \sum_{i=1}^n (CCE \otimes n_{ii})$$

Onde n_{ip} e n_{ii} representam respectivamente os números Fuzzy triangular para probabilidade e impacto relativos aos termos linguísticos (MA, A, MED, B, MB) utilizado na opinião dos especialistas.

4.3.5.8. Cálculo dos Graus de Importância da Probabilidade (GIP), Impacto (GII) e Risco (GIR)

A defuzzificação pode ser feita transformando os números Fuzzy em números escalares ou conjuntos *crisp*. Nessa seção, foi feita a defuzificação para número escalar de modo a ranquear os riscos (P, I, PxI) para determinar os mais severos no prazo do projeto.

Os graus de importância são calculados para representar o valor crisp da probabilidade, impacto e risco. Com esse resultado é possível ordenar os riscos com maior severidade para projeto e posteriormente atribuir as estratégias de tratamento para cada um deles.

Para o cálculo desse indicador, é necessário normalizar os valores crisp, determinando o valor de b_i do número Fuzzy triangular $N(a_i, b_i, c_i)$. O valor b_i representa o valor do grau de pertinência igual a 1, sendo esse o valor crisp do indicador.

$$GIP_i = \frac{b_i}{\text{maior valor de } b}$$

$$GII_i = \frac{b_i}{\text{maior valor de } b}$$

$$GIR_i = GIP_i \times GII_i$$

Sendo assim, os riscos são ordenados de acordo com seu Grau de Importância do Risco (GIR_i) que é calculado pelo produto entre Grau de importância da Probabilidade (GIP_i) e Grau de Importância do Impacto (GII_i).

4.3.6. Defuzzificação para definição da Severidade do Risco

O processo de Defuzzificação utilizado no modelo foi realizado utilizando a distância euclidiana entre os centroides para determinar o grau de probabilidade, impacto e risco qualitativo. Esse método pressupõe que quanto menor a distância entre o número Fuzzy em questão e o conjunto Fuzzy relacionado aos termos linguísticos, maior será a “aderência” desse número ao conjunto Fuzzy.

Na Figura 30 do exemplo abaixo, pode-se perceber que o conjunto Fuzzy da probabilidade do Risco 1 possui uma grande “aderência” ao conjunto Fuzzy “Alta” definido da probabilidade, logo sua defuzzificação calculada pela menor distância entre os centroides resulta no conjunto Fuzzy de probabilidade “Alta”.

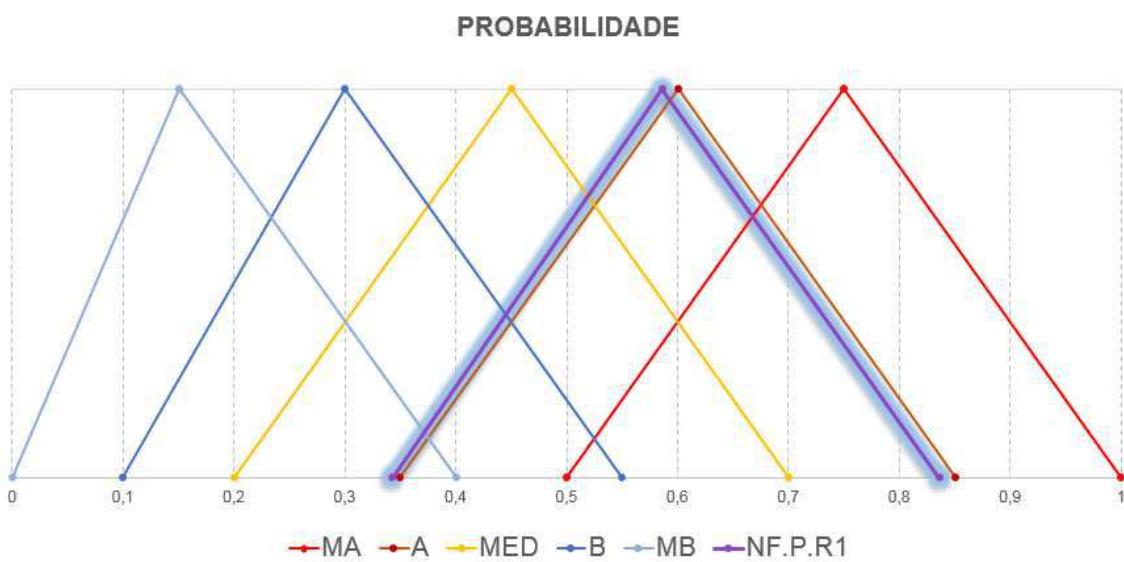


Figura 30 - Defuzzificação pela distância euclidiana (Fonte: O autor)

Sendo assim, no exemplo acima, nessa fase do modelo já é possível definir o número Fuzzy, os Graus de importância da probabilidade, do impacto, severidade do risco (PxI) com o seu respectivo termo linguístico associado a defuzzificação.

4.3.7. Regras de inferência

Para determinação das estratégias de tratamento dos riscos, foi utilizado o sistema de inferência Mamdami. Esse sistema se baseia em regras dos conjuntos Fuzzy com o objetivo de representar a linguagem natural. Esse sistema de inferência é mais intuitivo, melhor adaptado para entradas humanas, com regras de interpretação claras além de ser amplamente aceito na academia para utilização em modelos Fuzzy (MATHWORKS, 2015).

Foram utilizadas três (3) categorias de tratamento dos riscos: Aceitar, Monitorar e Tratar. Para tanto, foram definidas 25 regras a partir da matriz de probabilidade x impacto, conforme tabela abaixo.

Matriz Probabilidade x Impacto (P x I)					
Probabilidade	Tratar	Tratar	Tratar	Monitorar	Monitorar
MA	Tratar	Tratar	Tratar	Monitorar	Monitorar
A	Tratar	Tratar	Monitorar	Monitorar	Monitorar
MED	Tratar	Monitorar	Monitorar	Monitorar	Aceitar
B	Monitorar	Monitorar	Monitorar	Aceitar	Aceitar
MB	Monitorar	Monitorar	Aceitar	Aceitar	Aceitar
	MA	A	MED	B	MB
	Impacto Prazo				

Figura 31 - Matriz de Probabilidade X Impacto (Fonte: O Autor)

Nesse modelo foi utilizado apenas a variável prazo, em função de sua importância sobre qualquer outro risco para o projeto, dado que o prazo de término de um projeto de exploração e produção de petróleo tem como seu principal direcionador o prazo (*schedule driven*) devido a possibilidade de óleo cessante impactar fortemente na viabilidade do projeto. Em outros projetos os quais possuem mais de um direcionador importante, recomenda-se que sejam acrescentadas essas variáveis de análise, como o custo ou qualidade. Além disso outras regras podem ser criadas dependendo da particularidade de cada projeto.

O sistema construído pelo autor a partir das regras Fuzzy SE-ENTÃO (IF-THEN) foram determinadas conforme tabela abaixo que reflete a matriz da Probabilidade x Impacto acima.

# Regra	Descrição Regra											Defuzzificação Regra
1	IF	P	=	MA	and	I	=	MA	THEN	=	3	Tratar
2	IF	P	=	MA	and	I	=	A	THEN	=	3	Tratar
3	IF	P	=	MA	and	I	=	MED	THEN	=	3	Tratar
4	IF	P	=	MA	and	I	=	B	THEN	=	2	Monitorar
5	IF	P	=	MA	and	I	=	MB	THEN	=	2	Monitorar
6	IF	P	=	A	and	I	=	MA	THEN	=	3	Tratar
7	IF	P	=	A	and	I	=	A	THEN	=	3	Tratar
8	IF	P	=	A	and	I	=	MED	THEN	=	2	Monitorar
9	IF	P	=	A	and	I	=	B	THEN	=	2	Monitorar
10	IF	P	=	A	and	I	=	MB	THEN	=	2	Monitorar
11	IF	P	=	MED	and	I	=	MA	THEN	=	3	Tratar
12	IF	P	=	MED	and	I	=	A	THEN	=	2	Monitorar
13	IF	P	=	MED	and	I	=	MED	THEN	=	2	Monitorar
14	IF	P	=	MED	and	I	=	B	THEN	=	2	Monitorar
15	IF	P	=	MED	and	I	=	MB	THEN	=	1	Aceitar
16	IF	P	=	B	and	I	=	MA	THEN	=	2	Monitorar
17	IF	P	=	B	and	I	=	A	THEN	=	2	Monitorar
18	IF	P	=	B	and	I	=	MED	THEN	=	2	Monitorar
19	IF	P	=	B	and	I	=	B	THEN	=	1	Aceitar
20	IF	P	=	B	and	I	=	MB	THEN	=	1	Aceitar
21	IF	P	=	MB	and	I	=	MA	THEN	=	2	Monitorar
22	IF	P	=	MB	and	I	=	A	THEN	=	2	Monitorar
23	IF	P	=	MB	and	I	=	MED	THEN	=	1	Aceitar
24	IF	P	=	MB	and	I	=	B	THEN	=	1	Aceitar
25	IF	P	=	MB	and	I	=	MB	THEN	=	1	Aceitar

Tabela 14 - Descrição das regras de defuzzificação para tratamento dos riscos (Fonte: O Autor)

O sistema lê as regras acima e retorna com a regra mais alta identificada. Isso significa que se um risco ativa duas regras retornando ação de monitorar e tratar, a estratégia de resposta ao risco, nesse modelo, sempre será a mais conservadora, ou seja, tratar, conforme exemplo do risco 1 (R01) abaixo.

Ação	Riscos	Regras									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	R01	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0
2	R02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	R03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	R04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	R05	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3	R06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	R07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	R08	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
3	R09	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
1	R10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 15 - Sistema de Inferência Fuzzy (Fonte: O Autor)

4.3.8. Cálculo do Risco Total do Projeto

Pelo princípio da extensão de Zadeh (ZADEH, 1965), é possível realizar operações aritméticas com os números Fuzzy, tal qual é feito com números crisp. Para o cálculo do risco total do projeto, foi realizada a operação de multiplicação Fuzzy dos números Fuzzy de probabilidade e impacto determinada por (ZADEH, 1965), conforme equação abaixo.

$$A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2)$$

Após a multiplicação Fuzzy, foi calculado a média ponderada dos números Fuzzy gerados de cada risco. Esse resultado pode ser comparado com outros projetos desde que usado o mesmo modelo de análise.

Além disso, também foi calculado o número escalar Grau de Risco do Projeto (GRP) por meio da equação abaixo.

$$GRP = \sum GIP_i \times GII_i$$

Esse indicador mostra de maneira consolidada o risco do projeto e pode ser utilizado pelos decisores para avaliar e comparar o risco total de um projeto com outros da carteira.

5. LOCAL DA APLICAÇÃO DO MODELO

Os projetos de construção e montagem de uma unidade estacionária de produção requerem grande período de maturação até que todas as outras disciplinas envolvidas – poços, engenharia submarina, elevação e escoamento – estejam com avanço suficientemente razoável para estabelecer os parâmetros necessários para o projeto da UEP a ser construída. Nesse contexto, o modelo proposto foi aplicado em um projeto de construção, montagem e operação de uma FPSO que no momento da realização da presente pesquisa encontra-se em fase de construção e montagem em estaleiro. A escolha desse projeto se deveu ao acesso as diversas fases e profissionais que atuaram desde sua origem até o momento da realização da pesquisa.

O modelo foi originado a partir da experiência do autor no projeto e percepção da aderência da lógica Fuzzy na análise de risco em projetos desse tipo, onde suas particularidades intrínsecas inviabilizam busca por histórico de informações e se baseia na opinião de especialistas. Dessa forma, optou-se pela aplicação do modelo nessa FPSO em função da percepção que melhores resultados poderiam ser obtidos para um melhor gerenciamento de prazo.

5.1.O processo produtivo em uma FPSO

Diversas variáveis devem ser levadas em consideração quando se está avaliando o projeto de construção de uma FPSO. Basicamente a função de uma plataforma é separar o óleo da água e do gás. O principal objetivo é produzir óleo por possuir maior valor comercial. O gás também pode ser monetizado, ou seja, vendido por um preço comercial lucrativo. Há algum tempo, todo ou quase todo gás era queimado no *Flare*, o sistema de descarte de gás. A conhecida e emblemática chama de fogo no topo dessa torre. Nos dias de hoje esse gás é utilizado na geração de energia de própria unidade, reinjetado no poço, exportado via gasodutos para uma unidade de tratamento de gás e uma pequena parcela é queimada no Flare em caso de emergência ou necessidade operacional.

No processo produtivo, o óleo é tratado, ou seja, separado da água e gás no vaso de tratamento gravitacional. Esse óleo deve permanecer um intervalo de tempo, o chamado tempo de residência, para que nessa primeira fase já seja produzido óleo. Nessa primeira etapa, nem todo óleo pode ser separado apenas gravitacionalmente pelo processo de coalescência. Após essa primeira etapa. A parte do composto que não está livre de gás e água parte para a segunda etapa de separação geralmente via tratadores termoquímicos, tanques de lavagem e/ou tratadores eletrostáticos onde ocorre a quebra da emulsão e a estabilização do óleo com posterior ajuste do BSW (*basic sediment and water* que representam as impurezas sedimento e água no óleo) e salinidade.

Sempre que o óleo atinge a especificação correta de envio para refinaria, seja na primeira ou segunda etapa ele é enviado para os tanques de carga da plataforma. O óleo fica armazenado nos tanques até o que o navio aliviador se conecte na plataforma para uma operação chamada *offloading*, a transferência do óleo da plataforma para o navio aliviador. Esse navio transporta o óleo até os terminais de petróleo em terra, onde ficam armazenados até a transferência para uma refinaria próxima, na maioria das vezes via oleodutos terrestres.

O caminho do gás depende da finalidade que será dada a esse fluido. A primeira etapa de separação do óleo, conforme descrito acima ocorre no separador gravitacional. Parte desse gás pode ter sua pressão elevada (compressão) para sua transferência para o gasoduto de exportação ou para utilização na própria UEP para geração de energia, *gas lift*²¹, flotação²², desaeração²³ entre outros. Ocorre também o condicionamento do gás com objetivo de especificar o gás para transporte e utilização na própria UEP. Esse processo consiste na remoção de água e gases ácidos que podem corroer a tubulação da unidade e formar hidratos²⁴, reduzindo ou interrompendo o fluxo.

²¹ Trata-se de uma técnica que se utiliza da energia do gás comprimido para elevar de maneira artificial os fluidos extraídos do poço para a instalação de superfície (FPSO), utilizando altas pressões na coluna de produção, elevando assim todos os fluidos oriundos do poço produtor.

²² A Flotação dá origem a água produzida que pode ser descartada no mar após atingir a especificação adequada ou ser utilizada para diversos fins na própria UEP.

²³ A desaeração tem como produto a água especificada que será utilizada na reinjeção para o reservatório com objetivo de manter a pressão do reservatório.

²⁴ Hidratos são moléculas de água que quando passam da fase líquida para sólida aprisionam as moléculas de gás natural, formando blocos no interior das tubulações, comprometendo severamente o processo produtivo, reduzindo ou interrompendo o fluxo produtivo.

Em todo processo produtivo do petróleo, é de extrema importância a atenção e tratamento de todos os contaminantes oriundos do reservatório ou gerados no processo. O impacto dos contaminantes no processo produtivo é mitigado ou até mesmo eliminado por meio de equipamentos e técnicas que tornam as plantas produtivas (FPSOs) maiores, mais caras e mais complexas. Abaixo são descritos alguns exemplos de contaminantes e seus impactos:

- H₂O (Água) – É o contaminante com maior volume no processo produtivo. É capaz de produzir corrosão devido à alta salinidade, presença de gases ácidos e micro-organismos;
- H₂S (ácido sulfídrico) – É um gás incolor, odor desagradável e tóxico. Ele pode ser originário do próprio reservatório devido à decomposição térmica de compostos de enxofre ou decorrente do processo de produção por bactérias redutoras de sulfato²⁵ no reservatório bactérias, processos termoquímicos e oxidação do hidrocarboneto.
- CO₂ (gás carbônico) – Gás que provoca corrosão da tubulação. É utilizado para reinjeção na denominada recuperação terciária.

Toda planta de processo decorrente das características do óleo e gás descritos acima depende dos dados do reservatório no campo a ser explorado. Esses dados definem diversos parâmetros e especificações de equipamentos e processos que devem compor a plataforma de produção. Alguns desses parâmetros referentes ao óleo, gás e ao reservatório estão definidos abaixo:

- Óleo
 - Grau de API do óleo – Essa medida representa a densidade do petróleo extraído. Quanto menor o grau API, maior é a viscosidade do óleo, e, portanto, pior sua qualidade comercial. Esse grau irá definir algumas variáveis de processo como por exemplo o tempo no qual o petróleo deverá permanecer no vaso de separação gravitacional;
 - Viscosidade – é a resistência dos fluidos a deformação e escoamento. Quanto maior a viscosidade, menor é a qualidade comercial do óleo;

²⁵ São bactérias associadas a processos de biocorrosão e bioacumulação e podem danificar as tubulações.

- Teor de parafinas – Parafinas são compostos de cadeia linear presentes no petróleo. Elas podem se depositar nas tubulações durante o processo de escoamento, reduzindo ou interrompendo o fluxo do poço até a instalação de superfície;
- Teor de agentes emulsificantes – Atuam para manter juntas as fases que são imiscíveis. Os principais são ácidos naftênicos, resinas, asfaltenos, produtos de corrosão entre outros.
- Gás
 - RGO – Razão gás-óleo informa a quantidade de gás associado ao óleo. Quanto maior essa razão, maior deve ser a capacidade de processamento de gás na planta tanto para queima, reinjeção e utilização pela própria unidade;
 - Lâmina d'água e Profundidade do reservatório – Essas características determinam a necessidade de compressão da planta para reinjeção;
 - Exportação – Outra variável a ser avaliada diz respeito a exportação do gás para terra por meio de gasodutos, o que implica na necessidade de compressores extras dedicados a essa função;
- Reservatório
 - Porosidade – é a razão entre o espaço poroso e o volume total da rocha;
 - Permeabilidade – é a permissividade de passagem do fluido por meio dos poros.

Outros fatores a serem levados em consideração são quantidade de água associada, teor de salinidade da água, ácido sulfúrico, profundidade do reservatório

O processo produtivo descrito pode ser resumido de maneira didática através do seguinte fluxo.

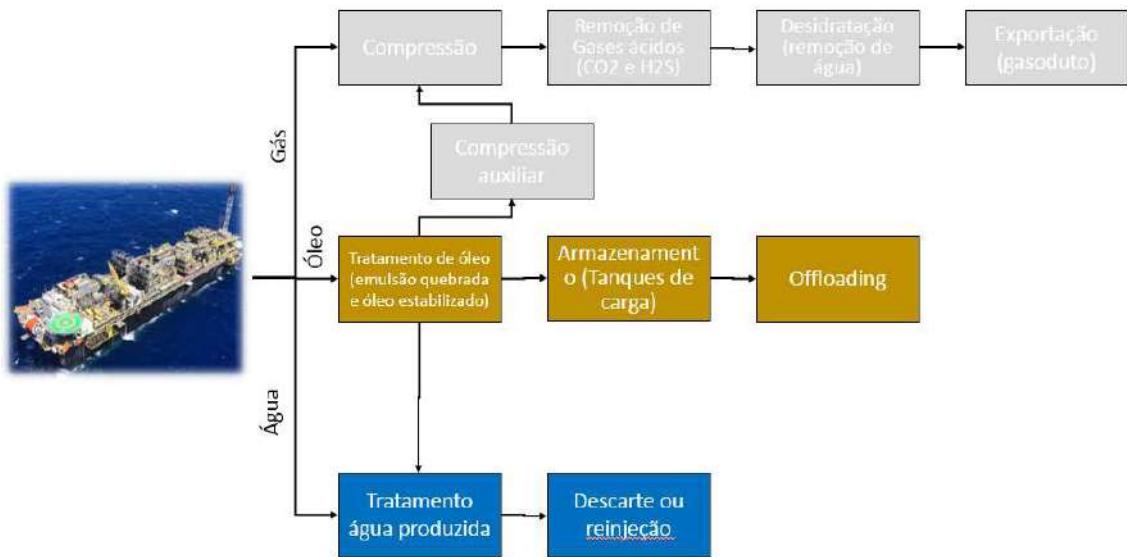


Figura 32- Processo simplificado produção de óleo e gás (O Autor)

5.2. Projeto para Exploração & Produção de Óleo e Gás

O processo de produção de petróleo depende de uma etapa anterior chamada exploração. Quando se aborda o tema, geralmente essas duas palavras vêm juntas – Exploração & Produção, seguindo uma lógica cronológica. Antes de produzir, é necessário explorar uma área buscando identificar se existe hidrocarboneto, denominada Campo.

A partir da identificação da existência de hidrocarboneto, seus volumes e qualidade são identificados por meio de processos sísmicos e testes de longa duração. Após essa etapa, os dados são repassados a equipe de projeto para o desenvolvimento da produção. Essa equipe reúne diversas disciplinas e áreas de conhecimento em três grandes grupos: Perfuração de poços, Engenharia Submarina (incluindo Elevação e Escoamento do óleo e gás), e Instalações de superfície.

Na Figura 33 a seguir pode ser observado um arranjo submarino típico para produção em um campo de petróleo.



Figura 33 - Arranjo submarino típico para Produção de Óleo e gás (Fonte: www.marinelink.com)

Nessa figura, pode-se observar o escopo da engenharia submarina com seus risers, manifolds submarinos, árvores de natal molhadas e linhas de produção e injeção. O escopo do grupo relativo às instalações de superfície se localiza acima da lâmina d'água enquanto o escopo do grupo de poços se localiza abaixo do leito marinho (Figura 34).

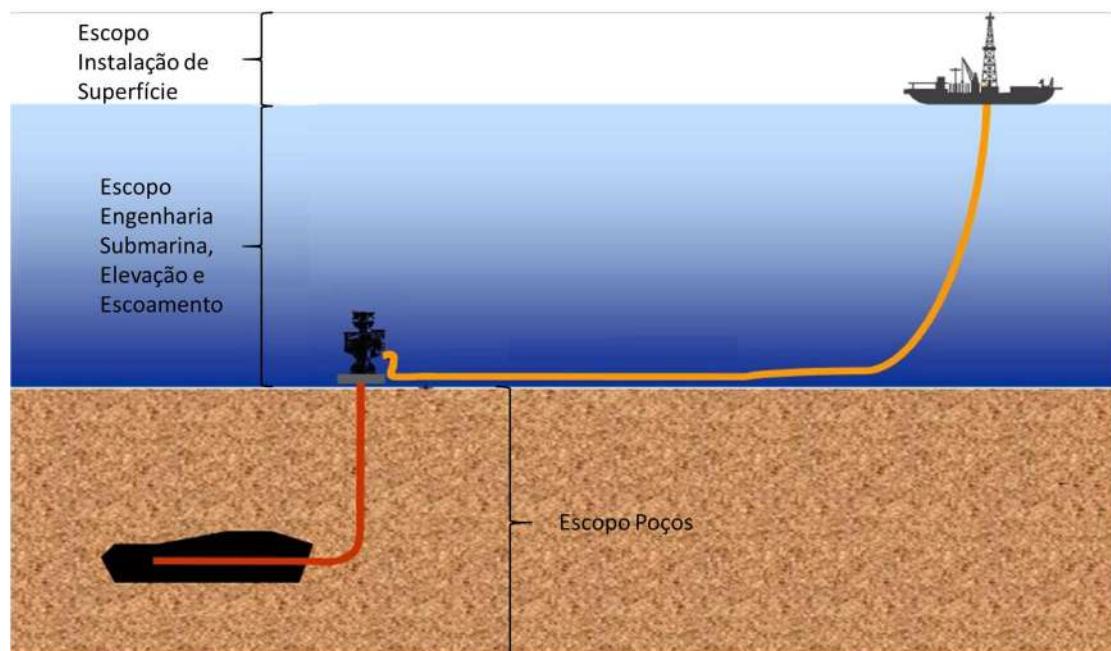


Figura 34 - Divisão dos escopos dos grupos de trabalho em projeto de Produção Offshore (Fonte: O Autor)

Os principais equipamentos da engenharia submarina são:

- Árvore de natal molhada – são equipamentos conectados diretamente às colunas de produção, ou seja, aos poços. Elas possuem um conjunto de válvulas acoplado à cabeça do poço para controlar a produção dos fluidos.
- Manifolds submarinos – São equipamentos interligados a diversas árvores de natal que tem por finalidade agregar a produção dos respectivos poços e escoá-los para FPSO ou distribuir os fluidos para serem reinjetado nos poços. Os manifolds reduzem a carga aplicada na FPSO, reduzem o espaço para sustentação dos risers e necessidade de intervenções.
- Linhas de produção – podem ser jumpers, flowlines ou risers. As duas primeiras são linhas estáticas de escoamento enquanto os risers são dutos ligados diretamente ligados a FPSO que carregam fluidos de produção e injeção.

Algumas especificidades incrementam as dificuldades técnicas na exploração e produção do Petróleo, três delas expostas por (ÁGUAS; MORAIS, 2013):

- As condições prevalecentes no clima, no ambiente marinho e nas rochas abaixo do leito oceânico;
- As grandes distâncias entre as plataformas e os poços no fundo do oceano, e entre as plataformas e o continente;
- A invisibilidade das operações no mar.

Isso faz com que inúmeros desafios tecnológicos tenham que ser superados como técnicas de ancoragem e estabilização da unidade em alto mar, brocas de perfuração em materiais ultra resistentes, logística de transporte de recursos humanos e materiais, equipamentos capazes de suportes elevadas pressões hidrostáticas, equipamentos capazes de operar remotamente no fundo do mar além de uma enormidade de outros fatores que transformaram essas operações de exploração e produção muito custosas e arriscadas tanto com relação às taxas de sucesso quanto a riscos operacionais.

6. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Esse capítulo tem por objetivo validar o modelo proposto por meio de aplicação real em um projeto de uma unidade FPSO em construção. As informações foram obtidas por meio dos questionários enviados a 10 especialistas que participaram ativamente do projeto desde seu início. As informações descritivas dos riscos, e nomes dos participantes serão mantidas confidenciais. Dessa forma, cada risco será descrito pelo símbolo R1 a R15 e os especialistas serão denominados E1 a E10.

6.1. Seleção dos Especialistas

Nas análises de risco de megaprojetos, não é possível reunir toda equipe ou mesmo convidá-los a participar desse fórum, já que existe necessidade de conhecimento do processo de análise além de uma visão geral técnica e gerencial do projeto. Sendo assim, um pequeno grupo representativo de toda equipe é convidado a participar. Essa seleção deve ocorrer de forma que todas as disciplinas do projeto estejam representadas. No caso do presente estudo, foram selecionados profissionais com conhecimento das seguintes áreas:

- Automação
- Elétrica
- Suprimentos
- Instrumentação
- Mecânica
- Tubulação
- Naval
- Contratos
- Gerencial e administrativa

A escolha dos profissionais foi resultado da reunião de trabalho entre o analista de risco e o gerente de projeto e foi considerada a maior abrangência possível de experiência e conhecimento da equipe.

6.2. Termos linguísticos e Números Fuzzy utilizados

Os termos e números foram definidos de acordo com a seção 4.3.2. Ressalta-se a importância dessa etapa no que diz respeito a propensão ou aversão ao risco dos gestores. Nessa etapa é que se determina o tamanho de cada grupamento fuzzy, consequentemente na quantidade de riscos que serão alocados em cada uma das estratégias de tratamento.

É necessário racionalizar esses conjuntos com o objetivo da uma melhor distribuição de recursos para tratamento ou não dos riscos mais severos ao projeto. Sendo assim, quanto maiores os conjuntos fuzzy mais próximos ao eixo das ordenadas (MB e B) e regras de inferência mais permissivas (Combinações da matriz P X I que resultem apenas em aceitar o risco), maior será a propensão ao risco.

Essa aplicação considerou conjuntos com majoritariamente a mesma área, representado uma não aversão e não propensão ao risco.

Foram definidas duas variáveis de entrada: Probabilidade e impacto dos riscos. Cada uma delas com seus respectivos termos linguísticos e conjuntos fuzzy, conforme abaixo.

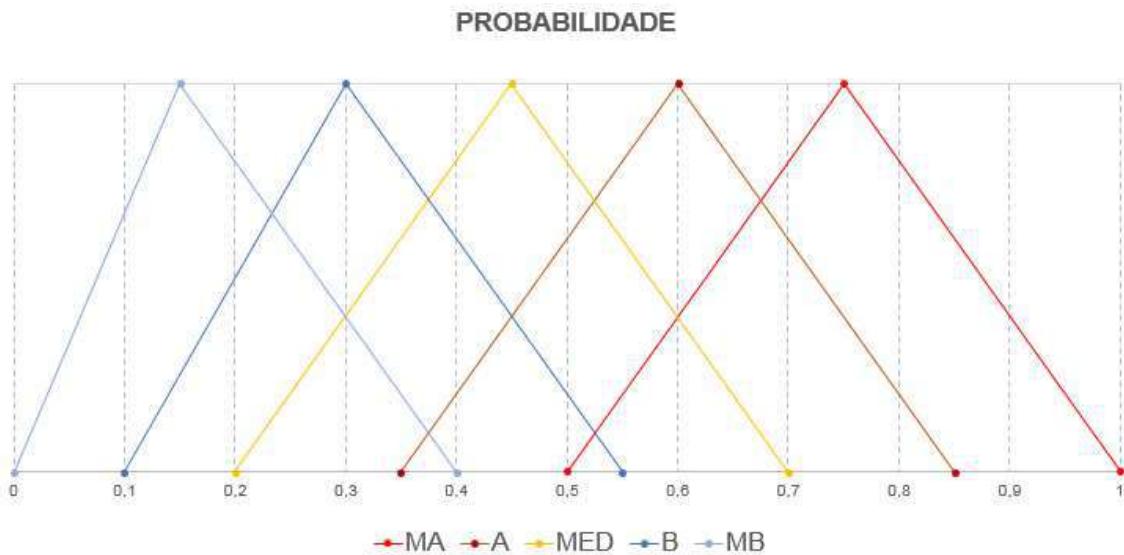


Figura 35 - Conjuntos Fuzzy e seus termos linguísticos para Probabilidade dos Riscos (Fonte: O Autor)

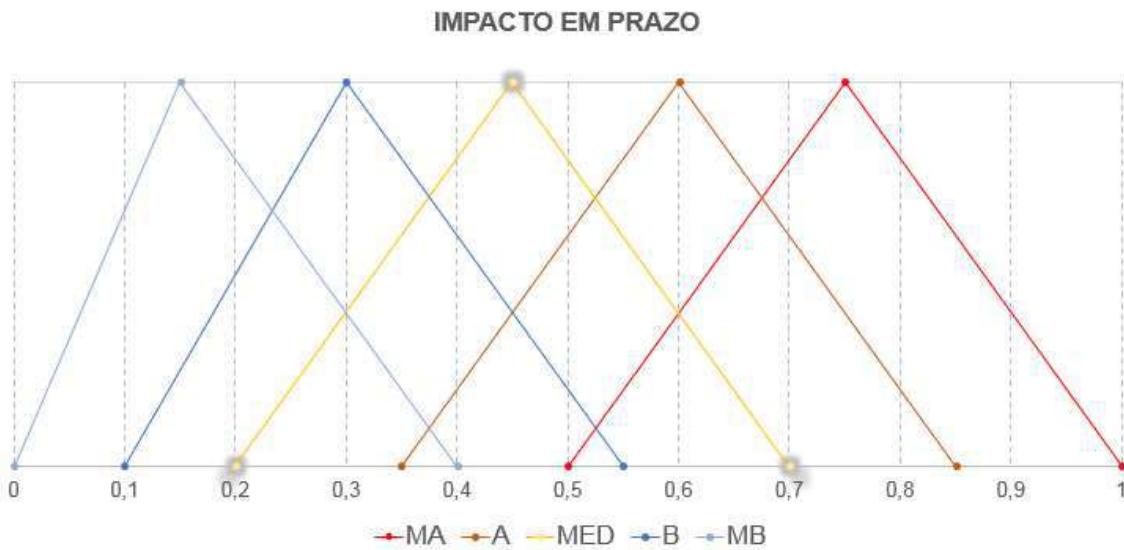


Figura 36 - Conjuntos Fuzzy e seus termos linguísticos para Impacto dos Riscos (Fonte: O Autor)

6.3. Coleta das opiniões e perfil dos especialistas

Para coleta dos dados, foi desenvolvida uma planilha padrão para posterior leitura automatizada no sistema desenvolvido pelo autor. Cada especialista foi contatado e informado sobre detalhes da análise tiveram conhecimento das outras áreas de projeto nivelado.

Qual sua função?			
1.	Gerente	()	1
	Engenheiro	X	0,8
	Técnico	()	0,6
Qual sua maior escolaridade?			
2.	Doutorado	()	1
	Mestrado	()	0,9
	Pós Lato Senso	()	0,8
	Graduação	X	0,7
	Curso Técnico	()	0,6
Quantos anos de experiência possui na Empresa			
3.	Mais de 20 anos	()	1
	De 15 a 20 anos	()	0,8
	De 10 a 15 anos	X	0,7
	De 5 a 10 anos	()	0,6
	Menos de 5 anos	()	0,5
Quantos anos de experiência possui em projetos semelhantes a esse?			
4.	Mais de 20 anos	()	1
	De 15 a 20 anos	()	0,8
	De 10 a 15 anos	X	0,7
	De 5 a 10 anos	()	0,6
	Menos de 5 anos	()	0,5

Figura 37- Questionário de Perfil utilizado na análise (Fonte: O Autor)

ID	Título do Risco (Evento Incerto: Risco)	Causas	Probabilidade	Impacto em Prazo
R01	Perda de dados	1. Perda de dados devido a falha no sistema de armazenamento. 2. Perda de dados devido a falha no sistema de backup. 3. Perda de dados devido a falha no sistema de rede.	Muito Alta	Alta
R02	Desastre natural	1. Desastre natural devido ao terremoto. 2. Desastre natural devido ao furacão. 3. Desastre natural devido ao tsunami. 4. Desastre natural devido ao desastre hidráulico. 5. Desastre natural devido ao desastre atmosférico. 6. Desastre natural devido ao desastre hidrológico.	Baixa	Médio
R03	Interrupção de fornecimento de energia	1. Interrupção de fornecimento de energia devido ao problema no sistema de energia. 2. Interrupção de fornecimento de energia devido ao problema no sistema de energia. 3. Interrupção de fornecimento de energia devido ao problema no sistema de energia.	Alta	Baixo
R04	Ataque cibernetico	1. Ataque cibernetico devido ao vírus. 2. Ataque cibernetico devido ao malware. 3. Ataque cibernetico devido ao spyware. 4. Ataque cibernetico devido ao ransomware.	Alta	Alto

Figura 38- Template para identificação e qualificação do risco pelo especialista (descrições dos riscos confidenciais) (Fonte: O Autor)

6.4. Determinação do Peso do Especialista

O peso do especialista é determinado conforme questionário da Figura 37 e equação da seção 4.3.4, aplicada conforme abaixo.

	tQi	GIEi
E1	3,4	0,112957
E2	3,2	0,106312
E3	2,6	0,086379
E4	3,0	0,099668
E5	2,9	0,096346
E6	3,2	0,106312
E7	3,4	0,112957
E8	2,9	0,096346
E9	2,7	0,089701
E10	2,8	0,093023
	30,1	1,000000

Tabela 16 - Determinação do Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor)



Figura 39 - Gráfico com o Peso dos Especialistas (Fonte: O Autor)

6.5.Consolidação dos Dados coletados

O modelo de Hsu e Chen (1996) foi aplicado nessa etapa, conforme passos abaixo.

6.5.1. Consolidado da Probabilidade e impacto de cada risco

As matrizes abaixo exibem de forma consolidada a opinião de todos os especialistas com relação a probabilidade e impacto dos riscos identificados.

	P.R1	P.R2	P.R3	P.R4	P.R5	P.R6	P.R7	P.R8	P.R9	P.R10	P.R11	P.R12	P.R13	P.R14	P.R15
E1	MA	A	MED	MA	A	MA	MA	MA	A	B	MA	MED	B	MED	A
E2	A	MED	B	A	A	B	MB	MED	B	B	MED	MED	A	A	B
E3	MA	MED	A	MA	A	A	MED	MA	A	A	A	B	MED	MA	MED
E4	MA	MED	A	MA	MA	B	A	A	A	MED	A	MED	A	MA	MA
E5	MA	B	A	MA	MED	MED	MA	B	A	MED	MA	A	A	A	MED
E6	0	MA	A	MA	A	A	MED	A	A	A	A	MED	A	MED	MED
E7	MA	MED	MA	B	MA	A	A	MA							
E8	MA	MA	MA	MA	MA	A	MA	MA	A	A	A	MA	A	MA	A
E9	A	A	MED	A	A	MA	MED	A	B	MED	MED	MED	MED	B	A
E10	MA	MED	MED	MA	A	B	B	MA	B	MB	MB	A	A	MA	MED

Tabela 17 - Consolidado das opiniões dos especialistas com relação a probabilidade dos eventos de risco (Fonte: O Autor)

	I.R1	I.R2	I.R3	I.R4	I.R5	I.R6	I.R7	I.R8	I.R9	I.R10	I.R11	I.R12	I.R13	I.R14	I.R15
E1	MA	MA	MA	MA	MA	MED	A	MA	MED	B	MED	MED	B	A	MED
E2	MED	MED	A	MED	B	MED	B	MED	MED	B	A	MED	MED	MED	MED
E3	A	B	A	A	A	B	B	A	MED	A	MED	B	MED	MA	MED
E4	MA	MED	MB	MA	A	MED	MA	A	MED	A	MED	A	MA	MA	MA
E5	A	MED	B	A	MED	MED	MED	MA	A	MED	A	A	MED	A	MED
E6	A	MED	B	A	B	MED	MED	MED	B	B	B	B	B	A	MED
E7	MA	MED	A	MA	A	MED	MA	MA	B	B	B	B	B	MED	MED
E8	MA	A	A	MA	A	A	A	MA	A	A	A	MA	A	A	A
E9	MED	MED	MA	MED	MED	A	MB	A	A	B	MED	MED	MB	A	A
E10	A	MB	MED	A	MA	MED	MED	A	B	MB	MB	MED	MED	MA	MED

Tabela 18 - Consolidado das opiniões dos especialistas com relação ao impacto dos eventos de risco (Fonte: O Autor)

6.5.2. Cálculo do grau de consenso entre as opiniões

O Cálculo de consenso foi realizado com o sistema automatizado elaborado pelo autor considerando as opiniões dos especialistas com relação aos 15 riscos. Cada risco possui uma entrada de Probabilidade e uma entrada de Impacto. As matrizes geradas foram utilizadas para calcular o grau de consenso conforme equação apresentada na seção 4.3.5.2. O conceito para identificar o consenso nesse modelo é aplicar a divisão entre a interseção das áreas das opiniões dos números fuzzy triangulares e a união dessas áreas. Dessa forma, quanto maior essa razão, maior é o consenso entre os especialistas.

Abaixo é apresentada a Tabela 19 com as opiniões, Termos linguísticos, Números Fuzzy e Áreas correspondentes ao número fuzzy gerado para probabilidade do Risco 01 (R01).

Especialista	Termos Linguísticos	Números Fuzzy (N)	Área N
1	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
2	A	(0,35; 0,6; 0,85)	0,25
3	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
4	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
5	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
6	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
7	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
8	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25
9	A	(0,35; 0,6; 0,85)	0,25
10	MA	(0,5; 0,75; 1)	0,25

Tabela 19 - Termos linguísticos usados para atribuição da probabilidade do Risco 1 (R01) (Fonte: O Autor)

As duas tabelas abaixo apresentam os valores de Interseção e União respectivamente para a opiniões de probabilidade de ocorrência do Risco 01 (R01).

Opiniões	MA	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A	MA
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
A	0,126	0,25	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,25	0,126
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25
A	0,126	0,25	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,25	0,126
MA	0,25	0,126	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,126	0,25

Tabela 20 - Interseção das áreas das opiniões dos especialistas para a probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)

Opiniões	MA	A	MA	MA	MA	MA	MA	MA	A	MA
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
A	0,374	0,25	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,25	0,374
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25
A	0,374	0,25	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,374	0,25	0,374
MA	0,25	0,374	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,374	0,25

Tabela 21 – União das áreas das opiniões dos especialistas para a prob. do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)

6.5.3. Elaboração da Matriz de Consenso

A partir do cálculo do consenso entre os especialistas, GC_{ij} , é possível construir a matriz de consenso (MC), conforme Tabela 22 abaixo.

	E1/Ej	E2/Ej	E3/Ej	E4/Ej	E5/Ej	E6/Ej	E7/Ej	E8/Ej	E9/Ej	E10/Ej
Ei/E1	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E2	0,3369	1	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	1	0,3369
Ei/E3	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E4	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E5	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E6	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E7	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E8	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1
Ei/E9	0,3369	1	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	0,3369	1	0,3369
Ei/E10	1	0,3369	1	1	1	1	1	1	0,3369	1

Tabela 22 - Matriz de Consenso para a probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)

Tanto nesse caso como em todos os outros riscos, houve grau de consenso maior do que zero (0), o que significa que sempre houve ao menos algum grau de concordância entre os especialistas na atribuição das probabilidades e impactos dos riscos. Para casos nos quais não há convergência das opiniões, recomenda-se uma nova rodada de estimativa após alinhamento com os participantes da análise.

6.5.4. Cálculo do Consenso Relativo

A partir da matriz de consenso acima, é possível calcular o Consenso Relativo CR_i , conforme equação da seção 4.3.5.4 e exemplo abaixo para o Risco 01 (R01).

$$CR_1 = \frac{1}{10-1} \times (1+0,33689+1+1+1+\dots+0,08695+0,36103) = 5,46687$$

As tabelas abaixo apresenta os valores de consenso para as probabilidades e impactos de todos os 15 riscos identificados.

	CR_i
CR_P.E1	5,466867
CR_P.E2	3,360364
CR_P.E3	5,761539
CR_P.E4	5,255973
CR_P.E5	4,477841
CR_P.E6	5,510052
CR_P.E7	4,61558
CR_P.E8	5,190312
CR_P.E9	4,259838
CR_P.E10	4,785516
TOTAL	48,68388

Tabela 23 - Valores de consenso relativo (CR) referente a probabilidade dos riscos (Fonte: O Autor)

	CR_i
CR.I.R1	4,394337
CR.I.R2	4,451007
CR.I.R3	4,387774
CR.I.R4	4,687301
CR.I.R5	4,780968
CR.I.R6	4,68425
CR.I.R7	5,101656
CR.I.R8	4,167649
CR.I.R9	3,901743
CR.I.R10	4,123431
TOTAL	44,68012

Tabela 24 - Valores de consenso relativo (CR) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)

6.5.5. Cálculo do Grau de Consenso Relativo

O cálculo do grau de consenso relativo (GCR_1) para a probabilidade do Risco 01 (R01) utiliza a equação descrita na seção 4.3.5.5.

$$GCR_1 = \frac{5,466867}{48,68388} = 0,112293$$

Tabela 25 e Tabela 26 apresentam o resultado do cálculo para os graus de consenso relativo das probabilidades e impactos de todos os riscos.

	GCRi
GCR.P.E1	0,112293
GCR.P.E2	0,069024
GCR.P.E3	0,118346
GCR.P.E4	0,107961
GCR.P.E5	0,091978
GCR.P.E6	0,113118
GCR.P.E7	0,094807
GCR.P.E8	0,106613
GCR.P.E9	0,0875
GCR.P.E10	0,098298
TOTAL	1

Tabela 25 - Valores do grau de consenso relativo (GCR) referente a probabilidade dos riscos (Fonte: O Autor)

	GCRi
GCR.I.E1	0,098351
GCR.I.E2	0,099619
GCR.I.E3	0,098204
GCR.I.E4	0,104908
GCR.I.E5	0,107004
GCR.I.E6	0,10484
GCR.I.E7	0,114182
GCR.I.E8	0,093277
GCR.I.E9	0,087326
GCR.I.E10	0,092288
TOTAL	1

Tabela 26 - Valores do grau de consenso relativo (GCR) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)

6.5.6. Cálculo do Coeficiente de Consenso dos Especialistas

O cálculo do CCE é realizado utilizando a equação da seção 4.3.5.6, conforme abaixo para o risco 01 (R01).

$$CCE_{P.R1} = \frac{0,112293 \times 0,112957}{0,099873} = 0,127004$$

Nas tabelas Tabela 27 e Tabela 28 são apresentados os resultados do cálculo do Coeficiente de Consenso dos especialistas para a probabilidade e impacto dos riscos identificados.

	CCEi
CCE.P.E1	0,127004
CCE.P.E2	0,073475
CCE.P.E3	0,102356
CCE.P.E4	0,10774
CCE.P.E5	0,088729
CCE.P.E6	0,120478
CCE.P.E7	0,107227
CCE.P.E8	0,102847
CCE.P.E9	0,078588
CCE.P.E10	0,091556
TOTAL	1

*Tabela 27 - Valores do Coeficiente de Consenso dos Especialistas (CCE) referente a probabilidade dos riscos
(Fonte: O Autor)*

	CCEi
CCE.I.E1	0,110655
CCE.I.E2	0,105489
CCE.I.E3	0,084492
CCE.I.E4	0,104146
CCE.I.E5	0,102687
CCE.I.E6	0,111017
CCE.I.E7	0,128467
CCE.I.E8	0,089514
CCE.I.E9	0,078023
CCE.I.E10	0,08551
TOTAL	1

Tabela 28 - Valores do Coeficiente de Consenso dos Especialistas (CCE) referente ao impacto dos riscos (Fonte: O Autor)

6.5.7. Determinação do Valor Fuzzy agregado para Probabilidade e Impacto de cada risco

O cálculo do número fuzzy para probabilidade do Risco 01 (R01) é dado pelo somatório do produto do CCE e a função de pertencimento associada ao termo linguístico atribuído a probabilidade do risco 01, conforme equação da seção 4.3.5.7, gerando um número fuzzy triangular.

$$\begin{aligned}
 N = & 0,127004 \times 0,5 + 0,073475 \times 0,35 + 0,102356 \times 0,5 \dots ; + 0,127004 \times 0,75 \\
 & + ,073475 \times 0,6 + 0,102356 \times 0,85 + \dots ; 0,127004 \times 1 \\
 & + 0,073475 \times 0,85 + 0,102356 \times 1 + \dots) \\
 & = (0,477191; 0727191; 0,977191)
 \end{aligned}$$

A representação gráfica do Número Fuzzy da probabilidade agregada do Risco 01 é apresentada abaixo.

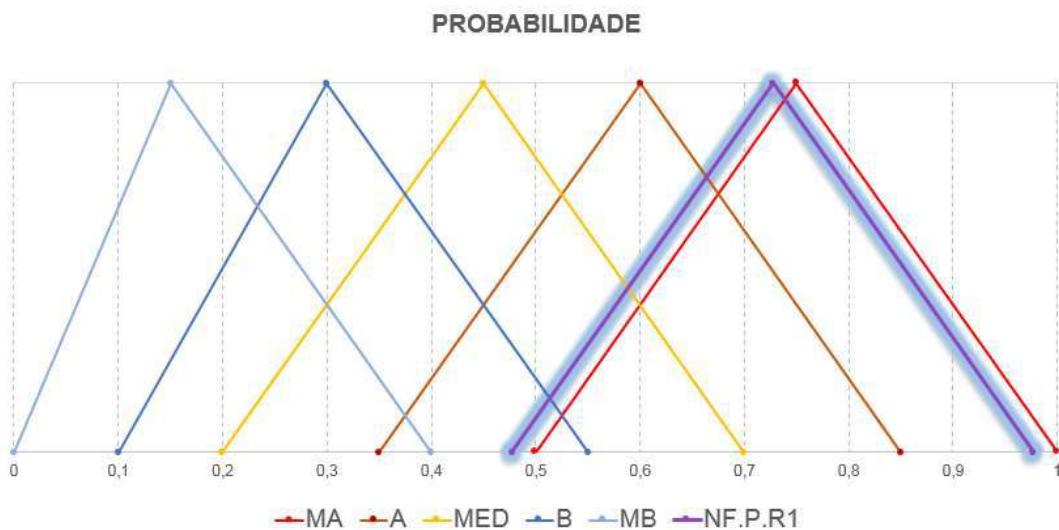


Figura 40 - Representação gráfica da Função de pertinência do número fuzzy agregado da probabilidade do Risco 01 (R01) (Fonte: O Autor)

As tabelas Tabela 29 e Tabela 30 abaixo apresentam os números fuzzy consolidados para todas as probabilidades e impactos dos riscos mapeados.

	a	b	c
NF.P.R1	0,477	0,727	0,977
NF.P.R2	0,321	0,567	0,817
NF.P.R3	0,319	0,565	0,815
NF.P.R4	0,477	0,727	0,977
NF.P.R5	0,384	0,634	0,884
NF.P.R6	0,315	0,552	0,802
NF.P.R7	0,320	0,558	0,808
NF.P.R8	0,396	0,642	0,892
NF.P.R9	0,273	0,511	0,761
NF.P.R10	0,243	0,473	0,723
NF.P.R11	0,301	0,536	0,786
NF.P.R12	0,280	0,525	0,775
NF.P.R13	0,291	0,535	0,785
NF.P.R14	0,354	0,600	0,850
NF.P.R15	0,303	0,550	0,800

Tabela 29 – Números Fuzzy para a Probabilidade de ocorrência dos Riscos (Fonte: O Autor)

	a	b	c
NF.I.R1	0,387	0,637	0,887
NF.I.R2	0,221	0,458	0,708
NF.I.R3	0,276	0,504	0,754
NF.I.R4	0,387	0,637	0,887
NF.I.R5	0,298	0,537	0,787
NF.I.R6	0,217	0,462	0,712
NF.I.R7	0,265	0,498	0,748
NF.I.R8	0,382	0,632	0,882
NF.I.R9	0,208	0,442	0,692
NF.I.R10	0,171	0,386	0,636
NF.I.R11	0,204	0,433	0,683
NF.I.R12	0,225	0,459	0,709
NF.I.R13	0,207	0,438	0,688
NF.I.R14	0,356	0,606	0,856
NF.I.R15	0,256	0,506	0,756

Tabela 30 – Números Fuzzy para Impacto dos Riscos (Fonte: O Autor)

6.5.8. Cálculo dos Graus de Importância da Probabilidade (GIP), Impacto (GII) e Risco (GIR)

Os graus de importância são indicadores que priorizam os riscos, ordenando-os daquele com maior severidade para o de menor severidade. Esses indicadores para o Risco 2 (R02) são calculados conforme equações da seção 4.3.5.8.

$$GIP_2 = \frac{0,567}{0,727} = 0,77929$$

$$GII_2 = \frac{0,458}{0,637} = 0,71902$$

$$GIR_2 = 0,77929 \times 0,71902 = 0,560$$

6.6. Defuzzificação

Nessa seção são apresentados os termos linguísticos relativos a defuzzificação dos números fuzzy para probabilidade, impacto e severidade dos riscos após todo processo de agregação.

	MA	A	MED	B	MB	Defuzzificação
NF.P.R1	0,032	0,180	0,392	0,570	0,749	MA
NF.P.R2	0,256	0,044	0,168	0,346	0,526	A
NF.P.R3	0,259	0,047	0,165	0,343	0,523	A
NF.P.R4	0,032	0,180	0,392	0,570	0,749	MA
NF.P.R5	0,164	0,049	0,261	0,439	0,618	A
NF.P.R6	0,271	0,059	0,154	0,331	0,511	A
NF.P.R7	0,263	0,051	0,162	0,339	0,519	A
NF.P.R8	0,150	0,063	0,275	0,453	0,632	A
NF.P.R9	0,330	0,118	0,095	0,273	0,452	MED
NF.P.R10	0,378	0,166	0,049	0,225	0,404	MED
NF.P.R11	0,292	0,081	0,133	0,310	0,489	A
NF.P.R12	0,315	0,103	0,109	0,288	0,468	A
NF.P.R13	0,300	0,088	0,124	0,303	0,482	A
NF.P.R14	0,209	0,004	0,215	0,393	0,572	A
NF.P.R15	0,281	0,069	0,144	0,322	0,502	A

Tabela 31 - Defuzzificação dos números fuzzy de Probabilidade (Fonte: O Autor)

Como exemplo, o Risco 3 (NF.P.R03), após o cálculo da distância euclidiana entre os centroides, observa-se que a menor distância entre o centroide do número fuzzy relativo ao R03 é o número fuzzy referente termo linguístico “Alto”, conforme hachurado na Tabela 31.

Seguindo o mesmo conceito, as Tabelas Tabela 32 e Tabela 33 de Impacto e Severidade são apresentadas a seguir.

	MA	A	MED	B	MB	Defuzzificação
NF.I.R1	0,159	0,053	0,265	0,443	0,623	A
NF.I.R2	0,404	0,192	0,023	0,199	0,379	MED
NF.I.R3	0,333	0,121	0,093	0,270	0,449	MED
NF.I.R4	0,159	0,053	0,265	0,443	0,623	A
NF.I.R5	0,293	0,081	0,131	0,309	0,489	A
NF.I.R6	0,404	0,192	0,021	0,200	0,380	MED
NF.I.R7	0,344	0,133	0,081	0,258	0,437	MED
NF.I.R8	0,167	0,046	0,258	0,436	0,615	A
NF.I.R9	0,425	0,213	0,011	0,178	0,358	MED
NF.I.R10	0,490	0,279	0,070	0,112	0,292	MED
NF.I.R11	0,434	0,222	0,017	0,169	0,349	MED
NF.I.R12	0,400	0,188	0,027	0,203	0,383	MED
NF.I.R13	0,428	0,216	0,014	0,175	0,355	MED
NF.I.R14	0,204	0,009	0,221	0,399	0,579	A
NF.I.R15	0,345	0,132	0,080	0,259	0,439	MED

Tabela 32 - Defuzzificação dos números fuzzy de Impacto (Fonte: O Autor)

	MA	A	MED	B	MB	Defuzzificação
NF.S.R1	0,342	0,166	0,168	0,345	0,502	A
NF.S.R2	0,601	0,389	0,177	0,041	0,192	B
NF.S.R3	0,564	0,352	0,141	0,066	0,232	B
NF.S.R4	0,342	0,166	0,168	0,328	0,502	A
NF.S.R5	0,491	0,281	0,085	0,147	0,318	MED
NF.S.R6	0,608	0,396	0,184	0,038	0,184	B
NF.S.R7	0,573	0,361	0,150	0,056	0,221	B
NF.S.R8	0,408	0,208	0,100	0,242	0,416	MED
NF.S.R9	0,649	0,437	0,225	0,049	0,139	B
NF.S.R10	0,708	0,497	0,287	0,107	0,073	MB
NF.S.R11	0,638	0,426	0,214	0,041	0,150	B
NF.S.R12	0,628	0,415	0,203	0,037	0,162	B
NF.S.R13	0,636	0,424	0,213	0,041	0,152	B
NF.S.R14	0,463	0,255	0,079	0,179	0,351	MED
NF.S.R15	0,578	0,366	0,155	0,059	0,219	B

Tabela 33 - Defuzzificação dos números fuzzy para Severidade dos Riscos (Fonte: O Autor)

6.7. Regras de inferência

As regras de inferência determinam a estratégia a ser adotada para cada risco. O modelo de inferência proposto foi descrito na seção 0 e obteve como resultado as seguintes estratégias para cada um dos riscos.

Riscos	Ação	Descrição Ação
R01	3	Tratar
R02	2	Monitorar
R03	2	Monitorar
R04	3	Tratar
R05	3	Tratar
R06	2	Monitorar
R07	2	Monitorar
R08	3	Tratar
R09	2	Monitorar
R10	2	Monitorar
R11	2	Monitorar
R12	2	Monitorar
R13	2	Monitorar
R14	3	Tratar
R15	2	Monitorar

Tabela 34 - Defuzzificação para estratégia de tratamento dos riscos

6.8. Cálculo do Risco Total do Projeto

Utilizando a equação da seção 4.3.8, é possível calcular o Número fuzzy para severidade total do projeto, conforme Tabela 35 a seguir.

	a	b	c
NF.S.R1	0,185	0,464	0,867
NF.S.R2	0,071	0,260	0,578
NF.S.R3	0,088	0,285	0,615
NF.S.R4	0,185	0,464	0,867
NF.S.R5	0,115	0,341	0,696
NF.S.R6	0,068	0,255	0,571
NF.S.R7	0,085	0,278	0,604
NF.S.R8	0,152	0,406	0,787
NF.S.R9	0,057	0,226	0,526
NF.S.R10	0,042	0,183	0,460
NF.S.R11	0,061	0,232	0,537
NF.S.R12	0,063	0,241	0,549
NF.S.R13	0,060	0,234	0,540
NF.S.R14	0,126	0,364	0,728
NF.S.R15	0,078	0,278	0,605
NF.AVG.S	0,096	0,301	0,635

Tabela 35 - Números fuzzy de severidade por risco e total do projeto (Fonte: O Autor)

Foi calculado o Grau de Risco Total do Projeto (GRP) que apresenta um único número escalar para os tomadores de decisão posicionarem o nível de risco do projeto em uma carteira.

Priorização GIR	
NF.S.R1	1,000
NF.S.R4	1,000
NF.S.R8	0,874
NF.S.R7	0,751
NF.S.R5	0,720
NF.S.R14	0,672
NF.S.R3	0,642
NF.S.R2	0,593
NF.S.R15	0,589
NF.S.R6	0,543
NF.S.R13	0,502
NF.S.R12	0,488
NF.S.R10	0,441
NF.S.R11	0,435
NF.S.R9	0,431
GRP	9,681

Tabela 36 – Priorização dos riscos por severidade e Grau de Risco Total do Projeto (GRP) (Fonte: O Autor)

6.9.Comparação dos resultados do Modelo tradicional com o modelo proposto

No modelo tradicional a análise de risco é realizada considerando a opinião o grupo como um todo e não as opiniões individualizadas. Essa característica pode trazer a análise diversos vieses como o de ancoragem. Muitas vezes os profissionais de nível hierárquico mais baixo como técnicos ou engenheiros sem função na empresa podem se sentir compelidos a concordar com a opinião dos mais graduados e seus gerentes. Dessa forma a concordância de todos com apenas um termo linguístico pode não representar a verdadeira opinião individual.

Foram observadas grandes diferenças nas priorizações e estratégias de tratamento dos riscos. No modelo tradicional a regra direta utilizada é adotar o tratamento do risco sempre que sua severidade for alta. Já no MARF, as regras de inferência Fuzzy determinam o que deverá ser feito com relação a resposta ao risco. As tabelas abaixo apresentam de forma resumida a comparação entre os dois modelos e o ranqueamento dos riscos.

# Ranking	Priorização Análise Método Tradicional				Priorização MARF			
	Risco	P X I	Severidade	Estratégia	Risco	GIR	Severidade	Estratégia
1	R14	0,2	Alta	Tratar	NF.S.R1	1,0000	Alta	Tratar
2	R15	0,2	Alta	Tratar	NF.S.R4	1,0000	Alta	Tratar
3	R6	0,15	Alta	Tratar	NF.S.R8	0,8742	Média	Tratar
4	R1	0,12	Alta	Tratar	NF.S.R7	0,7507	Baixa	Monitorar
5	R8	0,12	Alta	Tratar	NF.S.R5	0,7197	Média	Tratar
6	R5	0,1	Média	Monitorar	NF.S.R14	0,6721	Média	Tratar
7	R3	0,09	Média	Monitorar	NF.S.R3	0,6421	Baixa	Monitorar
8	R4	0,09	Média	Monitorar	NF.S.R2	0,5929	Baixa	Monitorar
9	R13	0,09	Média	Monitorar	NF.S.R15	0,5888	Baixa	Monitorar
10	R2	0,08	Média	Monitorar	NF.S.R6	0,5431	Baixa	Monitorar
11	R9	0,06	Média	Monitorar	NF.S.R13	0,5021	Baixa	Monitorar
12	R10	0,06	Média	Monitorar	NF.S.R12	0,4882	Baixa	Monitorar
13	R12	0,06	Média	Monitorar	NF.S.R10	0,4408	Muito Baixa	Monitorar
14	R7	0,04	Baixa	Aceitar	NF.S.R11	0,4354	Baixa	Monitorar
15	R11	0,04	Baixa	Aceitar	NF.S.R9	0,4306	Baixa	Monitorar

Tabela 37 - Comparação Severidade e Estratégia calculada pelos dois modelos (Fonte: O Autor)

	# Ranking	
Risco	Tradicional	MARF
R01	4	1
R02	10	8
R03	7	7
R04	8	2
R05	6	5
R06	3	10
R07	14	4
R08	5	3
R09	11	15
R10	12	13
R11	15	14
R12	13	12
R13	9	11
R14	1	6
R15	2	9

Tabela 38 - Comparação Ranking de priorização nos dois modelos (Fonte: O Autor)

Pode-se observar grandes diferenças em relação a priorização de alguns riscos como R07. Esse risco obteve o quarto menor grau de consenso, demonstrando que na análise tradicional possivelmente muitos profissionais tiveram que alterar suas opiniões para entrar em acordo com o grupo. Por outro lado, apesar da grande diferença de ranqueamento nos dois modelos, o R06 possui alto grau de consenso. No entanto o alto grau de consenso obtido pelo R06 se deve a parcela referente ao consenso do impacto. O consenso da probabilidade desse risco é um dos mais baixos entre todos os riscos.

Diferenças entre os modelos sempre irão existir em função dos diferentes algoritmos aplicados. O que é relevante notar no caso do MARF são os diversos indicadores que o tomador de decisões possui para avaliar qual será de fato a estratégia adotada frente aos riscos expostos. Um conjunto de indicadores numéricos e qualitativos certamente direciona uma melhor tomada de decisão.

7. CONCLUSÃO

Os projetos de construção e montagem de uma unidade estacionária de produção requerem grande período de maturação até que todas as disciplinas envolvidas – poços, engenharia submarina, elevação e escoamento – estejam com avanço suficientemente razoável para estabelecer os parâmetros necessários para o projeto da UEP a ser construída. O contexto de aplicação do modelo ocorreu em uma fase avançada da construção, porém ainda com algumas indefinições do projeto relativas à qualidade do óleo a ser extraído do campo, gerando, portanto, indefinições com relação à planta de produção (UEP-FPSO).

Cada projeto dessa magnitude possui particularidades e desafios jamais vivenciados em outros projetos, o que eleva o risco de prazo do projeto para altos níveis. De qualquer forma, a maneira pela qual o gerenciamento de risco foi realizado até então, se mostrou conservador a ponto de tratar muitos riscos. O que se mostrou mais preocupante é o fato da priorização não ser realizada de maneira assertiva. Ou seja, alguns riscos que não ocorreram, não em função de mitigação, mas sim por acontecimentos inerentes ao projeto, tiveram muito esforço alocado. Ao passo que alguns riscos menosprezados na análise tradicional e sem a devida atenção tiveram impacto mais relevante no prazo do projeto.

O modelo se mostrou eficiente no sentido de priorizar os riscos que mais prejudicaram o prazo do projeto. O Risco 01 que apontou problemas contratuais e de escopo representou de fato o maior impacto no projeto, influenciando diretamente o início da produção de óleo da unidade. Sendo assim, o MARF se mostrou mais assertivo que o modelo tradicional.

O modelo proposto se mostrou eficiente no sentido de mitigar vieses que são observados frequentemente nas análises em empresas projetizadas e hierarquizadas. O modelo tradicional pressupõe que todos os especialistas se reúnham para em comum acordo estimar as probabilidades e impactos dos riscos. Dessa forma, alguns profissionais, por motivos que variam desde perfil pessoal como timidez, quanto de vontade de não se indispor com os colegas, não informam sua real opinião sobre as questões levantadas.

No modelo proposto, a individualidade da estimativa tem um grande valor já que isola e/ou mitiga os vieses e aumenta a concentração do profissional em realizar as estimativas.

No caso do projeto simulado, houve alto grau de consenso na maioria dos riscos mapeados. Esse fato comprova o alinhamento e conhecimento da equipe que cobre todas as áreas do projeto. Outro benefício identificado foi a impossibilidade de interferência do gerente nos resultados, já que o mesmo, no modelo proposto, somente recebe o resultado final. Sendo assim a análise se configura mais real e mais técnica, desconsiderando fatores políticos.

Os impactos positivos não se restringem apenas ao resultado final de uma melhor previsibilidade de prazo, como também se estendem a sociedade e comunidade na qual o projeto está inserido. Isso se manifesta no sentido de conhecimento do público geral sobre a necessidade de mão-de-obra direta demandada durante a fase de construção e montagem, necessidade de disponibilidade de produtos e serviços locais para atender a demanda oriunda do projeto e dos profissionais lotados na região, pagamento de impostos entre outros.

7.1. Síntese dos Resultados da Pesquisa

O resultado do modelo apresentou os seguintes pontos positivos.

- Mitigou vieses percebidos durante a realização das reuniões de trabalho comparado ao modelo tradicional;
- Permitiu rastrear opiniões e calcular aquelas mais destoantes;
- Proporcionou um processo mais rápido e eficiente no sentido que não se torna necessária uma agenda de toda equipe para reuniões de trabalho;
- Permitiu que novas rodadas pudessem ser realizadas de maneira mais frequente;
- Foi mais assertiva, priorizando os riscos que mais impactam no projeto

A descrição resumida do modelo abaixo na Figura 41 apresenta as diferenças de entradas e saídas em comparação com o modelo tradicional. Os maiores benefícios dizem respeito aos indicadores de consenso e os indicadores finais de Grau de Risco do Projeto os quais tomados na mesma base importam para tomada de decisão da alta direção das empresas para priorização não só dos riscos, mas um mapeamento da carteira de projeto da empresa.

A aversão ou propensão ao risco irá determinar os projetos que continuam ou são descontinuados.

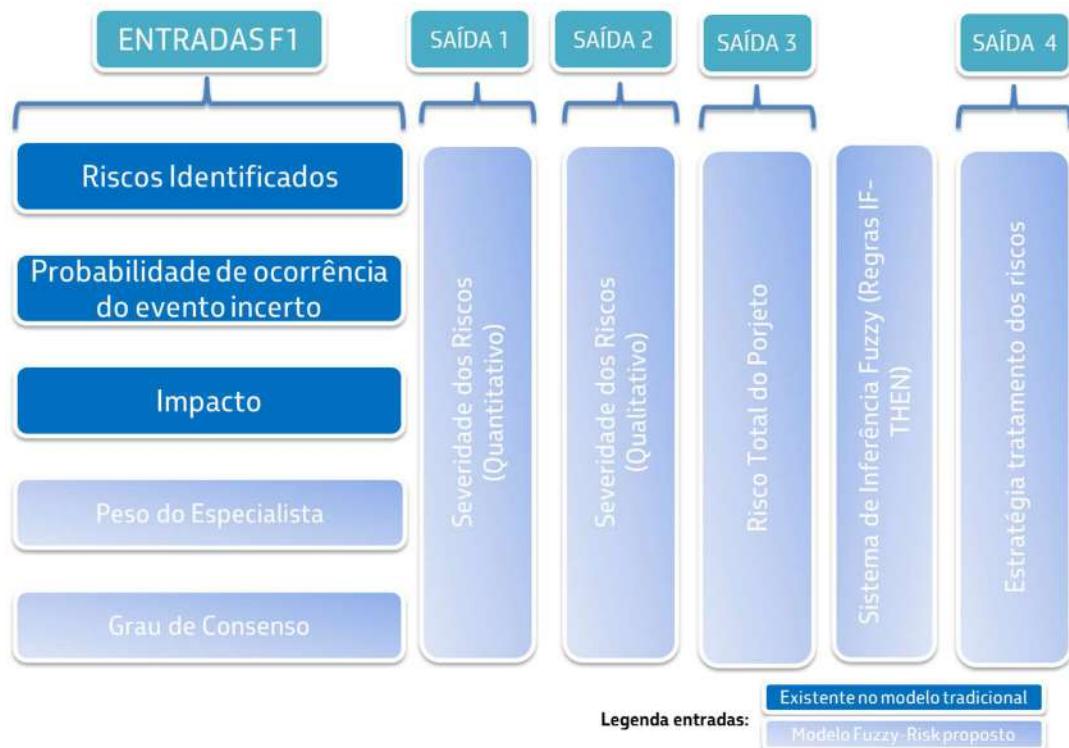


Figura 41 - Entradas e saídas do COPPE-MARF (Fonte: O Autor)

Com o objetivo de fornecer o maior direcionamento possível para os tomadores de decisão, além da defuzzificação para se obter a severidade do risco, também foram utilizadas regras de inferência que auxiliam na tomada de decisão em conjunto com a informação de severidade do risco. Dessa forma, como se trata de um processo de gestão, as avaliações subjetivas para tomada de decisão podem ser mais embasadas.

7.2. Limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros

Os ciclos maturação de projetos para exploração e produção de óleo e gás são muito longos, de 6 a 8 anos entre a descoberta do poço e a entrada em operação. A presente pesquisa desenvolveu um modelo que foi aplicado em um projeto ainda em execução, portanto mais riscos ainda podem surgir e comprometer os objetivos do projeto. Sendo

assim, a pesquisa se restringiu a etapas determinadas para realizar as análises. A aplicação por completo em todo ciclo do projeto é recomendada de forma a avaliar a real e final assertividade do modelo.

No projeto estudado, o direcionador sempre foi de prazo, no entanto, em outros projetos o enfoque pode ser diferente. Sendo assim, recomenda-se acrescentar ao modelo a variável custo e qualidade caso uma ou ambas essas variáveis sejam a direcionadora do projeto.

O processo de análise de risco não foi avaliado por completo no presente trabalho. O Acompanhamento e monitoramento dos planos de ação para mitigar os riscos se faz necessário para que o processo obtenha o resultado desejado, qual seja, manter o projeto dentro do prazo planejado. Dessa forma, estudos que avaliam os planos de ação e propõem ações para que esses planos sejam de fato efetivos são de extrema relevância para gestão de prazo do projeto.

Como pontos de melhoria para aplicação de modelos utilizando a lógica fuzzy em análise de risco sugere-se:

- Após a rodada inicial de coleta das opiniões, os especialistas podem se reunir de modo a observar as diversas opiniões e trocar conhecimentos a respeito do contexto do projeto para que haja intercâmbio de informações;
- Deve haver análises periódicas e sempre que houver alguma mudança que impacte nos objetivos do projeto;
- Os profissionais podem ser segmentados por área de conhecimento para que opinem somente naqueles riscos que lhes são mais familiares e não em todos os riscos.
- Outras variáveis de análise podem fazer parte do modelo como análise de custo e qualidade;

REFERÊNCIAS

- 31000:2009, A. N. B. R. I. S. O. Gestão de riscos - Princípios e diretrizes. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://gestravp.files.wordpress.com/2013/06/iso31000-gestc3a3o-de-riscos.pdf>>.
- ABDERISAK, A.; LINDAHL, G. **Take a chance on me? Construction clients perspectives on risk management.** Procedia Economics and Finance, v. 21, 2015.
- ABDOU, O. A. **Managing construction risks.** Journal of Architectural Engineering, 1996.
- ÁGUAS, P. E. M.; MORAIS, J. M. DE. **Petróleo em Águas Profundas - Uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore.** 1. ed. Brasília: IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2013.
- AHN, S., LEE, S. **Methodology for creating empirically supported agent-based simulation with survey data for studying group behavior of construction workers.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 141(1), p. 04014065-1--040140659-9, 2014.
- AKINTOYE, A. S.; MACLEOD, M. J. **Risk analysis and management in construction.** International Journal of Project Management, v. 15, n. 1, p. 31–38, 1997.
- AL-BAHAR, J. F.; CRANDALL, K. C. **Systematic risk management approach for construction projects.** Journal of Construction Engineering Management, v. v. 116, p. 533–546, 1990.
- ALTOUNIAN, C. S. **Obras públicas – Licitação, contratação, fiscalização e utilização.** Belo Horizonte: Forum, 2011.
- ANDERSEN, E. S.; JESSEN, S. **Project maturity in organizations.** International Journal of Project Management, v. V.21, p. 457–461, 2002.
- ARAGÃO, A. P. **Estimativa da Contribuição do setor Petróleo ao Produto Interno Bruto do Brasil: 1955/2004.** Superintendência de Planejamento e Pesquisa - IBP, 2005.
- ARVIDSSON, N. **Exploring tensions in projectified matrix organisations.**

Scandinavian Journal of Management, v. 25, n. 1, p. 97–107, 2009.

ASGARI, S., AWWAD, R., KANDIL, A., ODEH, I. Impact of considering need for work and risk on performance of construction contractors: An agent-based approach. Automation in Construction, v. 65, p. 9–20, 2016.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016.

BACCARINI, D. The concept of project complexity a review. v. 14, n. 4, p. 201–204, 1996.

BALOI, D.; PRICE, A. D. F. Modelling global risk factors affecting construction cost performance. International Journal of Project Management, v. 21, n. 4, p. 261–269, 2003.

BANAITIENE, N.; BANAITIS, A. Risk management in construction projects in risk management – current issues and challenges. InTech, 2012.

BARRETO, F. S. P.; ANDERY, P. R. P. Contribuição à gestão de riscos no processo de projeto de incorporadoras de médio porte. Ambiente Construído, v. V. 15, p. 71–85, 2015.

BELOHLAVEK, R.; KLIR, G.; LEWIS, H.; WAY, E. On the capability of fuzzy set theory to represent concepts. Int. J. Gen. Syst, v. v.31, p. 569–585, 2002.

BEN-ALON, L., SACKS, R. Simulating the behavior of trade crews in construction using agents and building information modeling. Automation in Construction, v. 74, p. 12–27, 2017.

BERSSANETI, F. T.; CARVALHO, M. M. DE; MUSCAT, A. R. N. Impacto dos modelos de referência e maturidade no gerenciamento de projetos: estudo exploratório em projetos de tecnologia da informação. Production, v. 22, n. 3, p. 404–435, 2012.

BEZDEK, J. C.; SPILLMAN , B.; SPILLMAN, R. A Fuzzy relation space for group decision theory. Fuzzy Sets and Systems, 1978.

CANONICO, P.; SÖDERLUND, J. Getting control of multi-project organizations:

Combining contingent control mechanisms. International Journal of Project Management, v. 28, n. 8, p. 796–806, 2010.

CARR, V.; TAH, J. H. M. A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis : construction project risk management system. v. 32, p. 847–857, 2001.

CHAMOVITZ, I.; COSENZA, C. A. N. Lógica Fuzzy: Alternativa viável para projetos complexos no Rio de Janeiro. Xiv Profundão, n. 2010, 2010.

CHAPMAN, R. J. The Controlling Influences on Effective Risk Identification and Assessment for Construction Design Management. International Journal of Project management, v. 19, p. 147–160, 2001.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. Measuring Project Complexity and Its Impact. Disponível em: <<https://www.construction-institute.org/resources/knowledgebase/knowledge-areas/project-program-management/topics/rt-305>>. Acesso em: 19 set. 2019.

COAA. Construction Owners Association of Alberta. Disponível em: <<http://www.coaa.ab.ca>>.

DANIEL, E.; DANIEL, P. A. Megaprojects as complex adaptive systems: The Hinkley point C case. International Journal of Project Management, 2019.

DAO, B. et al. Identifying and Measuring Project Complexity. Procedia Engineering, v. 145, p. 476–482, 2016a.

DAO, B. et al. Project Complexity Assessment and Management Tool. Procedia Engineering, v. 145, p. 491–496, 2016b.

DIKMEN, I.; BIRGONUL, M. T.; HAN, S. Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. International Journal of Project Management, v. v.25, n. n. 5, p. 494–505, 2007.

DUBOIS, D; PRADE, H. Fuzzy and systems: Theory and Applications. New York: Academic Press, 1980.

DUBOIS, D.; PRADE, H. Fuzzy sets and systems, theory and applications. Academic P ed. New York: [s.n.].

DUBOIS, D. et al. **Fuzzy sets and probability : Misunderstandings, bridges and gaps.** Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems. Anais...San Francisco: 1993

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Possibility theory as a basis for qualitative decision theory.** Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence, n. x, p. 1924–1930, 1995.

DUBOIS, D.; PRADE, H. **Possibility Theory , Probability Theory and Multiple-Valued Logics : A Possibility theory , probability theory and multiple-valued logics : A clarification** *. n. August 2001, 2017.

EDUARDO, C.; BRAGA, M. F. Carlos Eduardo M . Fernandes Braga **Lógica Fuzzy aplicada ao gerenciamento de riscos em projetos** Monografia de Final de Curso. p. 1–53, 2017.

EKLUND, P.; RUSINOWSKA, A.; DE SWART, H. **Consensus reaching in committees.** European Journal of Operational Research, v. 178, n. 1, p. 185–193, 2007.

EMMONS, DEBRA; MAZZUCHI, THOMAS A.; SARKANI, SHAHRAM; LARSEN, C. E. **Mitigating Cognitive Biases in Risk Identification: Practitioner Checklist for the Aerospace Sector.** Nasa, p. 50, 2018.

EPSTEIN, J. M. **Why Model?** Journal of Artificial Societies and Social Simulation, v. 11, p. 12, 2008.

EYRES, D. J. **Ship Construction.** 6th. ed. Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, 2007.

FAYEK, A. R. . ET AL. **Fuzzy Hybrid Computing in Construction Engineering and Management: Theory and Applications** Emerald, , 2018.

FOSTER, M. G. S. **Retomada da Indústria Naval e Offshore do Brasil: 2003 - 2013 - 2020: Visão Petrobras.** 1. ed. Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S/A, 2013.

GAINES, B. R.; KOHOUT, L. **POSSIBLE AUTOMATA.** 1975.

GAINES, B. R. **Fuzzy and probability uncertainty logics.** Information and Control, v. 38, n. 2, p. 154–169, 1978.

GEHBAUER, F. **Planejamento e gestão de obras.** Paraná: CEFET, 2002.

GERALDI, J. Now, let's make it really complex (complicated). International Journal of Operations & Production Management, v. 31, n. 9, p. 966–990, 1 jan. 2011.

GERALDI, J. G. The balance between order and chaos in multi-project firms: A conceptual model. International Journal of Project Management, v. 26, n. 4, p. 348–356, 2008.

GILL, A. **Applied Algebra for computer sciences**. New Jersey: Prentice Hall, 1976.

GRECCO, C. H. S. **AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM COM TECNOLOGIAS PERIGOSAS: O CASO DA EXPEDIÇÃO DE RADIOFÁRMACOS**. [s.l.] COPPE-UFRJ, 2012.

GRECCO, C. H. S. . H. et al. Safety culture assessment: A fuzzy model for improving safety performance in a radioactive installation. Progress in Nuclear Energy, v. 70, p. 71–83, 2014.

GRECCO, C. H. S. Cláudio Henrique dos Santos Grecco **Identificação Pós-doutorado**. n. 021, p. 1–21, 2020.

GRIFFITHS A. **Knowledge and belief**. Oxford, UK: Oxford Univ. Press, 1967.

HASTAK, M.; SHAKED, A. **ICRAM-1: model for international construction risk assessment**. Journal of Management in Engineering, v. v.16, n. n.1, p. 59–69, 2000.

HILLSON, D. A. **Describing probability : The limitations of natural language Dimensions of risk**. Risk Management, p. 1–7, 2005.

HOLLAND, J. H. **Emergence: From chaos to order**. New York: Perseus Books Group, 1999.

HSU, H.; CHEN, C. **Aggregation of fuzzy opinions under group decision making**. v. 79, p. 279–285, 1996.

HULETT, D. **Practical Schedule Risk Analysis**. [s.l.] Gower, 2009.

HULETT, D. **Integrated Cost-Schedule Risk Analysis**. [s.l.] Gower, 2011.

HUNZIKER, S. **Countering Biases in Risk Analysis**. In: [s.l: s.n.]. p. 17–48.

ISO. ISO 21500:2012(E). **Guidance on project management**. 1. ed. Geneva: ISO, 2012.

JANG, J. S. R.; GULLEY, N. **Fuzzy Logic Toolbox User's Guide.** [s.l.] The Math Works Inc., 1995.

JERBRANT, A. **Organising project-based companies: Management, control and execution of project-based industrial operations.** Industrial Management, 2013.

JOHNSON, D. **The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis.** Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician), 1997.

JOSLIN, R.; MÜLLER, R. **The impact of project methodologies on project success in different contexts.** Phoenix, AZ.: Project Management Institute Inc., 2014 Disponível em: <<https://www.pmi.org/learning/library/project-methodologies-impact-success-contexts-8947>>

JUNKES, M. B.; TERESO, A. P.; AFONSO, P. S. L. P. **The Importance of Risk Assessment in the Context of Investment Project Management: A Case Study.** Procedia Computer Science, v. 64, p. 902–910, 2015.

KANDEL, A. **Fuzzy Mathematical Techniques with Applications.** Menlo Park, Califórnia: Addison Wesley, 1985.

KANGARI, R. **Risk management perceptions and trends of US construction.** Journal of Construction Engineering and Management, v. v.121, n. n.4, p. 422–49, 1995.

KARIMIAZARI, AMIR REZA; MOUSAVI, NEDA; MOUSAVI, S. FARID; HOSSEINI, S. **Risk assessment model selection in construction industry.** Expert Systems with Applications2, v. v.28, p. 9105–9111, 2011.

KERMANSHACHI, S. et al. **Project Complexity Indicators and Management Strategies - A Delphi Study.** Procedia Engineering, v. 145, p. 587–594, 2016.

KHAMENEH, A.-H.; TAHERI, A.; ERSHADI, M. **Offering a Framework for Evaluating the Performance of Project Risk Management System.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 226, n. October 2015, p. 82–90, 2016.

KLEMETTI, A. **Risk management in construction project networks.** Helsinki: [s.n.].

KLIR, G.; YUAN, B. **Fuzzy sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications.** Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1995.

- KOSKO, B. **Neural networks and fuzzy systems**. New Jersey: [s.n.].
- LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras**. [s.l.] LTC, 2013.
- LING, F. Y. Y. et al. **Key project management practices affecting Singaporean firms' project performance in China**. International Journal of Project Management, v. 27, n. 1, p. 59–71, 2009.
- LOVALLO, D.; KAHNEMAN, D. **Delusions of success: How optimism undermines executives' decisions**. Harvard Business Review, n. 81(7), p. 56–63, 2003.
- MAES, M. AND FABER, M. **Issues in utility modeling and rational decision making**. 11th IFIP WG 7.5 Reliability and Optimization of Structural Systems. Anais...London: Balkema, 2004
- MARTINS JP, S. S. **Reasoning in multiple belief spaces**. [s.l.] Encyclopedia Artif Intell, 1984.
- MATHWORKS. **Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide R 2015 b**. p. 1–2, 2015.
- MAYLOR, H.; VIDGEN, R.; CARVER, S. **Managerial Complexity in Project-Based Operations: A Grounded Model and Its Implications for Practice**. Project Management Journal, v. 39, n. 1_suppl, p. S15–S26, 1 jan. 2008.
- MELHADO, S. B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2001.
- MENDES, ANDRÉ POMPEO DO AMARAL; TEIXIERA, CASSIO ADRIANO NUNES; ROCIO, MARCO AURÉLIO RAMALHO; D'OLIVEIRA, L. A. S. **Panoramas Setoriais 2030 Petróleo e Gás**. [s.l: s.n.].
- MERROW, E. **Industrial Megaprojects: concepts, strategies and practices for success**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- MILLS, A. **A systematic approach to risk management for construction**. [s.l.] MCB UP Ltd, 2001.
- MIŠIĆ, S.; RADUJKOVIĆ, M. **Critical Drivers of Megaprojects Success and Failure**. Procedia Engineering, v. 122, n. Orsdce, p. 71–80, 2015.

MITEREV, M.; MANCINI, M.; TURNER, R. **Towards a design for the project-based organization.** International Journal of Project Management, v. 35, n. 3, p. 479–491, 2017.

MOHAMED, M.; ELBARKOUKY, G.; MAGDYABOUSHADY, A. **Fuzzy Consensus Qualitative Risk Analysis Framework for Real Estate Projects.** v. 3, n. 3, p. 195–209, 2014.

MONTIBELLER, G.; VON WINTERFELDT, D. **Cognitive and Motivational Biases in Decision and Risk Analysis.** Risk Analysis, v. 35, n. 7, p. 1230–1251, 2015.

MORÉ, J. D. **APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE HUMANA NOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS POR ULTRA-SOM.** [s.l.] UFRJ, 2004.

MORRIS, PETER; HOUGH, G. H. **The Anatomy of Major Projects: A Study of the Reality of Project Management.** 1. ed. [s.l.] Wiley, 1988.

MUSTAFA, M. A.; AL-BAHAR, J. F. **Project risk assessment using the analytic hierarchy process.** Engineering Management, v. v. 38, p. 46–52, 1991.

NASIRZADEH, F., AFSHAR, A., KHANZADI, M., HOWICK, S. **Integrating system dynamics and fuzzy logic modelling for construction risk management.** Construction Management and Economics, n. 26(11), p. 1197–1212, 2008.

NIETO-MOROTE, A.; RUZ-VILA, F. **A fuzzy approach to construction project risk assessment.** International Journal of Project Management, v. 29, n. 2, p. 220–231, 2011.

ODHABI, H. I., PAUL, R. J., MACREDIE, R. **Java iconic visual environment for simulation (JIVESim).** Computers & Industrial Engineering, n. 37(1), p. 243–246, 1999.

OFFSHORE, S.-S. N. DA I. DA C. E R. N. E. **Histórico resumido da indústria de construção naval no Brasil.** n. Cmm, p. 1–4, 2002.

OSHERSON, D.; SMITH, E. **On the adequacy of prototype theory as a theory of concepts.** Cognition, v. v.9, p. 35–58, 1981.

PAGE, S. E. **The Model Thinker.** 1st. ed. New York: Basic Books, 2018.

PEI, D. W. **On the strict logic foundation of fuzzy reasoning.** Soft Computing, v. 8, n. 8, p. 539–545, 2004.

PENROSE, E. **The Theory of the Growth of the Firm.** [s.l.] Oxford University Press, 1959.

PERRY, J. G.; HAYES, R. W. **Risk and its management in construction projects.** Proceedings of the Institution of Civil Engineers, v. v.78, n. n.3, p. 757–764, 1985.

PMI. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide).** 5th. ed. Pennsylvania: Project Management Institute Inc., 2013.

PORTER, M. E. **From Competitive Advantage to Corporate Strategy.** Harvard Business Review, v. 65, n. 3, 1987.

REMINGTON, K.; POLLACK, J. **Tools for Complex Projects.** [s.l: s.n.]. v. 1

ROSS, T. J. **Classical Relations and Fuzzy Relations. Fuzzy Logic With Engineering Applications,** p. 52–89, 2004.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications.** 3rd. ed. Cihichester: Wiley, 2010.

ROYCHOWDHURY, S.; PEDRYCZ, W. **A Survey of Defuzzification Strategies.** INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS, v. 16, p. 679–695, 2001.

SERPELLA, A. F. et al. **Risk Management in Construction Projects: A Knowledge-based Approach.** Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 119, p. 653–662, 2014.

SHAHEEN, A. A.; FAYEK, A. R.; ABOURIZK, S. M. **Methodology for integrating fuzzy expert systems and discrete event simulation in construction engineering.** Canadian Journal of Civil Engineering, v. 36, n. 9, p. 1478–1490, 2009.

SHANG, K.; HOSSEN, Z. **Applying Fuzzy Logic to Risk Assessment and Decision-Making.** Casualty Actuarial Society, Canadian Institute of Actuaries, Society of Actuaries, p. 1–59, 2013.

SHAROT, T. **The optimism bias.** Current Biology, v. 21, n. 23, p. R941–R945, 2011.

SHIMURA, M. **Fuzzy sets concept in rank-ordering objects.** J. Math. Anal. Appl., 1973.

SILVA, S. M. C. S. R. C. **Planos gerais de garantia da qualidade de empreendimentos da construção: contributo para sua elaboração.** [s.l.] Universidade Técnica de Lisboa, 2000.

SIVANANDAM, S. N.; SUMATHI, S.; DEEPA, S. N. **Introduction to fuzzy logic using MATLAB.** [s.l.: s.n.].

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management.** 5th Editio ed. [s.l.] Prentice Hall, 2006.

SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, P. SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, P. **Oxford:** Blackwell Publishing, 2006.

SÖDERLUND, J.; BREDIN, K. **HRM in project-intensive firms: Changes and challenges.** Human Resource Management, v. 45, n. 2, p. 249–265, 2006.

STERMAN, J. D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.** New York: McGraw-Hill Companies, 2000.

SYMONDS, M. **15 Causes of Project Failure.** Disponível em: <<https://www.projectsmart.co.uk/15-causes-of-project-failure.php>>. Acesso em: 22 set. 2016a.

TAH, J. H. M.; CARR, V. **Towards a framework for project risk knowledge management in the construction supply chain.** Advances in Engineering Software, v. v.32, n. s.1, p. 835–846, 2001.

TANAKA, K. **An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications.** [s.l.] Springer, 1996.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. **Judgment under uncertainty: Heuristics ad biases.** [s.l.] Science, 1974.

UHER, T. E.; TOAKLEY, A. R. **Risk management in the conceptual phase of a project.** International Journal of Project Management, 1999.

VERDI, LUIS ANTONIO RODRIGUES; TOLEDO, N. N. **Metodologia de gerenciamento da qualidade em ambiente de projetos de engenharia.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais...Curitiba: 2002Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr21_0152.pdf>

WALKER, A. **Project management in construction.** [s.l.] Blackwell Publishing, 2007.

WANG, J.; YUAN, H. **Factors affecting contractors' risk attitudes in construction projects: case study from China.** International Journal of Project Management, v. v.29, n. n.2, p. 209–219, 2011.

WANG, M. T.; CHOU, H. Y. **Risk allocation and risk handling of highway projects in Taiwan.** Journal Management Engineering, v. v.19, n. s.1, p. 60–68, 2003.

WILLUMSEN, P. et al. **Value creation through project risk management.** International Journal of Project Management, v. 37, n. 5, p. 731–749, 2019.

XIA, W.; LEE, G. **Complexity of Information Systems Development Projects: Conceptualization and Measurement Development.** Journal of Management Information Systems, v. 22, n. 1, p. 45–83, 1 abr. 2005.

ZADEH. **Similarity relations and fuzzy orderings.** Information Sciences, p. 177–200, 1971.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets**Information and Control, 1965.

ZADEH, L. A. **Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes.** IEEE Trans. Systems Man Cybernet., v. 3, n. 1, p. 28–44, 1973.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.** Fuzzy Sets and Systems, v. 1, n. 1, p. 3–28, 1977.

ZADEH, L. A. **Is there a need for fuzzy logic?** Information Sciences, v. 178, n. 13, p. 2751–2779, 2008.

ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z. . T. **Risk assessment of construction projects.** Journal of Civil Engineering and Management, v. v.16, n. n.1, p. 33–46, 2010.

ZENG, J.; AN, M.; SMITH, N. J. **Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment.** International Journal of Project Management, v. v.25, n. n.6, p. 589–600, 2007.

ZHI, H. **Risk management for overseas construction projects.** International Journal of

Project Management, v. v.13, p. 2310237, 1995.

ZIDANE, Y. J.-T.; JOHANSEN, A.; EKAMBARAM, A. **Megaprojects-Challenges and Lessons Learned**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 74, p. 349–357, 2013.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. 3rd. ed. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1985.

ZOU, P. X. W.; ZHANG, G.; WANG, J. **Understanding the key risks in construction projects in China**. International Journal of Project Management, v. v.25, n. s.1, p. 601–614, 2007.

APÊNDICE I – Lógica Fuzzy²⁶

I.1 A Teoria dos Conjuntos (Crisp)

Antes de apresentar a teoria da Lógica Fuzzy, é válido relembrar alguns tópicos sobre a teoria dos conjuntos tradicionais (ou *crisp*). São apresentadas abaixo algumas notações e operações da teoria tradicional dos conjuntos.

Sejam A e B conjuntos *crisp* que consistem numa coleção de alguns elementos em X, o universo de discurso, as seguintes notações são definidas:

$x \in X \rightarrow$ x pertence a X

$x \in A \rightarrow$ x pertence a A

$x \notin A \rightarrow$ x não pertence a A

$A \subset B \rightarrow$ A está contido em B se $x \in A \rightarrow x \in B$

$A \subseteq B \rightarrow$ A está contido ou é equivalente a B

$A \leftrightarrow B \rightarrow A \subseteq B \text{ e } B \subseteq A$ A é equivalente a B

As operações entre os conjuntos tradicionais (*crisps*) são definidas conforme abaixo:

União $A \cup B = \{x | x \in A \text{ ou } x \in B\}$

Interseção $A \cap B = \{x | x \in A \text{ e } x \in B\}$

Complemento $A = \{x | x \notin A, x \in X\}$

²⁶ Arcabouço teórico extraído de dois autores: (TANAKA, 1996) e (ROSS, 2010)

$$\text{Diferença } A|B = \{x | x \in A \text{ e } x \notin B\}$$

As propriedades para manipulação dos conjuntos são conforme abaixo:

$$\text{Comutativa } A \cup B = A \cap B$$

$$\text{Associativa } A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C ; A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$$

$$\text{Distributiva } A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cup (A \cap C) ; A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$\text{Idempotência } A \cup A = A ; A \cap A = A$$

$$\text{Identidade } A \cup \emptyset = A ; A \cap X = A ; A \cap \emptyset = \emptyset ; A \cup X = X$$

$$\text{Transitividade Se } A \subseteq B \text{ e } B \subseteq C, \text{ então } A \subseteq C$$

$$\text{Involução: } \bar{\bar{A}} = A$$

Além dessas operações e propriedades, duas propriedades especiais conhecidas como axioma do terceiro excluído (*excluded middle axiom*) e o Princípio de Morgan. A primeira propriedade é importante pois existem apenas um conjunto de operações descritas que não são válidas para ambos os conjuntos Fuzzy e conjuntos clássicos. Existem dois axiomas do terceiro excluído, conforme abaixo:

$$\text{Axioma do terceiro excluído: } A \cup \bar{A} = X$$

$$\text{Axioma da contradição: } A \cap \bar{A} = \emptyset$$

O primeiro axioma se refere a união do conjunto A com seu complemento e o segundo se refere a interseção de A com seu complemento.

Já os princípios de Morgan são importantes para provar tautologias e contradições na lógica. Esses princípios podem ser exibidos de forma mais intuitiva nos diagramas de Venn e nas equações conforme abaixo:

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

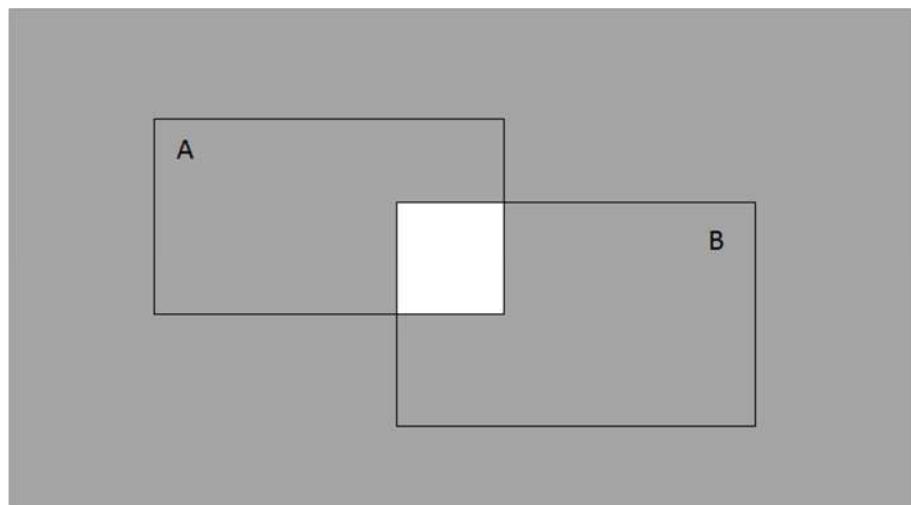


Figura 42 - Princípio de Morgan ($A \cap B$) (Fonte: ROSS, 2010 Adaptado)

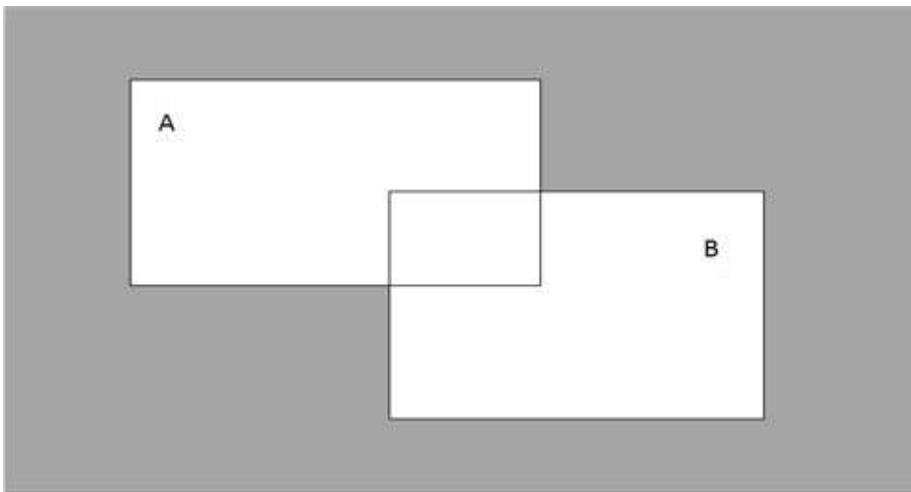


Figura 43 - Princípio de Morgan ($A \cup B$) (Fonte: ROSS, 2010 Adaptado)

Em geral, os Princípios de Morgan podem ser descritos para n conjuntos, conforme abaixo para os eventos E_i :

$$\overline{E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n} = \overline{E_1} \cap \overline{E_2} \cap \dots \cap \overline{E_n}$$

$$\overline{E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n} = \overline{E_1} \cup \overline{E_2} \cup \dots \cup \overline{E_n}$$

A partir das equações acima para os princípios de Morgan, tem-se a relação de dualidade: o complemento da união ou da interseção é igual a interseção ou união, respectivamente, dos respectivos complementos. Esse resultado é importante no que diz respeito ao conjunto de estruturas já que sempre se tem a informação sobre o complemento do conjunto (ou evento) ou complemento das combinações de conjuntos (ou eventos), ao invés de informação sobre os próprios conjuntos.

I.2 A TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

Os conjuntos tradicionais ou *crisps* representam uma fronteira única e inequívoca dentro da qual pode ou não existir um ou mais elementos. Já nos conjuntos Fuzzy o pertencimento ou não de um determinado elemento não é binário – pertence ou não pertence, mas sim granular (pertence ou não pertence em algum grau, o grau de pertinência).

A Figura 44 descreve, de maneira intuitiva, a diferença entre conjuntos *crisps* e Fuzzy.

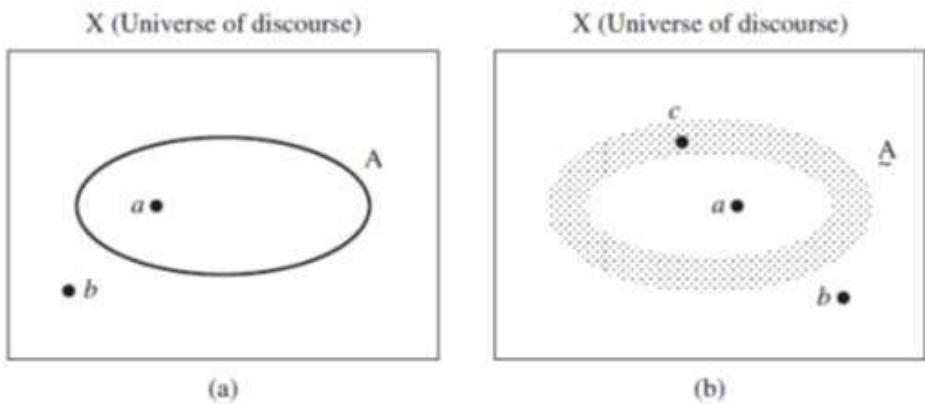


Figura 44 - Representação de Conjunto Crisp (elemento a) e Conjunto Fuzzy (elementos a e b) (Fonte: (ROSS, 2010))

A Figura 44 (elemento a) representa o conjunto tradicional, onde no espaço amostral X existe o conjunto “A” e dois elementos “a” e “b”, o primeiro elemento, “a”, pertence ao conjunto “A” enquanto o segundo elemento, “b”, não pertence ao conjunto “A”. Já na Figura 44 (elemento b) os elementos “a” e “b” se encontram na mesma condição do conjunto tradicional, ou seja, pertence e não pertence respectivamente. Entretanto no conjunto Fuzzy, existe uma fronteira “nebulosa” onde surge o elemento “c” que pertence a fronteira nebulosa que separa o conjunto de seu espaço amostral. Assim, esse elemento possui um grau de pertencimento ao conjunto “ \tilde{A} ” que não é claro ou binário. À medida que “c” se aproxima da parte interna da fronteira nebulosa, o grau de pertencimento ao conjunto “ \tilde{A} ” aumenta até chegar ao limite máximo 1 (um).

Dessa forma, nos conjuntos clássicos ou *crisp*, a transição de um elemento entre as condições de pertencer e não pertencer ao grupo em determinado conjunto é abrupta e bem definida, enquanto para um elemento Fuzzy essa transição é gradual e representada pelo grau de pertencimento que varia de 0 (zero) a 1 (um). O grau de pertencimento de um elemento do universo nos conjuntos Fuzzy é medido por uma função que tenta descrever sua vagueza e ambiguidade. Os elementos do conjunto Fuzzy são mapeados no universo dos valores de pertencimento usando a forma de função teórica. Os conjuntos Fuzzy são descritos com um conjunto de símbolos utilizando o til (~) embaixo da letra que denomina o conjunto (Ex.: \tilde{A}). Existe uma função que mapeia os elementos do conjunto Fuzzy para números reais entre 0 e 1. Se o elemento no universo, por exemplo “x”, é um membro do conjunto Fuzzy \tilde{A} , então o mapeamento é dado pela seguinte equação:

$$\mu_A^{\sim}(x) \in [0,1]$$

Essa função pode ser graficamente explicitada, conforme Figura 45

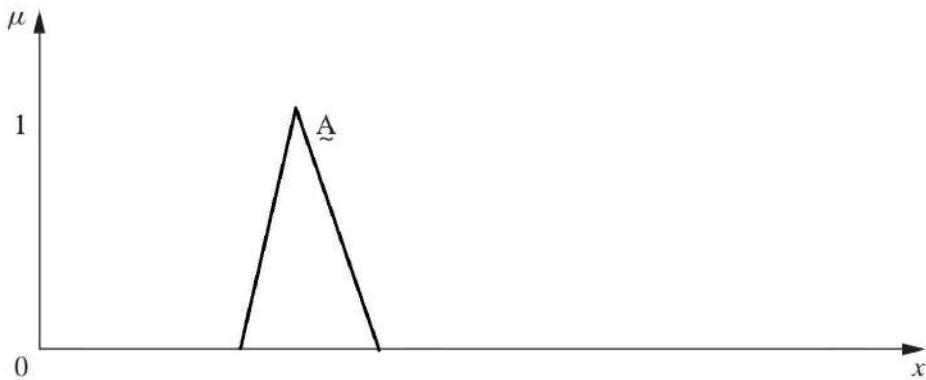


Figura 45 - Função de pertencimento para o conjunto Fuzzy A (Fonte: (ROSS, 2010))

A Figura 45 demonstra que, em determinado ponto do eixo “x”, o elemento Fuzzy começa a possuir algum grau de pertencimento ao conjunto Fuzzy A até que chega ao seu ápice no valor 1 (um) e a partir daí começa a perder esse pertencimento até que chega ao seu mínimo 0 (zero).

Da mesma forma que os conjuntos clássicos possuem diversas operações, os conjuntos Fuzzy também possuem essas mesmas operações, de forma adaptada para a realidade dos conjuntos Fuzzy.

Por meio das Figuras Figura 46, Figura 47 e Figura 48, verifica-se a representação das três principais operações dos conjuntos Fuzzy.

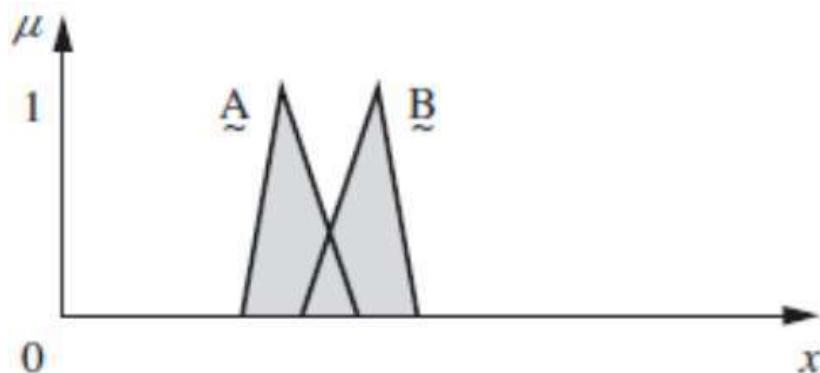


Figura 46 - União dos conjuntos Fuzzy A e B (Fonte: (ROSS, 2010))

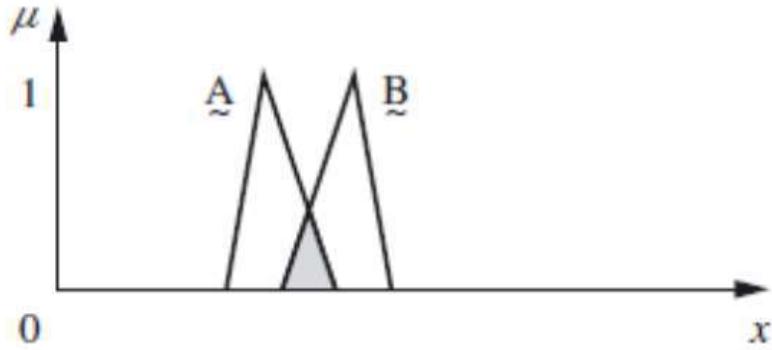


Figura 47 - Interseção dos conjuntos Fuzzy A e B (Fonte: (ROSS, 2010))

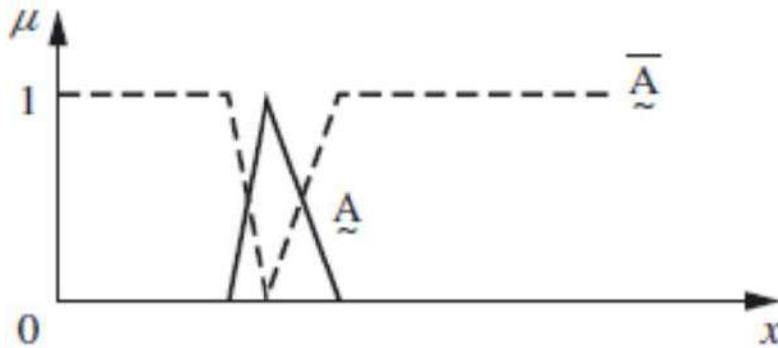


Figura 48 - Complemento do conjunto Fuzzy A (Fonte (ROSS, 2010))

Os Princípios de Morgan referente aos conjuntos clássicos também são aplicados aos conjuntos Fuzzy, conforme abaixo:

$$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$$

$$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$$

Todas as outras operações dos conjuntos clássicos também podem ser utilizadas na lógica dos conjuntos Fuzzy, com exceção do Princípio do Terceiro Excluído. Esse princípio não pode ser utilizado nos conjuntos Fuzzy já que não fazem parte da estrutura básica axiomática dos conjuntos Fuzzy (ROSS, 2010).

Dado que os conjuntos Fuzzy podem se sobrepor, o conjunto e seus complementos também se sobrepõem. Dessa forma, o princípio do terceiro excluído, estendido para os conjuntos Fuzzy é expresso da seguinte forma:

$$\overset{A}{\sim} \cup \overline{A} \neq X$$

$$\overset{A}{\sim} \cap \overline{A} \neq \emptyset$$

Além das operações básicas citadas acima, existem outras operações alternativas. Essas operações que qualificam as interseções e uniões Fuzzy são normalmente chamadas de t-normas e t-conormas respectivamente. Elas são assim denominadas em função de terem sido originalmente introduzidas como normas triangulares e conormas triangulares.

I.3 RELAÇÕES DE CONJUNTOS FUZZY

É necessário apresentar as diversas operações entre os conjuntos (Fuzzy ou *Crisps*) tais como produto cartesiano, relações de composição propriedades de equivalência. Assim como conjuntos, as relações têm fundamental importância para os diversos campos de aplicação como no caso particular da presente pesquisa, o gerenciamento de riscos. Essas relações estão associadas a teoria dos grafos e também podem representar similaridade. No caso das relações Fuzzy, particularmente essa similaridade representa aproximações e semelhanças.

Enquanto nas relações *crisps* somente pode existir dois graus de relação, completamente relacionado e não relacionado, os relacionamentos Fuzzy podem existir em número infinito de graus variando entre os dois extremos binários citados acima dos conjuntos *crisps*.

A partir da teoria de conjuntos Fuzzy, há operações matemáticas da mesma maneira que nos conjuntos tradicionais, certas operações específicas incluem a união, a intersecção e o complemento.

Considerando os conjuntos Fuzzy A e B em U, a união A ∪ B, a interseção A ∩ B, e o complemento A' são conjuntos Fuzzy, dotados de funções com pertinência estabelecidas pelas seguintes equações:

$$\varphi_{(A \cup B)}(x) = \max\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, \forall x \in U$$

$$\varphi_{(A \cap B)}(x) = \min\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}, \forall x \in U$$

$$\varphi_{A'}(x) = 1 - \varphi_A(x), \forall x \in U$$

Nos dois subconjuntos Fuzzy A e B, os mesmos serão iguais, no caso de as suas funções de pertinência serem coincidentes, isto é, $\varphi_A(x) = \varphi_B(x), \forall x \in U$. No caso de um grupo vazio, a função de pertinência será equivalente a zero, em contrapartida um conjunto U terá uma classificação de pertinência equivalente à um, para tanto as características do elemento nulo e neutro, descritas a seguir, podem ser corretas:

$$A \cap \emptyset = \emptyset \quad \text{e} \quad A \cup \emptyset = A$$

$$A \cap U = A \quad \text{e} \quad A \cup U = U$$

As propriedades basilares das operações envolvendo subgrupos Fuzzy são exibidas a seguir.

Comutatividade

$$A \cup B = B \cup A \quad \text{e} \quad A \cap B = B \cap A$$

Associatividade

$$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C \quad \text{e} \quad A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$$

Idempotência

$$A \cup A = A \quad \text{e} \quad A \cap A = A$$

Distributividade

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad \text{e} \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

A concepção de algarismos Fuzzy é necessária, a fim de possibilitar cálculo dos valores qualitativos e possibilitar que as operações matemáticas sejam efetuadas (ROSS, 2004). Um algarismo Fuzzy é um tipo específico de um conjunto Fuzzy, definido pelo intervalo Fuzzy em números reais \mathbb{R} . No caso de um número real, onde seu valor exato é desconhecido de maneira exata, tal número pode ser conceituado por meio de um intervalo Fuzzy.

Um subconjunto Fuzzy A é definido como um número Fuzzy, no caso de o conjunto universo onde a pertinência de tal subgrupo seja definida, enquanto o grupo dos números reais \mathbb{R} que satisfaçam as seguintes condições:

- A totalidade dos α -níveis de A sejam não-vazios, com $0 \leq \alpha \leq 1$;
- A totalidade dos α -níveis de A sejam intervalos fechados de \mathbb{R} ;
- A premissa limite superior de A seja estabelecida por $\{x \in \mathbb{R}: \varphi_A(x) > 0\}$.

Os algarismos Fuzzy mais usuais são os chamados números triangulares, trapezoidais e em formato de sino, conforme a função de Gauss. Um número Fuzzy é chamado de triangular no caso de sua função de pertinência ser da maneira:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a, \\ \frac{x-a}{u-a}, & \text{se } a < x \leq u, \\ \frac{x-b}{u-b}, & \text{se } u \leq x < b, \\ 0, & \text{se } x \geq b. \end{cases}$$

Um algarismo Fuzzy é conceituado como trapezoidal se sua função de pertinência estiver no formato de trapézio, e estabelecida conforme:

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{se } a \leq x < b, \\ 1, & \text{se } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{se } c < x \leq d, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

O entendimento das relações é fundamental para a compreensão de muitas áreas. De acordo com (ROSS, 2010), as relações estão intimamente envolvidas na lógica, raciocínio aproximado, sistemas baseados em regras, simulação não linear, avaliação sintética, classificação, reconhecimento de padrões e controle. Relações representam mapeamentos para conjuntos, assim como funções matemáticas. As relações também são muito úteis para representações conectivas na lógica.

A partir da compreensão das relações, as relações Fuzzy são desenvolvidas, permitindo que a relação entre elementos de dois ou mais conjuntos assuma um número infinito de graus de relação entre os extremos de 'completamente relacionado' e 'não relacionado'. Nesse sentido, as relações Fuzzy estão para as relações Crisp, assim como os conjuntos Fuzzy estão para os conjuntos Crisp (ROSS, 2010).

Na literatura especializada, é possível verificar conceitos importantes sobre relações, com destaque para (DUBOIS, D.; PRADE, 1980; GILL, 1976; KANDEL, 1985; KLIR, G.; YUAN, 1995; ZADEH, 1971).

As relações Fuzzy também mapeiam elementos de um universo X para os elementos de outro universo Y, por meio do produto cartesiano dos dois universos.

No entanto, a força da relação entre pares ordenados dos dois universos não é medida com a função característica, mas com uma função de pertencimento que expressa vários graus de força da relação no intervalo unitário $[0,1]$.

Portanto, uma relação Fuzzy $R\sim$ é um mapeamento do espaço cartesiano $X \times Y$ para o intervalo $[0,1]$, onde a força do mapeamento é expressa pela função de pertencimento da relação para pares ordenados dos dois universos, ou $\mu_{R\sim}(x, y)$.

Assim como para relações Crisp, as propriedades de comutatividade, associatividade, distributividade, involução e idempotência são válidas para relações Fuzzy. Além disso, os Princípios de De Morgan são válidos para relações Fuzzy, assim como para relações Crisp (clássicas), e a relação nula, O , e a relação completa, E , são análogas ao conjunto nulo e ao conjunto inteiro em forma de conjunto, respectivamente. As relações Fuzzy não são restritas, como é o caso dos conjuntos Fuzzy em geral, pelos axiomas médios excluídos. Como uma relação Fuzzy $R\sim$ também é um conjunto Fuzzy, há sobreposição entre uma relação e seu complemento. Assim,

$$\underline{R} \cup \overline{\underline{R}} \neq E.$$

$$\underline{R} \cap \overline{\underline{R}} \neq O.$$

Os axiomas dos terceiros excluídos para relações Fuzzy não resultam, em geral, na relação nula, O , ou na relação completa, E .

Em geral, considerando-se que as relações difusas Fuzzy são conjuntos Fuzzy, pode-se definir o produto cartesiano como uma relação entre dois ou mais conjuntos Fuzzy. Ao afirmar que $A\sim$ é um conjunto Fuzzy no universo X , e que $B\sim$ é um conjunto Fuzzy no universo Y , então, o produto cartesiano entre os conjuntos Fuzzy $A\sim$ e $B\sim$ resultará em uma relação Fuzzy $R\sim$, a qual está contida no completo espaço do produto cartesiano, ou

$$\underline{A} \times \underline{B} = \underline{R} \subset X \times Y,$$

Onde a relação Fuzzy $R \sim$ tem função de pertencimento

$$\mu_{\tilde{R}}(x, y) = \mu_{A \times B}(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)).$$

O produto cartesiano definido por $A \sim \times B \sim = R \sim$ é implementado da mesma maneira que o produto cruzado de dois vetores. Novamente, o produto cartesiano não é a mesma operação que o produto aritmético.

No caso de relações bidimensionais ($r = 2$), o primeiro emprega a ideia de emparelhar elementos entre conjuntos, enquanto o último utiliza produtos aritméticos reais entre elementos de conjuntos. Cada um dos conjuntos Fuzzy poderia ser pensado como um vetor de valores de pertencimento, onde cada valor é associado a um elemento específico em cada conjunto. Por exemplo: em um conjunto Fuzzy (vetor) $A \sim$ que possui quatro elementos – vetor de coluna de tamanho 4×1 –, e para um conjunto Fuzzy (vetor) $B \sim$ que possui cinco elementos – um tamanho de vetor de linha de 1×5 –, a relação Fuzzy resultante $R \sim$ será representada por uma matriz de tamanho 4×5 , ou seja, $R \sim$ terá quatro linhas e cinco colunas.

É importante destacar as características sobre relação de tolerância Fuzzy e relação de equivalência Fuzzy.

No contexto dos conjuntos crisps, uma relação (R), em um único universo X , também é uma relação de X para X . É uma relação de equivalência se todas as três propriedades a seguir para relações matriciais a definem:

Reflexividade

$$(x_i, x_i) \in R \text{ or } \chi_R(x_i, x_i) = 1.$$

Simetria

$$(x_i, x_j) \in R \longrightarrow (x_j, x_i) \in R$$

$$\text{or } \chi_R(x_i, x_j) = \chi_R(x_j, x_i).$$

Transitividade

$$(x_i, x_j) \in R \text{ and } (x_j, x_k) \in R \longrightarrow (x_i, x_k) \in R$$

$$\text{or } \chi_R(x_i, x_j) \text{ and } \chi_R(x_j, x_k) = 1 \longrightarrow \chi_R(x_i, x_k) = 1.$$

Já no que diz respeito aos conjuntos Fuzzy, as relações, R_{\sim} , no universo X é também uma relação de X em X . A relação de equivalência Fuzzy é dada conforme as três propriedades abaixo de reflexividade, simetria e transitividade, respectivamente:

Reflexividade

$$\mu_{R_{\sim}}(x_i, x_i) = 1.$$

Simetria

$$\mu_{R_{\sim}}(x_i, x_j) = \mu_{R_{\sim}}(x_j, x_i).$$

Transitividade

$$\mu_{R_{\sim}}(x_i, x_j) = \lambda_1 \quad \text{e} \quad \mu_{R_{\sim}}(x_j, x_k) = \lambda_2 \longrightarrow \mu_{R_{\sim}}(x_i, x_k) = \lambda,$$

onde $\lambda \geq \min[\lambda_1, \lambda_2]$.

Observando o análogo físico de uma operação de composição, verifica-se que este compreende um sistema paralelo de cadeias, onde cada cadeia representa um caminho específico por meio do sistema de cadeias. A analogia física por trás da transitividade é que, quanto menor a cadeia, mais forte é a relação (mais forte é o sistema da cadeia). Em particular, a força do elo entre dois elementos deve ser maior ou igual à força de qualquer cadeia indireta que envolva outros elementos (ROSS, 2010)apud (DUBOIS, D; PRADE, 1980).

A relação de tolerância Fuzzy (R_{\sim}), com propriedades de reflexividade e simetria, pode ser transformada em uma relação de equivalência Fuzzy por, no máximo, $(n - 1)$ composições, assim como uma relação de tolerância Crisp precisa ser reformada em uma relação de equivalência Crisp. Ou seja,

$$\tilde{R}_1^{n-1} = \tilde{R}_1 \circ \tilde{R}_1 \circ \dots \circ \tilde{R}_1 = \tilde{R}.$$

Os gráficos podem ser desenhados para relações de equivalência Fuzzy, mas as setas nos gráficos entre os vértices terão várias forças, ou seja, valores no intervalo $[0, 1]$. Uma vez que a relação Fuzzy R_{\sim} é uma relação de equivalência, esta pode ser usada para categorizar as várias bactérias, de acordo com níveis de confiança pré-estabelecidos.

Existe um análogo gráfico interessante para relações de equivalência Fuzzy. Uma inspeção de um gráfico tridimensional da relação de equivalência anterior, $R^3 \sim 1$, é demonstrada por meio da Figura 49. Neste gráfico, onde verificam-se valores de pertencimento da relação de equivalência, pode-se verificar que, se fosse uma bacia hidrográfica, não haveria um local onde a água pudesse se acumular ou ficar presa. De fato, toda relação de equivalência produzirá uma superfície na qual a água não pode ser aprisionada. Ou seja, pode haver relações que não são relações de equivalência, mas cujas representações tridimensionais da superfície não prendem a água.

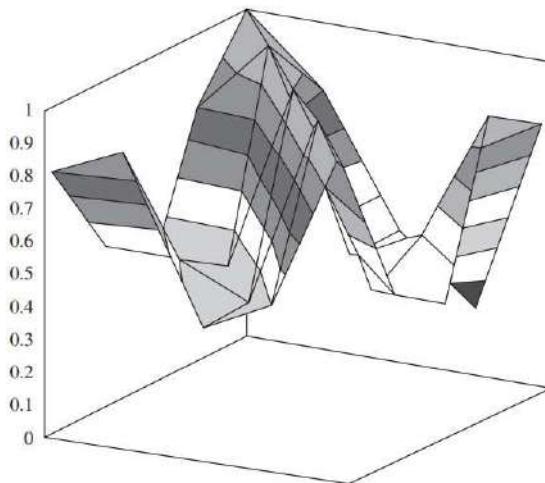


Figura 49 - Representação 3D de uma relação de equivalência (ROSS, 2010)

Outra maneira de mostrar essa mesma informação é construir um contorno bidimensional da relação usando vários níveis de contorno, os quais correspondem a diferentes graus de pertencimento. A Figura 50 demonstra gráficos de contorno para a relação de tolerância \tilde{R}_1^2 e o nível de equivalência \tilde{R}_1^3 .

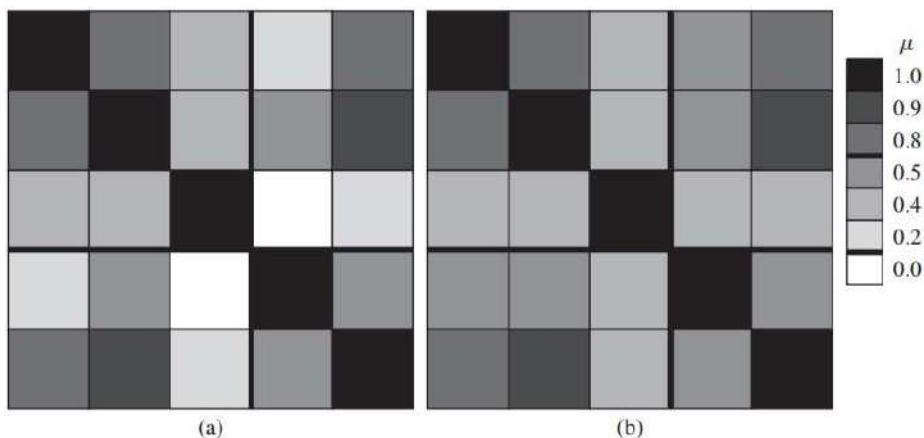


Figura 50 - Contornos bidimensionais da relação de tolerância \tilde{R}_1^2 (a) e da relação de equivalência \tilde{R}_1^3 (b) (ROSS, 2010)

Ao analisar a Figura 50, verifica-se que os contornos demonstrados no elemento ‘a’ prenderiam a água – as áreas mais claras estão dentro de outras áreas mais escuras –, enquanto a água não seria capturada no diagrama de contorno descrito por meio do elemento ‘b’.

1.4 Propriedades dos Conjuntos Fuzzy, Fuzzificação e Defuzificação

Como todas as informações contidas em um conjunto Fuzzy são descritas por sua função de pertencimento, é útil desenvolver um léxico de termos para descrever vários recursos especiais dessa função. Por motivos de simplicidade, as funções mostradas nas figuras serão contínuas, mas os termos se aplicam igualmente a conjuntos difusos e discretos, assim como pode ser verificado por meio da Figura 51.

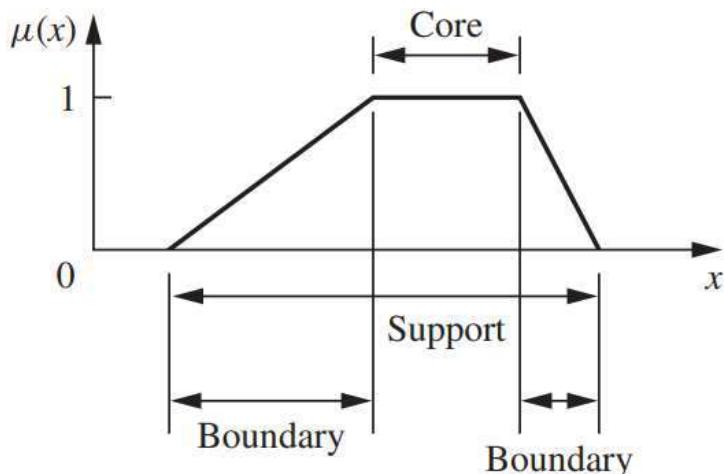


Figura 51 - Núcleo, suporte e limites de um conjunto Fuzzy (ROSS, 2010)

O núcleo de uma função de pertencimento para algum conjunto Fuzzy A_{\sim} é definido como a região do universo caracterizada por pertencimento completo e completa no conjunto A_{\sim} . Ou seja, o núcleo compreende os elementos x do universo de modo que $\mu_{A_{\sim}}(x) = 1$.

O suporte de uma função de pertencimento para algum conjunto Fuzzy A_{\sim} é definido como a região do universo caracterizada por pertencimento diferente de zero no conjunto A_{\sim} . Ou seja, o suporte compreende os elementos x do universo de modo que $\mu_{A_{\sim}}(x) > 0$.

Os limites de uma função de pertencimento para algum conjunto Fuzzy A_{\sim} são definidos como a região do universo que contém elementos que possuem um pertencimento diferente de zero, mas não um pertencimento completo. Ou seja, os limites

compreendem os elementos x do universo de tal forma que $0 < \mu_{A \sim} (x) < 1$. Esses elementos do universo são aqueles com algum grau de imprecisão, ou apenas participação parcial no conjunto Fuzzy $A \sim$. A Figura 51 ilustra as regiões do universo que compreendem o núcleo, o suporte e os limites de um conjunto Fuzzy típico.

Um conjunto Fuzzy normal é aquele cuja função de pertencimento possui pelo menos um elemento x no universo cujo valor de pertencimento é unidade. Nos conjuntos Fuzzy, em que um e apenas um elemento tem um pertencimento igual a um, o elemento é normalmente chamado de protótipo do conjunto ou elemento prototípico. A Figura 52 ilustra típicos conjuntos Fuzzy normais e conjuntos Fuzzy subnormais.

Um conjunto Fuzzy convexo é descrito por uma função de pertencimento cujos valores estão aumentando estritamente monotonicamente ou cujos valores de pertencimento estão estritamente diminuindo monotonicamente, ou cujos valores de pertencimento estão aumentando estritamente monotonicamente e depois diminuindo estritamente monotonicamente com valores crescentes para elementos no universo. Dito de outra maneira, se, para quaisquer elementos x , y e z em um conjunto Fuzzy $A \sim$, a relação $x < y < z$ implica que $\mu_{A \sim} (y) \geq \min [\mu_{A \sim} (x), \mu_{A \sim} (z)]$, então $A \sim$ é considerado um conjunto difuso convexo (ROSS, 2010).

A Figura 53 demonstra um conjunto fuzzy convexo típico e um conjunto fuzzy não convexo típico. É importante observar aqui que esta definição de convexidade é diferente de algumas definições do mesmo termo em matemática. Em algumas áreas da matemática, a convexidade da forma se relaciona com o fato de uma linha reta através de qualquer parte da forma sair dos limites dessa forma. Esta definição de convexidade não é usada aqui; A Figura 53 resume sucintamente nossa definição de convexidade.

Uma propriedade especial de dois conjuntos Fuzzy convexos, digamos $A \sim$ e $B \sim$, é que a interseção desses dois conjuntos Fuzzy convexos também é um conjunto Fuzzy convexo, como mostra a Figura 54. Ou seja, para $A \sim$ e $B \sim$, que são ambos convexos, $A \sim \cap B$ também é convexo.

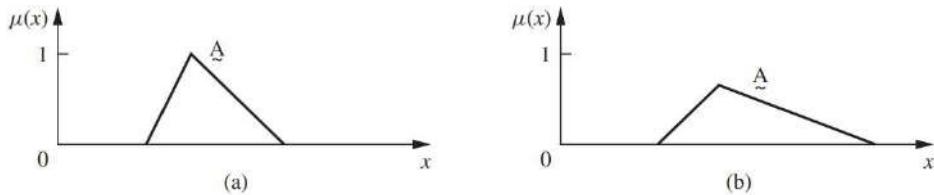


Figura 52 - Conjuntos Fuzzy normais (a) e conjuntos Fuzzy subnormais (b) (Fonte: ROSS, 2010)

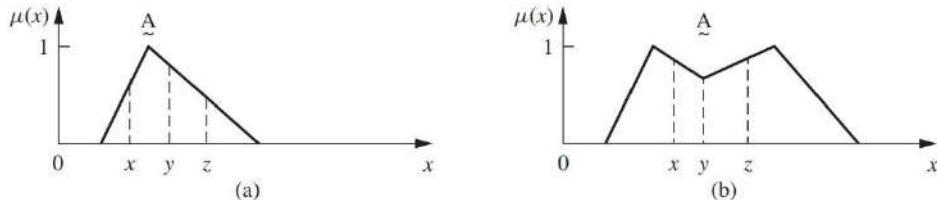


Figura 53 - Conjunto Fuzzy normal convexo (a) e conjunto Fuzzy normal não convexo (b). (Fonte: ROSS, 2010)

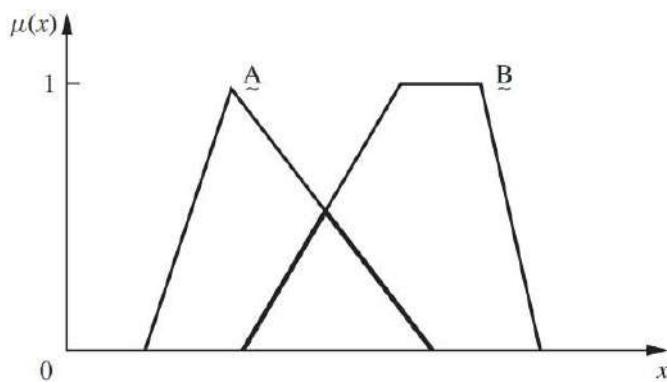


Figura 54 - A interseção de dois conjuntos Fuzzy convexos produz um conjunto Fuzzy convexo (Fonte: ROSS, 2010)

Os pontos de cruzamento de uma função de pertencimento são definidos como os elementos no universo para os quais um conjunto Fuzzy específico $A\sim$ possui valores iguais a 0,5, ou seja, para os quais $\mu_{A\sim}(x) = 0,5$.

A altura de um conjunto Fuzzy $A\sim$ é o valor máximo da função de pertencimento, ou seja, $hgt(A\sim) = \max \{\mu_{A\sim}(x)\}$. Se o $hgt(A\sim) < 1$, o conjunto Fuzzy é considerado subnormal. O $hgt(A\sim)$ pode ser visto como o grau de validade ou credibilidade da informação expressa por $A\sim$ (ROSS, 2010) apud (KLIR, G.; YUAN, 1995).

Se $A\sim$ é um conjunto Fuzzy normal de ponto único convexo definido na linha real, então, $A\sim$ é frequentemente denominado número Fuzzy.

As formas mais comuns de funções de pertencimento são aquelas que são normais e convexas. No entanto, há muitas operações em conjuntos Fuzzy e, portanto, operações

em funções de pertencimento resultam em conjuntos Fuzzy que são subnormais e não-convexos.

As funções de pertencimento podem ser simétricas ou assimétricas. Eles são tipicamente definidos em universos unidimensionais, mas certamente podem ser descritos em universos multidimensionais (ou n-dimensionais). Por exemplo, as funções de pertencimento demonstradas no presente apêndice são curvas unidimensionais. Em duas dimensões, essas curvas se tornam superfícies e, por três ou mais dimensões, essas superfícies se tornam hipersuperfícies. Essas hipersuperfícies, ou curvas, são mapeamentos simples, desde combinações dos parâmetros no espaço n-dimensional até um valor de pertencimento no intervalo [0, 1]. Novamente, esse valor de pertencimento expressa o grau de pertencimento que a combinação específica de parâmetros no espaço n-dimensional possui em um conjunto Fuzzy específico definido no universo n-dimensional do discurso. As hipersuperfícies para um universo n-dimensional são análogas às funções de densidade de probabilidade conjunta, mas, é claro, o mapeamento para a função de pertencimento é pertencer a um conjunto específico e não às frequências relativas, como é para as funções de densidade de probabilidade.

Os conjuntos Fuzzy representados na Figura 52 são os mais comuns encontrados na prática, descritos como funções comuns de pertencimento.

No entanto, vários outros tipos de funções de pertencimento Fuzzy foram propostos (KLIR, G.; YUAN, 1995) como funções de pertencimento generalizada. A principal razão para considerar outros tipos de funções de pertencimento é que os valores usados no desenvolvimento de funções de pertencimento comuns geralmente são excessivamente precisos, pois exigem que cada elemento x do universo no qual o conjunto difuso $A \sim$ seja definido receba um valor específico de pertencimento, $\mu_{A \sim}(x)$. Suponha que o nível de informação não seja adequado para especificar funções de pertencimento com essa precisão. Por exemplo, pode-se conhecer apenas os limites superior e inferior dos graus de pertencimento para cada elemento do universo para um conjunto difuso. Esse conjunto Fuzzy seria descrito por uma função de pertencimento com valor de intervalo –Figura 55.

Na Figura 55, para um elemento específico, $x = z$, o pertencimento em um conjunto Fuzzy $A \sim$, ou seja, $\mu_{A \sim}(z)$, seria expressa pelo intervalo de pertencimento $[\alpha_1, \alpha_2]$.

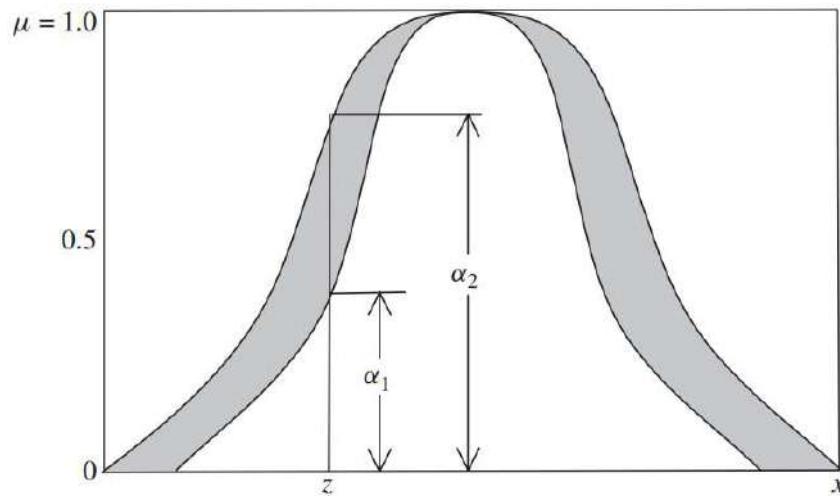


Figura 55 - Uma função de pertencimento com valor de intervalo (Fonte: ROSS, 2010)

Os conjuntos Fuzzy com valor de intervalo podem ser generalizados ainda mais, permitindo que seus intervalos se tornem Fuzzy. Cada intervalo de pertencimento se torna um conjunto difuso comum. Esse tipo de função de pertencimento é referido na literatura como um conjunto fuzzy do tipo 2. Outras generalizações das funções de pertencimento Fuzzy também estão disponíveis, conforme pode ser verificado na obra de (KLIR, G.; YUAN, 1995)

Fuzificação é o processo de tornar uma quantidade precisa em imprecisa (Crisp para Fuzzy). Tal ação é realizada reconhecendo que muitas das quantidades consideradas precisas (Crisp) e determinísticas não são, realmente, determinísticas, pois carregam considerável incerteza. Se a forma de incerteza surgir por causa de imprecisão, ambiguidade ou imprecisão, a variável, provavelmente, é Fuzzy e pode ser representada por uma função de pertencimento.

No mundo real, um hardware, como um voltímetro digital, gera dados nítidos, mas esses dados estão sujeitos a erros experimentais. As informações indicadas por meio da Figura 56 demonstram um possível intervalo de erros para uma leitura típica de tensão e a função de pertencimento associada que pode representar essa imprecisão.

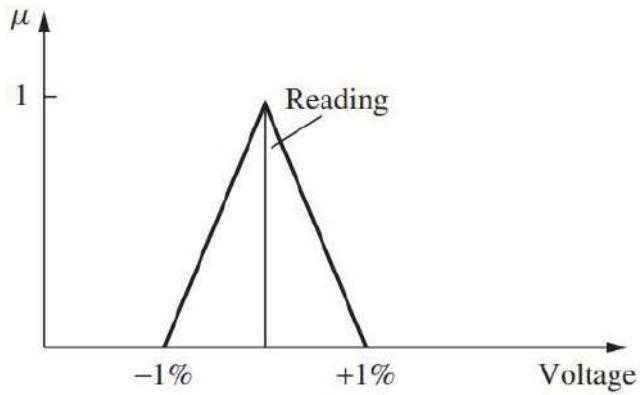


Figura 56 - Função de pertencimento que representa imprecisão na 'leitura de tensão Crisp' (Fonte: ROSS, 2010)

A representação de dados imprecisos como conjuntos Fuzzy é uma etapa útil, mas não obrigatória, quando esses dados são utilizados em sistemas Fuzzy. Essa ideia é mostrada na Figura 57, onde consideramos os dados como uma leitura Crisp, Figura 57a, ou como uma leitura Fuzzy –Figura 57b.

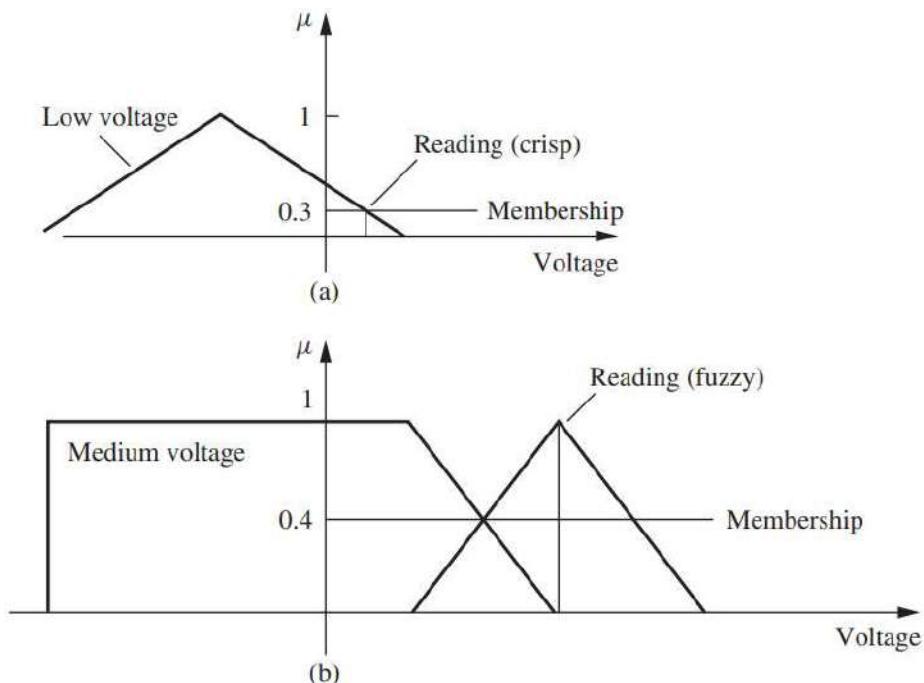


Figura 57 - Comparações de conjuntos Fuzzy e leituras Crisp ou leituras Fuzzy: (a) conjuntos Fuzzy e leitura Crisp; (b) conjunto Fuzzy e leitura Fuzzy (Fonte: ROSS, 1995)

Na Figura 57(a) , pode-se comparar uma leitura Crisp de tensão com um conjunto Fuzzy – “baixa tensão”. Na figura, verifica-se que a leitura Crisp cruza o conjunto Fuzzy

“baixa tensão” em um pertencimento de 0,3, ou seja, pode-se dizer que o conjunto Fuzzy e a leitura concordam com um valor de pertencimento de 0,3. Na Figura 57(b), a intersecção do conjunto Fuzzy “média tensão” e uma leitura de tensão Fuzzy ocorrem com um pertencimento de 0,4. Pode-se verificar, por meio da Figura 57(b), que a intersecção dos dois conjuntos Fuzzy formam um pequeno triângulo, cujo maior pertencimento ocorre no valor de pertencimento de 0,4.

A seguir, são destacados alguns conceitos importantes sobre a “defuzzificação” para conjuntos Crisp.

Inicia-se considerando um conjunto difuso A_{\sim} , seguido pela definição de um conjunto lambda-cut (corte), A_{λ} , onde $0 \leq \lambda \leq 1$. O conjunto A_{λ} é um conjunto Crisp chamado conjunto lambda (λ) -cut (ou alpha-cut) do conjunto Fuzzy A_{\sim} , onde $A_{\lambda} = \{x \mid \mu_{A_{\sim}}(x) \geq \lambda\}$. Observa-se que o conjunto λ -cut A_{λ} não possui um sublinhado de til, pois trata-se de um conjunto Crisp derivado de seu conjunto-pai Fuzzy, A_{\sim} . Qualquer conjunto Fuzzy A_{\sim} específico pode ser transformado em um número infinito de conjuntos de λ -cuts, porque há um número infinito de valores λ no intervalo $[0, 1]$.

Qualquer elemento $x \in A_{\lambda}$ pertence a A_{\sim} com um grau de pertencimento maior ou igual ao valor λ .

Na Figura 58, pode-se fornecer as seguintes definições para um conjunto Fuzzy convexo A_{\sim} . O núcleo de A_{\sim} é o conjunto de $\lambda = 1$ cut, A_1 . O suporte de A_{\sim} é o conjunto de corte $\lambda = 0+$, onde $\lambda = 0+$, ou simbolicamente, $A_{0+} = \{x \mid \mu_{A_{\sim}}(x) > 0\}$.

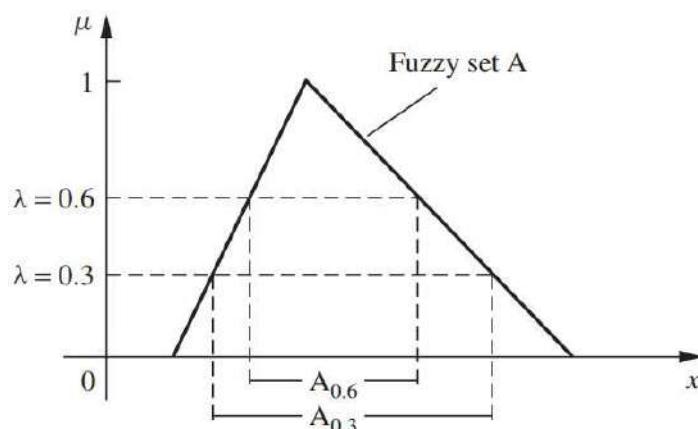


Figura 58 - Dois conjuntos diferentes de λ -cut para um conjunto Fuzzy de valor contínuo (Fonte: ROSS, 2010)

Os intervalos $[A0+, A1]$ formam os limites do conjunto Fuzzy $A\sim$, ou seja, as regiões que possuem valores de pertencimento entre 0 e 1 (excluindo 0 e 1): ou seja, para $0 < \lambda < 1$.

A seguir, são verificados alguns conceitos relevantes sobre λ -cut para relações Fuzzy.

Pode-se definir um procedimento de λ -cut para relações semelhantes às desenvolvidas para conjuntos. Considere-se uma relação Fuzzy $R\sim$, em que cada linha da matriz relacional é considerada um conjunto Fuzzy, ou seja, a j -ésima linha em $R\sim$ representa uma função de pertencimento discreta para um conjunto Fuzzy, $R\sim j$.

Portanto, uma relação Fuzzy pode ser convertida em uma relação Crisp da seguinte maneira. Define-se $R\lambda = \{(x, y) | \mu_{R\sim}(x, y) \geq \lambda\}$ como uma relação de λ -cut da relação Fuzzy $R\sim$. Como neste caso $R\sim$ é uma matriz bidimensional definida nos universos X e Y, qualquer par $(x, y) \in R\lambda$ pertence a $R\sim$ com uma “força” de relação maior ou igual a λ .

A seguir, são analisados importantes conceitos sobre a lógica Fuzzy.

A restrição do cálculo proposicional clássico para uma lógica de dois valores criou muitos paradoxos interessantes ao longo do tempo. Por exemplo, o Barbeiro de Sevilha é um paradoxo clássico – também conhecido por Barbeiro de Russell. Na pequena cidade espanhola de Sevilha, existe uma regra de que todos e somente os homens que não se barbeiam são barbeados pelo barbeiro. Quem faz a barba do barbeiro? Outro exemplo vem da Grécia antiga. O mentiroso de Creta mente quando afirma: "*Todos os cretenses são mentirosos?*". Se ele está dizendo a verdade, sua afirmação é falsa. Mas, se sua afirmação é falsa, ele não está dizendo a verdade. Uma forma mais simples para compreender tal paradoxo pode ser descrita pela proposição de duas palavras: "Eu minto". A afirmação não pode ser verdadeira e falsa.

Voltando ao caso do Barbeiro de Sevilha, conclui-se que a única maneira desse paradoxo – ou qualquer paradoxo clássico quanto a esse assunto – funcionar é se a afirmação é verdadeira e falsa, simultaneamente. Isso pode ser demonstrado ao utilizar a notação de conjunto (KOSKO, 1992). Seja S a proposição de que o Barbeiro se barbeia e $S(\neg S)$ que ele não se barbeia. Então, como $S \rightarrow S$ (S implica $\neg S$) e $S \rightarrow \neg S$, as duas

proposições são logicamente equivalentes: $S \leftrightarrow \bar{S}$. As proposições equivalentes têm o mesmo valor de verdade. Assim,

$$T(S) = T(\bar{S}) = 1 - T(S),$$

Que produz a expressão

$$T(S) = \frac{1}{2}.$$

Portanto, os paradoxos se reduzem a meias verdades (ou meias falsidades), matematicamente.

Porém, na lógica binária clássica – bivalente –, tais condições não são permitidas, ou seja, apenas $T(S) = 1$ ou 0 é válido. Essa é uma manifestação das restrições impostas à lógica clássica pelos axiomas do meio excluídos.

Uma forma mais sutil de paradoxo também pode ser abordada por uma lógica de valores múltiplos. Por exemplo, o caso de um copo cheio com 1 litro de água. Muitas vezes, este exemplo é chamado de conclusão do otimista: o copo está meio cheio, ou meio vazio quando o volume está em 500 mililitros? O copo com 1 litro de água ainda está cheio se remover 1ml de água? O copo ainda está cheio se remover 2ml de água? E se remover 3ml de água, 4ml de água ou 100ml de água? Se continuar a responder que sim, eventualmente, toda a água será removida, e o copo vazio ainda será caracterizado como um copo cheio! Em qual ponto o copo de 1 litro cheio de água ficou vazio? Talvez, ao atingir 500ml de água? Infelizmente, nenhum mililitro de líquido fornece uma transição entre cheio e vazio. Essa transição é gradual, de modo que, à medida que cada mililitro de água é removido, o valor real do copo cheio diminui gradualmente de um valor de 1ml a 1000ml a 0 a 0 ml. Portanto, para muitos problemas, precisa-se de uma lógica de múltiplos valores que não seja a lógica binária clássica – tão prevalente no contexto contemporâneo.

Um debate relativamente recente envolvendo ideias semelhantes às dos paradoxos deriva de um artigo dos psicólogos (OSHERSON, D.; SMITH, 1981), no qual afirmam (incorrectamente) que a teoria dos conjuntos Fuzzy não é expressiva o suficiente para representar conceitos intucionistas fortes. Essa ideia pode ser descrita como os conceitos logicamente vazios e logicamente universais.

(OSHERSON, D.; SMITH, 1981) argumentaram que o conceito de maçã que não é uma maçã é logicamente vazio, e que o conceito de fruta que é ou não é uma maçã é logicamente universal. Não importa que o argumento seja falho, reconhecer uma maçã é um conceito Crisp, não Fuzzy. Talvez, (OSHERSON, D.; SMITH, 1981) devessem ter perguntado “frutas que não são vegetais...”, porque, neste caso, os conceitos “frutas” e “vegetais” podem ser Fuzzy. Por exemplo, tomates e pepinos são tecnicamente frutas, mas a maioria das pessoas (e cozinheiros) os rotula de vegetais.

Os conceitos discutidos por Osherson e Smith (1981) estão corretos para a lógica clássica. A ideia logicamente vazia e a ideia logicamente universal são o axioma da contradição e o axioma do meio excluído, respectivamente.

De acordo com (OSHERSON, D.; SMITH, 1981), a lógica Fuzzy também deveria aderir a esses axiomas para representar corretamente os conceitos na linguagem natural, mas, é claro, há uma razão convincente pela qual eles não deveriam. Há especialistas que contestaram esse argumento, como (BELOHЛАVEK, R.; KLIR, G.; LEWIS, H.; WAY, 2002).

Embora as operações Fuzzy padrão (por exemplo, min e max) não sigam os axiomas médios excluídos, há outras operações para interseção (normas t), união e complemento que estão em conformidade com esses axiomas, se tal confirmação é requerida por evidência empírica.

Uma proposição lógica Fuzzy, $P\sim$ é uma afirmação que envolve algum conceito sem limites claramente definidos. Declarações linguísticas que tendem a expressar ideias subjetivas e que podem ser interpretadas de maneira ligeiramente diferente por vários indivíduos geralmente envolvem proposições Fuzzy. A linguagem mais natural é Fuzzy, pois envolve termos vagos e imprecisos. Declarações que descrevem a altura ou o peso de uma pessoa ou avaliações das preferências das pessoas sobre cores ou menus podem ser usadas como exemplos de proposições Fuzzy. O valor de verdade atribuído a $P\sim$ pode ser qualquer valor no intervalo $[0, 1]$. A atribuição do valor de verdade a uma proposição é na verdade um mapeamento do intervalo $[0, 1]$ para o universo U de valores de verdade, T, conforme indicado na equação a seguir:

$$T : u \in U \longrightarrow (0, 1).$$

Como na lógica binária clássica, atribuímos uma proposição lógica a um conjunto no universo do discurso. As proposições Fuzzy são atribuídas a conjuntos difusos. Suponha que a proposição $P\sim$ seja atribuída ao conjunto Fuzzy $A\sim$; então, o valor de verdade de uma proposição, denotado $T(P\sim)$, é dado por

$$T(\underline{P}) = \mu_{\underline{A}}(x), \quad \text{where } 0 \leq \mu_{\underline{A}} \leq 1.$$

A equação acima indica que o grau de verdade da proposição $P\sim: x \in A\sim$ é igual à nota de pertencimento de x no conjunto Fuzzy $A\sim$.

Os conectivos lógicos de negação, disjunção, conjunção e implicação também são definidos para uma lógica Fuzzy. Esses conectivos são dados nas quatro equações a seguir para duas proposições simples: proposição $P\sim$ definida no conjunto Fuzzy $A\sim$ e proposição $Q\sim$ definida no conjunto Fuzzy $B\sim$.

Negação

$$T(\overline{\underline{P}}) = 1 - T(\underline{P}).$$

Disjunção

$$\underline{P} \vee \underline{Q} : x \text{ is } \underline{A} \text{ or } \underline{B} \quad T(\underline{P} \vee \underline{Q}) = \max(T(\underline{P}), T(\underline{Q})).$$

Conjunção

$$\underline{P} \wedge \underline{Q} : x \text{ is } \underline{A} \text{ and } \underline{B} \quad T(\underline{P} \wedge \underline{Q}) = \min(T(\underline{P}), T(\underline{Q})).$$

Implicação

$$\begin{aligned} \underline{P} \rightarrow \underline{Q} &: x \text{ is } \underline{A}, \text{ then } x \text{ is } \underline{B} \\ T(\underline{P} \rightarrow \underline{Q}) &= T(\overline{\underline{P}} \vee \underline{Q}) = \max(T(\overline{\underline{P}}), T(\underline{Q})). \end{aligned}$$

Como antes na lógica binária, o conectivo de implicação pode ser modelado em forma baseada em regras; $P \sim \rightarrow Q \sim$ é SE x é $A \sim$, ENTÃO y é $B \sim$ e é equivalente à relação Fuzzy $R \sim = (A \sim \times B \sim) \cup (A \sim \times Y)$, assim como na lógica clássica. A função de pertencimento de $R \sim$ é expressa pela seguinte fórmula:

$$\mu_R(x, y) = \max[(\mu_A(x) \wedge \mu_B(y), (1 - \mu_A(x))].$$

A seguir, são avaliados sistemas baseados em regras Fuzzy.

No campo da inteligência artificial (inteligência de máquina), existem várias maneiras de representar o conhecimento. Talvez, a maneira mais comum de representar o conhecimento humano seja transformá-lo em expressões da linguagem natural do tipo

SE premissa (antecedente), ENTÃO conclusão (consequente).

O formulário na expressão acima é, geralmente, chamado de formulário baseado em regras *IF-THEN* (SE-ENTÃO). Esse formulário é, geralmente, chamado de formulário dedutivo. Tipicamente, expressa uma inferência de tal forma que, se conhecermos um fato (premissa, hipótese, antecedente), poderemos inferir ou derivar outro fato chamado conclusão (consequente). Essa forma de representação do conhecimento, caracterizada como conhecimento superficial, é bastante adequada no contexto da linguística, porque expressa o conhecimento empírico e heurístico humano em nossa própria linguagem de comunicação. Porém, ele não captura as formas mais profundas de conhecimento geralmente associadas à intuição, estrutura, função e comportamento dos objetos ao nosso redor, simplesmente porque essas últimas formas de conhecimento não são prontamente reduzidas a frases ou representações linguísticas; essa forma mais profunda é referida como indutiva.

O sistema baseado em regras Fuzzy é mais útil na modelagem de alguns sistemas complexos que podem ser observados pelos seres humanos, pois usam variáveis

linguísticas como antecedentes e consequentes, as quais podem ser, naturalmente, representadas por conjuntos Fuzzy e conectivos lógicos desses conjuntos.

Usando as propriedades e operações básicas definidas para conjuntos Fuzzy, qualquer estrutura de regra composta pode ser decomposta e reduzida a um número de regras canônicas simples Figura 59 –.

Rule 1:	IF condition C ¹ , THEN restriction R ¹
Rule 2:	IF condition C ² , THEN restriction R ²
⋮	
Rule r:	IF condition C ^r , THEN restriction R ^r

Figura 59 - A forma canônica para um sistema baseado em regras Fuzzy (Fonte: ROSS, 2010)

Essas regras são baseadas em representações e modelos de linguagem natural, que são baseados em conjuntos Fuzzy e lógica Fuzzy. O nível Fuzzy de compreensão e descrição de um sistema complexo é expresso na forma de um conjunto de restrições à saída com base em determinadas condições da entrada – Figura 59. As restrições, geralmente, são modeladas por conjuntos Fuzzy e relações Fuzzy.

Essas instruções de restrição, geralmente, são conectadas por conectivos linguísticos, como "e", "ou" ou "mais". As restrições R1, R2, ..., Rr aplicam-se às ações de saída ou consequentes das regras. O exemplo a seguir ilustra algumas das técnicas mais comuns (ROSS, 2010) para decomposição de regras linguísticas envolvendo múltiplos antecedentes na forma canônica simples, conforme ilustrado na Figura 59.

Múltiplos antecedentes conjuntivos:

IF x is A^1 and $A^2 \dots$ and A^L THEN y is B^s .

Assumindo um novo subconjunto Fuzzy \tilde{A}^S como

$$\tilde{A}^S = \tilde{A}^1 \cap \tilde{A}^2 \cap \dots \cap \tilde{A}^L$$

Expresso por meio da função de membro

$$\mu_{\tilde{A}^S}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}^1}(x), \mu_{\tilde{A}^2}(x), \dots, \mu_{\tilde{A}^L}(x)]$$

Com base na definição da operação de intersecção Fuzzy padrão, a regra composta pode ser reescrita como

$$\text{IF } \tilde{A}^S \text{ THEN } \tilde{B}^S.$$

Múltiplos antecedentes desconjuntivos:

$$\text{IF } x \text{ is } \tilde{A}^1 \text{ OR } x \text{ is } \tilde{A}^2 \dots \text{ OR } x \text{ is } \tilde{A}^L \text{ THEN } y \text{ is } \tilde{B}^S$$

Pode ser reescrito como

$$\text{IF } x \text{ is } \tilde{A}^S \text{ THEN } y \text{ is } \tilde{B}^S,$$

Onde o conjunto Fuzzy $A^{\sim S}$ é definido como:

$$\begin{aligned}\underline{\mathbf{A}}^s &= \underline{\mathbf{A}}^1 \cup \underline{\mathbf{A}}^2 \cup \dots \cup \underline{\mathbf{A}}^L, \\ \mu_{\underline{\mathbf{A}}^s}(x) &= \max [\mu_{\underline{\mathbf{A}}^1}(x), \mu_{\underline{\mathbf{A}}^2}(x), \dots, \mu_{\underline{\mathbf{A}}^L}(x)],\end{aligned}$$

Que se baseia na definição da operação de união fuzzy padrão.

A maioria dos sistemas baseados em regras envolve mais de uma regra. O processo de obtenção do consequente geral (conclusão) a partir dos consequentes individuais, contribuídos por cada regra na base de regras, é conhecido como agregação de regras.

Ao determinar uma estratégia de agregação, existem dois casos extremos simples (ROSS, 2004):

1. Sistema de regras conjuntivo: no caso de um sistema de regras que deve ser satisfeito em conjunto, as regras são conectadas por conectivos “e”. Nesse caso, a saída agregada (consequente), y , é encontrada pela intersecção Fuzzy de todas as consequências individuais da regra, y_i , onde $i = 1, 2, \dots, r$ Figura 58, como

$$y = y^1 \text{ and } y^2 \text{ and } \dots \text{ and } y^r$$

Ou

$$y = y^1 \cap y^2 \cap \dots \cap y^r,$$

Que é definido pela função de pertencimento:

$$\mu_y(y) = \min(\mu_{y^1}(y), \mu_{y^2}(y), \dots, \mu_{y^r}(y)), \text{ for } y \in Y.$$

2. Sistema de regras disjuntivo: no caso de um sistema de regras disjuntivo, em que é necessária a satisfação de pelo menos uma regra, as regras são conectadas pelos conectivos “ou”. Nesse caso, a saída agregada é encontrada pela união Fuzzy de todas as contribuições de regras individuais, como

$$y = y^1 \text{ or } y^2 \text{ or } \dots \text{ or } y^r$$

Ou

$$y = y^1 \cup y^2 \cup \dots \cup y^r,$$

Que é definido pela função de pertencimento:

$$\mu_y(y) = \max(\mu_{y^1}(y), \mu_{y^2}(y), \dots, \mu_{y^r}(y)), \text{ for } y \in Y.$$

O termo sintético é usado aqui para conotar o processo de avaliação pelo qual vários elementos e componentes individuais de uma avaliação são sintetizados em uma forma agregada; o todo é uma síntese das partes. A chave aqui é que os vários elementos podem ser numéricos ou não numéricos, e o processo de síntese Fuzzy é naturalmente acomodado usando avaliação sintética. Na realidade, uma avaliação de um objeto, especialmente um mal definido, é muitas vezes vaga e ambígua.

A avaliação é geralmente descrita em termos de linguagem natural, uma vez que uma avaliação numérica geralmente é muito complexa, inaceitável e efêmera (transitória). Por exemplo, ao classificar um exame escrito, o professor pode avaliá-lo de perspectivas como estilo, gramática, criatividade e assim por diante.

A nota final no trabalho pode ser linguística em vez de numérica, por exemplo, excelente, muito boa, boa, regular, ruim ou insatisfatória. Após a classificação de muitos exames, o professor pode desenvolver uma relação pela qual um pertencimento é atribuído às relações entre as diferentes perspectivas, como estilo e gramática, e as notas linguísticas, como regular e excelente.

Pode resultar uma relação Fuzzy, $R\sim$, como a seguinte, que resume a relação do professor entre pares de fatores de classificação, como criatividade e avaliações de notas como muito boas:

	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
Creativity	0.2	0.4	0.3	0.1	0
Grammar	0	0.2	0.5	0.3	0
Style	0.1	0.6	0.3	0	0
:	:	:	:	:	:

Figura 60 - Relação Fuzzy entre notas de um paper e critérios adotados (Fonte: ROSS, 2010)

O professor agora quer atribuir uma nota a cada trabalho. Para formalizar essa abordagem, seja X um universo de fatores e Y um universo de avaliações, portanto

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad \text{e} \quad Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$$

Seja $R\sim = [r_{ij}]$ uma relação Fuzzy, como no exemplo de classificação anterior, onde $i = 1, 2, \dots, n$ e $j = 1, 2, \dots, m$. Suponha que introduzamos um documento específico no processo de avaliação no qual o professor forneceu um conjunto de "pontuações" (w_i) para cada um dos n fatores de classificação e garantimos, por convenção, que a soma das pontuações é a unidade. Cada uma dessas pontuações é na verdade um valor de pertencimento para cada um dos fatores, x_i , e elas podem ser organizadas em um vetor Fuzzy, $w \sim$. Então nós temos:

$$\underline{\mathbf{w}} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}, \quad \text{where} \quad \sum_i w_i = 1$$

O processo de determinação de uma nota para um trabalho específico é equivalente ao processo de determinação de um valor de pertencimento para o trabalho em cada uma das categorias de avaliação, y_i . Esse processo é implementado através da operação de composição

$$\underline{\mathbf{e}} = \underline{\mathbf{w}} \circ \underline{\mathbf{R}},$$

Onde \mathbf{e} é um vetor Fuzzy que contém os valores de pertencimento para o trabalho em cada uma das categorias de avaliação y_i .

É importante ressaltar que, como as entradas nas relações da matriz de avaliação sintética são valores de pertencimento que mostram o grau de relação entre os fatores e as avaliações, esses valores podem assumir qualquer número entre 0 e 1. Portanto, as somas de linha podem ser maiores ou menores que a unidade.

Às vezes, as decisões são tomadas com base na classificação, ou classificação ordinal: qual é a melhor questão, qual é a segunda melhor e assim por diante. Para questões ou ações determinísticas, como $y_1 = 5$, $y_2 = 2$, $y_1 \geq y_2$, geralmente não há ambiguidade na classificação; podemos chamar isso de ordem nítida. Nas situações em que os problemas ou ações estão associados à incerteza, aleatória ou Fuzzy, a classificação pode ser ambígua. Essa ambiguidade ou incerteza pode ser demonstrada para variáveis aleatórias e variáveis Fuzzy. Primeiro, vamos assumir que a incerteza na classificação é aleatória; podemos usar as funções de densidade de probabilidade (PDF) para ilustrar o caso aleatório. Suponha que temos uma variável aleatória, x_1 , cuja incerteza é caracterizada por uma Gaussiana PDF com média de μ_1 e desvio padrão de σ_1 , e outra variável aleatória, x_2 , também gaussiana, com média de μ_2 e desvio padrão de σ_2 . Suponha ainda que $\sigma_1 > \sigma_2$ e $\mu_1 > \mu_2$. Se traçarmos os PDFs para essas duas variáveis aleatórias – Figura 61 –, veremos que a questão de qual variável é maior não está clara.

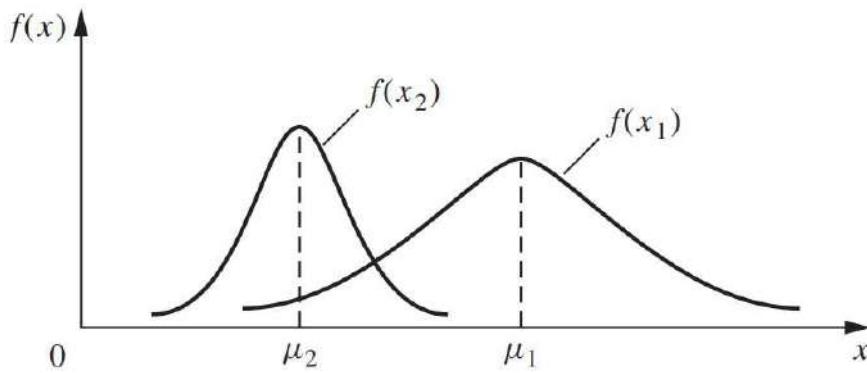


Figura 61 - Funções de densidade para duas variáveis aleatórias Gaussiana (Fonte: ROSS, 2010)

Como exemplo desse ranking incerto, suponha que x_1 seja a altura dos italianos e x_2 seja a altura dos suecos. Como essa incerteza é do tipo aleatório, não podemos responder à pergunta "*Os suecos são mais altos que os italianos?*", a menos que lidemos com dois indivíduos específicos, um da Suécia e da Itália, ou simplesmente estamos avaliando μ_1 , suecos de estatura média, e μ_2 , italianos de altura média. Mas podemos fazer a pergunta: "*Qual a frequência com que os suecos são mais altos que os italianos?*". Neste caso, podemos avaliar essa frequência como a probabilidade de uma variável aleatória ser maior que outra, ou seja, $P(x_1 \geq x_2)$, com

$$P(x_1 \geq x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} F_{x_2}(x_1) dx_1$$

Onde F é uma função de distribuição cumulativa. Portanto, com variáveis aleatórias, podemos quantificar a incerteza ao ordenar com uma integral de convolução, conforme equação citada acima.

Segundo, vamos supor que a incerteza na classificação surge por causa da ambiguidade. Por exemplo, suponha que estamos tentando classificar as preferências das pessoas em cores. Nesse caso, a classificação é muito subjetiva e não pode ser reduzida à forma elegante disponível para algumas variáveis aleatórias. Para variáveis Fuzzy,

também somos capazes de quantificar a incerteza na ordenação, mas, neste caso, devemos fazê-lo com a noção de pertencimento.

Um terceiro tipo de classificação envolve a noção de imprecisão (DUBOIS, D.; PRADE, 1980). Para desenvolver isso, suponha que tenhamos dois números Fuzzy, $I \sim$ e $J \sim$. Podemos usar ferramentas no princípio da extensão para calcular o valor de verdade da afirmação de que o número Fuzzy $I \sim$ é maior que o número Fuzzy $J \sim$:

$$T(I \geq J) = \sup_{x \geq y} \min(\mu_I(x), \mu_J(y))$$

Por meio da Figura 62, pode-se verificar as funções de pertencimento para dois números Fuzzy, $I \sim$ e $J \sim$.

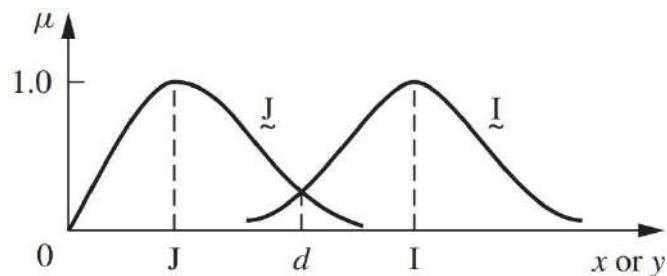


Figura 62 - Dois números Fuzzy como conjuntos Fuzzy na linha real (Fonte: ROSS, 2010)

A equação a seguir é uma extensão da desigualdade $x \geq y$ de acordo com o princípio da extensão. Representa o grau de possibilidade no sentido de que, se existir um par específico (x, y) , de modo que $x \geq y$ e $\mu_{I \sim}(x) = \mu_{J \sim}(y)$, então $T(I \geq J \sim) = 1$. Como os números Fuzzy $I \sim$ e $J \sim$ são convexos, pode ser visto na Figura 62 que

$$T(\underline{I} \geq \underline{J}) = 1 \text{ if and only if } I \geq J,$$

$$T(\underline{J} \geq \underline{I}) = \text{height}(\underline{I} \cap \underline{J}) = \mu_{\underline{I}}(d) = \mu_{\underline{J}}(d),$$

Onde d é a localização do ponto de intersecção mais alto dos dois números Fuzzy. A altura da operação ($I \sim \cap J \sim$) na equação a seguir é uma boa métrica de separação para dois números Fuzzy, ou seja, quanto mais próxima essa métrica estiver da unidade, mais difícil será distinguir qual dos dois números Fuzzy é maior. Por outro lado, como essa métrica se aproxima de zero, mais fácil é a distinção sobre a ordem de classificação (que é a maior).

Infelizmente, a métrica dada na segunda equação não é muito útil como uma métrica de classificação, porque $T(I \geq J \sim) = 1$ quando I é um pouco maior, e quando I é muito maior que J. Se sabemos que $I \sim$ e $J \sim$ são números Crisp I e J, o valor verdade se torna $T(I \geq J) = 1$ para $I \geq J$ e $T(I \geq J) = 0$ para $I < J$.

As definições expressas nas últimas duas equações para dois números Fuzzy podem ser estendidas ao caso mais geral de muitos conjuntos Fuzzy. Suponha que temos k conjuntos Fuzzy $I \sim 1, I \sim 2, \dots, \sim k$. Em seguida, o valor verdadeiro de uma classificação ordinal especificada é fornecido como

$$T(\underline{I} \geq \underline{I}_1, \underline{I}_2, \dots, \underline{I}_k) = T(\underline{I} \geq \underline{I}_1) \quad \text{e} \quad T(\underline{I} \geq \underline{I}_2) \quad \text{e} \dots \text{e} \quad T(\underline{I} \geq \underline{I}_k)$$

APÊNDICE II – Gerenciamento de Projeto

A definição encontrada na norma ISO 21500:2012(E) (ISO, 2012) indica a gestão de projetos como uma forma de aplicar métodos, instrumentos, técnicas e habilidades ao projeto, equivalente ao conceito encontrado no PMBOK (PMI, 2013), onde a gestão de projetos é entendida como a utilização de conhecimentos, utensílios, metodologias, e aptidões às atividades de um projeto de forma que possa ser estendida aos seus pré-requisitos ao término.

Para (WALKER, 2007) a dimensão do usuário e o conceito de gestão de projetos no momento da definição, planeamento, coordenação e controle, desde a sua concepção até seu término, é alcançada apenas se os pré-requisitos expressados pelo consumidor em questão de conveniência, emprego, propriedade, tempo e preço; a afirmação de associações entre os recursos; a integração, o acompanhamento e o controle do projeto, assim como seus resultados; junto da avaliação e eleição de alternativas para encontrar a satisfação do cliente, podem ser atingidas.

De acordo com o expresso por (LIMMER, 2013) a gestão de projetos pode ser conceituada como o grupo de operações planificadas com o intuito de buscar a implementação de um projeto, considerando as pré-condições estabelecidas com antecedência, quanto a prazo, preço, qualidade e risco, no decorrer de todo ciclo de vida do projeto. Um projeto finda apenas no momento em que seus objetivos foram considerados atingidos, embora esses possam ser modificados ao longo do seu ciclo de vida, em razão de fatores externos e internos.

A gestão de projetos em países, como os Estados Unidos, se baseia no Guia PMBOK, publicação do *Project Management Institute* (PMI), localizado na Inglaterra, cujas referências são a *Association for Project Management* (APM) e o *British Standards Institution* (BSI); já na Austrália, o regramento segue a *Australian Institute for Project Management* (AIPM); podendo ser considerado, ainda, o padrão da *International Project Management Association* (IPMA), dentre outros.

A gestão de riscos é um dos nove campos de conhecimento, estabelecidos pelo *Project Management Institute* (PMI), conforme é demonstrado a seguir: Gestão de Integração de Projetos; Gestão de Escopo de Projetos; Gestão de Tempo de Projetos;

Gestão de Custos de Projetos; Gestão de Qualidade de Projetos; Gestão de Recursos Humanos nos Projetos; Gestão de Comunicação de Projetos; Gestão de Risco de Projetos; Gestão de Aquisições de Projetos.

Embora esses campos de ação sejam, teoricamente, do mesmo modo relevantes ao gestor de projetos, no dia a dia este é o responsável pela determinação de quais são as áreas que apresentam maiores efeitos nos resultados de cada projeto. No guia PMBOK (PMI, 2013) estão disponíveis os processos de gestão de projetos, e ali existem cinco classes aceitas como conjuntos de processos de: Iniciação: processos implantados a fim de estabelecer um novo projeto ou uma nova etapa de um projeto, além da obtenção da autorização de início; Planejamento: processos imprescindíveis à definição do escopo da proposta, refinamento dos objetivos e definição da linha de atuação que será necessária para que os objetivos sejam atingidos; Execução: processos conduzidos a fim de implementar o trabalho, já planeado, no plano de gestão do projeto, de forma que atenda às especificações vigentes; Monitoramento e controle: inclui os processos obrigatórios ao acompanhamento, análise e controle da evolução e performance da proposta, identificando quaisquer campos onde sejam necessárias alterações no plano original, e manter as modificações correspondentes; Encerramento: os processos implementados para findar as atividades da equipe e os conjuntos de processos, com vistas a terminar, oficialmente, o projeto ou a etapa em questão.

Eventualmente, os conjuntos de processos são episódios distintos ou que acontecem raramente, de fato são as atividades que se sobrepõem no decorrer de todo o projeto (SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, 2006). As variações se apresentam principalmente em propostas na área da construção civil, o que passa a ser relevante considerar o desenvolvimento de um plano de gestão de projeto como um procedimento dinâmico e elaborado ao longo de todo o seu ciclo de vida (WALKER, 2007).

Isto posto, o aperfeiçoamento contínuo e a exposição de um plano de acordo com as informações mais desenvolvidas e específicas, junto de estimativas mais acuradas terminam por se transformar em disponibilidades, permitindo que o gestor de projeto possa estabelecer e gerenciar o trabalho de forma progressiva e com um grau apurado de detalhamento (PMI, 2013). Há, porém, um desafio para a obtenção de informações nessa área, especialmente na fase de concepção e planeamento de um projeto. Certos fatores

ligados à falta de tempo ou do alto custo de geração destes, o que eleva a dúvida no processo decisório, levando a concepção de um novo projeto na área da construção ser muito mais arriscada (WANG, J.; YUAN, 2011; ZENG, J.; AN, M.; SMITH, 2007).

A propriedade das obras no campo da construção civil não é somente o produto de precauções associadas aos recursos utilizados no processo de criação, como materiais, mão-de-obra e acompanhamento de serviços assentes, é, simultaneamente, realizado pelos projetos (MELHADO, 2001). Ainda na visão do autor, tal questão se estabelece pelo enorme volume de dificuldades patológicas em edificações, as quais são atribuídas a falhas de projeto, sendo considerados como desvios das metas da proposta e decorrências de riscos não trabalhados.

Indica (SILVA, 2000) algumas questões que distinguem os projetos de construção civil dos demais: O cliente intervém na concepção e implemento do empreendimento; Os projetos e as edificações são criados de forma separada; Existe uma elevada rotatividade e uma reduzida capacitação da mão-de-obra contratada; Reduzido grau de automatização nos serviços; Identificação das dificuldades realizada ao longo da fase de produção; Existe um elevado nível de dúvida no decorrer da fase de planejamento; Não se estabelece uma rotina de encontros e reuniões para a avaliação do empreendimento, bem como análises depois da ocupação, o que, por sua vez, antepara a melhora constante e o aprendizado para novos projetos.

Afora os fatores supracitados, (VERDI, LUIS ANTONIO RODRIGUES; TOLEDO, 2002) complementam o tópico, enumerando peculiaridades e características que distinguem os projetos da área de engenharia quando comparados aos projetos seriados: A criação de um projeto ainda pode ser considerada uma atividade, e embora utilize os recursos de informática, cada documento é um resultado singular; Um projeto é composto por um considerável volume de desenhos, especificações técnicas, memoriais e relatórios específicos, não podendo ser considerado como um produto singular de uma produção seriada; A qualidade final de uma proposta é observada ao longo de sua implementação, de forma que o cliente não é capaz de verificar todos os erros no ato do recebimento do projeto. Frequentemente, as falhas só podem ser identificadas em etapas mais avançadas da edificação, o que onera, e muito, o empreendimento; A grande quantidade de profissionais engajados no processo do projeto (usuários, compradores, projetistas, investidores e construtores) que apresentam propósitos e interesses bastante

divergentes além e vínculos contratuais parcamente definidos, o que implica em uma acepção de conceito de qualidade dependente de múltiplos participantes; O improviso é constante, não é investido tempo de planejamento e atividades suficientes, como para pesquisas de construtibilidade e, assim, a atividade deve ser revisitada e redefinida no canteiro de obras.

Consoante (ALTOUNIAN, 2011) o término de uma obra de maneira exitosa é dependente do bom desempenho ao longo das várias fases dos procedimentos de atividades obrigatórias no projeto de implementação de um empreendimento de engenharia. Merece destaque a importância de seguir a sequência de etapas, adimplidas individualmente a fim de contemplar todos os requisitos desta, antes de que se siga para a próxima. Os projetos são frequentemente organizados em etapas, estabelecidas a partir de uma indigência de controle.

As etapas permitem que sejam identificados os *milestones* ou ‘pontos de decisão importantes’, além de apontar alterações efetivas no posicionamento do grupo de trabalho diante do planejamento, gestão, tática, logística e operação. Tal percepção possibilita um controle mais apurado dos recursos que são necessários ao atingimento dos objetivos pré-estabelecidos (SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, 2006).

Tais etapas seguem uma série lógica, com início, meio e término, além de usar recursos a fim de alcançar seus objetivos. De forma a gerir um projeto eficazmente ao longo de toda sua vida, um conjunto de tarefas devem ser adimplidas em cada uma das etapas. As etapas de cada projeto podem ser, quando consideradas em grupo, definidas como o ciclo de vida de uma proposta, assim como pode ser verificado na norma ISO 21500:2012(E) (ISO, 2012).

Esse ciclo de vida deve ser diferenciado dos conjuntos de processos de gestão dos projetos, os quais incluem tarefas que podem ser realizadas e repetidas em cada etapa de um projeto. Outrossim, o ciclo de vida do projeto é independente do ciclo de vida do resultado criado ou alterado pelo projeto (PMI, 2013).

Para (GEHBAUER, 2002) uma abordagem acerca das etapas de desenvolvimento de um empreendimento, pela identificação de suas fases e pontos de decisão. A primeira etapa equivale ao estudo de viabilidade do empreendimento, e pode ser observado que determinadas fases de planejamento já foram iniciadas nesta etapa e se estenderão até as

etapas de planejamento e execução. Ainda na visão do autor, a etapa de avaliação da viabilidade é estendida até a execução legal do projeto, e a fase de execução é iniciada depois da licitação e das contratações.

A necessidade de um estudo de viabilidade se dá antes de iniciar a elaboração de um projeto, e deveria ser realizado com o maior volume de dados e avaliações, de forma que possibilitem a tomada de decisão de forma madura acerca da manutenção do empreendimento. No processo de avaliação da continuidade de um projeto, caso a decisão seja pela ininterruptão do empreendimento, passa-se, assim, para a fase de projeto e planejamento da edificação, estas são subdivididas em mais nove fases (GEHBAUER, 2002) .

Conforme argumenta (SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, 2006) na área da construção, as etapas são identificadas como: Pré-Viabilidade, Viabilidade, Design, Aquisição e Contratos, Implementação, Procuração, Entrega e Operação. Porém, distintas etapas apresentam distintos conceitos, de acordo com os diversos especialistas, embora também continuem mantendo as mesmas ações; desse modo, a nomenclatura adotada não seria tão relevante, visto que de forma geral, tais ciclos de vida podem ser identificados de maneira bastante semelhante.

Uma classificação objetiva em somente quatro etapas é capaz de representar o ciclo de vida de um projeto, estas seriam a concepção, a preparação, a execução e a finalização deste. Para cada uma das etapas, uma sequência de subetapas poderão ser observadas. Na etapa de conceito, está incluída a observação das necessidades, a pesquisa de viabilidade, o reconhecimento de opções e a apresentação de um projeto inicial, assim como sua autorização de prosseguimento. Na etapa de preparação existe uma sequência de estudos e disposições que são refletidas com o intuito de permitir o princípio da obra, tais estudos incluem o desenvolvimento dos planos de construção, os *designs*, os orçamentos, os cronogramas, dentre tantos outros (PMI, 2013).

Por sua vez, na etapa de execução as compras e as contratações necessárias à realização dos serviços têm a maior importância, embora o planejamento também influencie grandemente como uma subetapa, agindo no acompanhamento do desempenho dos serviços, na gerência da qualidade, na administração de riscos, na logística, dentre outros. Por fim, na fase de finalização, faz-se a capacitação dos operadores, as revisões

de termos do projeto, a retenção dos dados da obra, a entrega do empreendimento e do termo de responsabilidade (PMI, 2013).

Ainda pode ser criada uma curva de nível de esforço (LoE), associada ao empenho imprescindível à condução do projeto ao longo do seu ciclo de vida, esta pode ser representada pelo volume de profissionais envolvidos em tempo integral. A compreensão de risco difere de acordo com o autor, embora possa ser percebido que entre as publicações mais renomadas no âmbito, e em relação às definições que foram propostas por várias associações e entidades normalizadoras, ambas convergem em alguns pontos essenciais.

(PERRY, J. G.; HAYES, 1985) expressaram o risco como uma suscetibilidade ao dano financeiro ou seu ganho em função da implicação destes nas dinâmicas de construção. Por sua vez, (AL-BAHAR, J. F.; CRANDALL, 1990) propõem o risco como uma exposição à probabilidade de ocorrência de episódios adversos ou exitosos, os quais interferem nos objetivos da proposta como decorrência de incertezas.

Para (CHAPMAN, 2001) o risco de um evento que, caso ocorra, poderá exercer um impacto positivo ou negativo junto à concretização dos objetivos do projeto. Em contrapartida, (KLEMETTI, 2006) estipula que o risco é um acontecimento incerto, capaz de causar efeitos que irão contra as expectativas no momento da finalização do projeto.

(PMI, 2013) entende que o risco é um acontecimento ou uma circunstância indefinida, a qual, caso ocorra, afetará de forma positiva ou negativa, ou ainda interferirá nos objetivos de um projeto, como exemplo no seu escopo, cronograma, valor, qualidade ou segurança. Já de acordo com a norma ABNT NBR ISO 31000:2009 (31000:2009, 2009), o risco é definido como o impacto da dúvida em função de interferências e fatores, sejam internos sejam externos, nas metas do projeto ou da organização, podendo ser assinalada por acontecimentos e suas decorrências.

Para (BALOI; PRICE, 2003) as dúvidas podem ser de distintos tipos e causas, tais como erros, inexatidões, variações, dubiedades e desconhecimento. Tais incertezas podem ser decorrentes da ausência ou escassez de dados. Os autores, ainda, complementam que considerar o risco pode ter distintos significados aos distintos envolvidos nas edificações, variando conforme seus interesses próprios.

Entre os profissionais envolvidos, os engenheiros, os projetistas e as construtoras apresentam uma visão muito mais técnica de risco, por sua vez, os incorporadores e as instituições financeiras têm uma visão muito mais econômica e financeira do mesmo empreendimento. Uma interpretação clássica de risco é negativa, estando envolvidos perdas, danos e decorrências desfavoráveis, todavia tal evento não necessariamente é ruim, pode, até mesmo, trazer consequências positivas aos objetivos estabelecidos em um projeto. Riscos positivos e negativos podem ser facilmente definidos como oportunidades e ameaças. Um projeto poderá ser acatado no caso de os riscos estarem dentro de limites de tolerância e equilíbrio para com as gratificações advindas de sua assumpção (PMI, 2013), portanto, os riscos trazem consigo oportunidades, que se adotadas poderão gerar e agregar valor.

Seguramente, o gerenciamento de risco é um dos componentes mais trabalhosos no processo de gestão de um projeto, visto que o gestor deverá ser capaz de observar e reconhecer os motivos de cada risco, bem como estabelecer suas consequências ao longo do projeto, sem que existam métodos capazes de garantir resultados inteiramente eficazes para qualquer tipo de projeto e/ou entidade. Destarte, há a necessidade de adotar instrumentos inteligíveis e sistemáticos a fim de reconhecer e avaliar o tratamento dos riscos, de forma a alcançar os objetivos pré-estabelecidos (PMI, 2013).

Um risco pode ser um problema no pensamento de um especialista em negócios, contudo este pode considerar ser capaz de assumir a lide com eles, na tentativa de extinguí-los sem centrar na redução de sua ocorrência ou na diminuição de sua gravidade (KANGARI, 1995).

Para tanto, é fundamental a utilização da gestão de riscos, a contar das etapas primordiais de um projeto, na qual se dão as decisões mais importantes, tais como a retificação e a eleição dos métodos construtivos, os quais poderão ser alterados (UHER, T. E.; TOAKLEY, 1999).

Caso os riscos não sejam reconhecidos, estes não poderão ser controlados, contemporizados e administrados. É sabido, também, que a eliminação de todos os riscos de um projeto é uma tarefa impraticável, logo, permanece o imperativo de um método protocolar de gestão de riscos a fim de administrá-los. O êxito do projeto será dependente da conjugação de táticas de resposta embasadas na mitigação dos riscos, e a capacidade de organizar a lide destes (DIKMEN, I.; BIRGONUL, M. T.; HAN, 2007).

O gerenciamento de risco possibilita uma avaliação da relação custo-benefício na fase de tratamento de riscos, a extinção dos contingentes desnecessários, a anuência de riscos a fim de impedir outros que possam ser ainda mais impactantes, e a concretização de um orçamento factível (MILLS, 2001).

Cabe destacar a observação das corporações do setor imobiliário quanto aos benefícios da incorporação da gestão de riscos, o que permite a redução dos custos econômicos, a melhoria da produtividade, o aumento da taxa de êxito em projetos sucessivos e a melhora nas tomadas de decisão, no encorajamento da organização de construção quanto às quantificação, análise e tratamento dos riscos ao longo de todo o empreendimento (BANAITIENE, N.; BANAITIS, 2012). É necessário considerar que o gerenciamento de risco deve ser constituído pela aplicação metódica de artifícios e práticas de avaliação.

Cada campo de conhecimento se subclassifica em vários processos, o (PMI, 2013) exibe os procedimentos da gestão de riscos, conforme segue: Planejamento da Gestão de Riscos; Identificação de Riscos; Avaliação Qualitativa de Riscos; Avaliação Quantitativa de Riscos; Planejamento de Resposta aos Riscos Identificados; Acompanhamento e Controle de Riscos.

É possível observar na literatura a existência de processos de gestão de riscos dos mais variados, embora frequentemente sejam sempre entendidos os quatro mais importantes, conforme (NIETO-MOROTE; RUZ-VILA, 2011) explanam, os quais são: Reconhecimento de Riscos; Avaliação dos Riscos; Tratamento dos Riscos; Acompanhamento de Riscos.

O reconhecimento de riscos é um dos passos mais iniciais, e poderia ser considerado o mais crucial, em processos de gestão de risco, já que intenta observar qual é a fonte e a classe do risco. Nesta avaliação está incluída a observação do panorama potencial de episódios no projeto de edificação e a explanação das responsabilidades quanto ao risco, a contar das primeiras etapas do projeto (WANG; CHOU, 2003).

A origem do risco é o componente que, seja individual ou em combinação, potencialmente origina o referido risco. O episódio é a ocorrência ou a alteração em um grupo particular de conjunturas sejam planejadas sejam aguardadas dentro do projeto, o qual pode constituir uma, ou mais, ocorrências com causas múltiplas. A norma ABNT

NBR ISO 31000:2009 (31000:2009, 2009) assinala que um episódio poderá ser referido como ‘incidente’ ou ‘acidente’, neles está inserida a ideia de não existirem consequências, ainda pode ser entendido como um ‘quase acidente’.

As metodologias de avaliação de riscos têm sido criadas e modificadas continuamente por diversos autores renomados na área em questão. A avaliação do risco é uma fase obrigatória na seleção de atitudes acertadas que têm o objetivo de compreender as decorrências e as chances inseridas na ocorrência de riscos reconhecidos (CHAPMAN, 2001; KLEMETTI, 2006; TAH, J. H. M.; CARR, 2001).

As avaliações de risco ainda são tipificadas em dois grandes conjuntos, considerando a classe de informação na entrada, podendo ser análises qualitativas ou quantitativas. Uma análise qualitativa de riscos inclui o processo de privilégio para avaliação ou atitude complementar por meio da análise e combinação de sua chance de ocorrência e efeito (PMI, 2013). Este é, usualmente, um modo fácil e parcimonioso de situar prioridades durante o processo de planejamento das respostas aos riscos identificados.

A avaliação quantitativa dos riscos é uma dinâmica que analisa numericamente o impacto dos riscos, a fim de corroborar com o processo decisório, com vistas à redução do grau de dúvida acerca de projetos tenso e vista os objetivos gerais estabelecidos anteriormente (PMI, 2013). De acordo com a norma ABNT NBR ISO 31000:2009 (31000:2009, 2009), a fase de tratamento do risco inclui a seleção e a implantação de uma tática que intenciona dar resposta aos riscos, podendo abranger: evitar em função da deliberação de não iniciar ou de interromper a atividade que causa o referido risco; A assumpção ou a elevação do risco, com o propósito de procurar uma oportunidade; A remoção da origem do risco; A modificação da probabilidade; A mudança das decorrências associadas; O compartilhamento do risco com as demais partes envolvidas; A permanência do risco de uma forma consciente.

O acompanhamento, ou o controle de riscos, é a última fase da gestão de riscos, sendo um sistema de monitoramento a fim de mensurar a eficácia das atitudes do tratamento e detecção de riscos, os quais podem não terem sido eficientes na identificação dos passos antecessores, tendo em conta ainda a existência de outros riscos inéditos em função da etapa de tratamento (PMI, 2013). Os procedimentos na área da construção civil estão carregados de contratemplos e riscos (TAH, J. H. M.; CARR, 2001).

É possível citar desafios relacionados à segurança e à saúde, à observação do cronograma e aos aspectos econômicos, tais como pagamentos, capital de giro e investimentos. A área também inclui riscos relacionados ao planejamento, à execução, à comunicação e à interação com o meio externo (ABDERISAK; LINDAHL, 2015). Muitos autores consideram que projetos na área da construção podem ser erráticos (ZOU, P. X. W.; ZHANG, G.; WANG, 2007).

O setor da indústria entende a existência de várias dúvidas inerentes ao processo, tais como a flutuação na margem de lucro, a competição de mercado e os trâmites de licitações, a alteração do clima, a mudança na produtividade em campo, as conjunturas políticas, a inflação, dentre outros. Se faz necessário a adoção de procedimentos nos quais os riscos possam ser trabalhados junto da instituição, ou ainda, transmitidos a outras partes engajadas no projeto em questão. Tal decisão deve ser considerada em virtude da habilidade da parte comprometida na análise, minimização ou controle dos riscos expostos (KANGARI, 1995).

O gerenciamento de riscos em projetos é vital para que possam ser atingidos os objetivos no que concerne aos custos, à qualidade, à segurança e à sustentabilidade da questão ambiental (ZOU, P. X. W.; ZHANG, G.; WANG, 2007). É fundamental que as instituições da área da construção refreiem os riscos e as dúvidas a fim de que possam avaliar suas consequências e seus motivos, para que, assim, possam conhecer quais são os projetos que oportunizam os riscos mais importantes. Tal constatação poderá influenciar no processo decisório de alocação de valores na gestão de tais riscos quanto aos projetos (KARIMIAZARI, AMIR REZA; MOUSAVI, NEDA; MOUSAVI, S. FARID; HOSSEINI, 2011).

Os gestores necessitam asseverar a entrega do orçamento de um projeto, de seu cronograma e de seu desempenho conforme havia sido planejado. A fim de alcançar este objetivo se faz necessário administrar os riscos que se encontram presentes no projeto a contar das etapas iniciais, e a partir dos processos de acordos, compra, fabricação, construção e atividade (TAH, J. H. M.; CARR, 2001).

Projetos construtivos apresentam riscos bastante complexos, incluindo aos investidores, à incorporadora, aos consultores, às construtoras e aos fornecedores envolvidos. Determinados riscos podem ser entendidos como influências de operações em função de fatores de acesso, ao monitoramento de poluentes e descarte de resíduos,

acidentes no canteiro de obras, da mesma forma que dificuldades de *design* e construção (TAH, J. H. M.; CARR, 2001). É mister destacar que os riscos podem ser elevados no caso de projetos serem implementados em zonas congestionadas, esse é um aspecto usual em construções habitacionais de diversos pavimentos em áreas urbanas populosas (BANAITIENE, N.; BANAITIS, 2012).

Inúmeros fatores influenciam na elevação do risco e ocasionam atrasos no cronograma e nas despesas envolvidas. Certos fatores interferem no cronograma, tais como a posse desatualizada do terreno, dificuldades com o clima da região, as características de solo e subsolo não esperadas, as variações na mão-de-obra especializada e o fornecimento de insumos, a comunicação ineficiente e a carência de coordenação (ZHI, 1995).

Certos fatores são responsáveis pela elevação das despesas, estes podem ser espontaneamente criados em função do cálculo descuidado, de seguros erroneamente adquiridos, da variação na mão-de-obra local e nos valores dos materiais. Um controle sobre os riscos pode ser exercido de forma direta por meio da gestão de projetos, embora seja complexa a sua avaliação desde o princípio, uma vez que este nunca ocorre do mesmo modo, no qual a experiência na ausência de uma análise sistemática permanecerá ineficaz (ZHI, 1995).

Diversos estudiosos do setor investigaram o risco quanto ao contexto singular de uma etapa do projeto, tal como a concepção e o estudo de viabilidade (UHER, T. E.; TOAKLEY, 1999), a etapa de delineamento (CHAPMAN, 2001) e a etapa da construção (ABDOU, 1996) e não uma visão do ciclo de vida integral do projeto. Tal enfoque possibilita entender de forma profunda o comportamento dos riscos em distintas etapas, e ajuda na escolha de distintas táticas ao longo das etapas para trabalhar com os riscos de forma mais eficaz.

Na literatura acadêmica, variados *checklists* de riscos e *breakdown structures* para riscos estão disponíveis na busca do reconhecimento e categorização, dentre eles podem ser citados. (PERRY, J. G.; HAYES, 1985) identificaram os 29 riscos mais importantes que podem ser categorizados em classes físicas, ambientais, de *design*, logística, financeira, jurídica, política, construtiva e operacional. (MUSTAFA, M. A.; AL-BAHAR, 1991) observaram 32 fatores de risco, unidos em seis classes, sendo medidas por meio do processo analítico hierárquico – *Analytic Hierarchy Process*. Para (AL-

BAHAR, J. F.; CRANDALL, 1990), a incorporação de um diagrama de influência foi importante na identificação dos riscos associados, além de usar a simulação Monte-Carlo para avaliar tais riscos de projeto mediante um sistema de gestão de risco (CRMS). (ZHI, 1995) deliberou sobre os riscos admissíveis em projetos universais conforme as suas origens, tais como nação e região, tipo de indústria construtiva, instituição e projeto. Já (HASTAK, M.; SHAKED, 2000) criaram um modelo incluindo um padrão sistemático de quantificação de riscos para projetos, onde os autores combinaram os 73 riscos observáveis na classe dos tangíveis e dos intangíveis, conforme três categorias.

Conforme (CARR; TAH, 2001), a categorização inicial do risco se dá em duas classes segundo sua natureza, podendo ser externa ou interna, sendo subdivididas em outros seis subgrupos após a aplicação do procedimento *Work Breakdown Structure* (WBS), a saber: local, mundial, financeiro, físico, político e mudança tecnológica. Consoante(BALOI; PRICE, 2003), os riscos que influenciam o desempenho de projetos na área da construção, podem ser classificados em sete categorias principais por meio da um instrumento de decisão baseado na teoria fuzzy a fim de avaliar os efeitos dos riscos observados. Por fim, (WANG, M. T.; CHOU, 2003) classificam os riscos de forma dependente, especialmente se o projeto é regional ou internacional, agrupando os mesmos em três classes: localidade/país, projeto e mercado.

Podem ser verificadas inúmeras maneiras para a classificação, conforme a metodologia de gestão de riscos a ser adotada. Para (ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, 2010), os riscos podem ser classificados em três grandes conjuntos, os externos, os internos e os referentes ao projeto. Os riscos externos estão encontram-se fora do controle por parte do grupo de trabalho responsável pela gestão de projetos, podendo ser subdivididos em políticos, financeiros, sociais e climáticos.

Os riscos políticos incluem as alterações nas legislações, regramentos e políticas públicas, assim como no sistema de gestão inadequado. Os riscos financeiros são derivados da incoerência na gestão econômica em escala municipal, estadual ou nacional. Por sua vez, os riscos sociais tornam-se relevantes em função da obrigatoriedade de observar e mensurar os efeitos do projeto em determinadas áreas, como exemplo. Um risco climático faz referência aos possíveis desastres naturais ou intempéries imprevistas (ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, 2010).

Em contrapartida, nos riscos internos encontram-se os relativos aos recursos, grupos de trabalho, local de construção, documentos e dados. Aqueles riscos relativos aos recursos referem-se aos insumos e equipamentos; aos riscos que os participantes de projetos consideram como riscos associados com intervenientes (*stakeholders*), em função de dificuldades como ausência de comprometimento, conhecimento, interatividade ou entusiasmo. Uma equipe é constituída pelo grupo responsável pelo planejamento, pela construtora, pela incorporadora, pelos fornecedores e os terceirizados; sendo os riscos associados ao local de construção aqueles relacionados aos riscos inerentes da própria construção, no canteiro de obras, estando, da mesma forma, relacionados aos perigos à saúde e ao bem-estar; os riscos associados à documentação e aos dados incluem aqueles relacionados tanto as carências de comunicação, como os trâmites que solicitam enorme quantidade de documentos, tais como autorizações, modificações, disputas jurídicas, entre outros (ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, 2010).

Isto posto, os riscos de projeto podem ser classificados em de cronograma, de despesas, de qualidade, de construção e de tecnologia. Aqueles associados ao cronograma são os que causam modificações ao longo do prazo estipulado.

Os riscos de despesas influenciam especialmente o orçamento pré-definido. Os riscos de qualidade são referentes aos trabalhos inadequados e imperfeitos. Os de construção incluem modificações nas metodologias de construção e no escopo da proposta. Os riscos de tecnologia fazem referência às falhas de gestão, qualificação ao trabalho, dentre outros (ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, 2010).

No decorrer do processo de observação dos episódios de risco, os especialistas focam na descrição breve e específica destes, na maneira de ser mensurado, no reconhecimento das decorrências afora a certificação de que podem ser quantificados, identificada a frequência de prazo e datas da ocorrência do risco e a pormenorização de todos os motivos que seriam capazes de detoná-los (SMITH, N.; MERNA, T.; JOBLING, 2006). Considerada como um dos mais importantes passos na gestão de riscos, encontra-se a identificação dos potenciais riscos. Por meio de informações coletadas, um rol de riscos reconhecidos é construído, e este deve ser priorizado a fim de que se possa investir os recursos necessários àqueles que forem mais significativos, permitindo, assim, definir as diretrizes para um melhor processo de gerenciamento de riscos na etapa da concepção e do projeto do empreendimento (BARRETO, F. S. P.; ANDERY, 2015).