



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



A gestão do risco em gestão de projetos. Caso de estudo.

DIOGO JORGE LOURENÇO PIMENTA
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador:

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor João Miguel Lemos Chasqueira Nabais

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre apoiaram o meu percurso académico, sem eles, ao longo destes anos, hoje não teria resultados.

Aos colegas de faculdade que nos momentos difíceis trouxeram a motivação e fizeram a diferença entre o sucesso e o insucesso.

Aos amigos e família que foram privados da minha presença e apoio, nos momentos em que o meu esforço foi dedicado à procura do sucesso no meu percurso académico.

RESUMO

A consciencialização para a inevitabilidade do risco tem de estar sempre presente quando se aborda um qualquer projeto. Esse *mindset*, de não perder a noção dos riscos envolvidos, tem de ser constante em todo o ciclo de vida de um projeto. Fazendo uma abordagem processual à gestão de projeto, terá sempre de se integrar entre as várias fases desse processo, a gestão do risco. Por sua vez, a gestão do risco, constitui um processo próprio em que, entre outras etapas, uma avaliação precisa do risco se mostra fulcral para uma gestão eficaz.

Neste contexto foi desenvolvido um modelo de auxílio à avaliação do risco na gestão de projeto, com base em sistemas de inferência difusa. A lógica difusa encontra várias pontes de ligação com o domínio do risco. Mostra-se tolerável com informação incerta e imprecisa, característica do raciocínio e decisão humana, logo adequada para lidar com a imprecisão frequentemente associada à perceção e caracterização de um risco.

A aplicabilidade desta ferramenta no âmbito dos projetos de engenharia é ensaiada no caso de estudo, em que são considerados riscos característicos de projetos de *piping* de processo para infraestruturas industriais.

Palavras-chave: Gestão de projeto, Gestão do Risco, Engenharia, Lógica Difusa, *Piping*

ABSTRACT

An awareness for the inevitability of the risk must always be present when addressing any project. This mindset of not losing track of the involved risks must be constant throughout the life cycle of a project. In a procedural approach to project management, always should integrate risk management into the various phases of this process. In turn, risk management, is itself a process in which, among other steps, a precise risk assessment is the core to effective management.

In this context, a model of risk assessment in project management was developed, based on fuzzy inference systems. Fuzzy logic meets several links to the domain of risk. It is shown tolerable with uncertain and inaccurate information, characteristic of human reasoning and decision, thus adequate to deal with the imprecision often associated to the perception and characterization of a risk.

The applicability of this tool in the scope of the engineering projects is tested in the case study, in which are considered characteristic risks of process piping projects for industrial facilities.

Key words: Project management, Risk management, Engineering, Fuzzy Logic, Piping

GLOSSÁRIO

CVP	Ciclo de Vida do Projeto
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
ISO	<i>International Organization of Standards</i>
MPI	Matriz de Probabilidade e Impacto
SID	Sistema de Inferência Difusa
P	Probabilidade
IA	Impacto no âmbito
IT	Impacto no tempo
IC	Impacto no custo
IQ	Impacto na qualidade
DC	Deteção/Controlo
RA	Nível de risco primário sobre o âmbito
RT	Nível de risco primário sobre o tempo
RC	Nível de risco primário sobre o custo
RQ	Nível de risco primário sobre a qualidade
NRA	Nível de risco sobre o âmbito
NRT	Nível de risco sobre o tempo
NRC	Nível de risco sobre o custo
NRQ	Nível de risco sobre a qualidade
NR	Nível de risco agregado
CD	Conjunto Difuso
FP	Função de Pertença
ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Enquadramento.....	1
1.2.	Motivações	1
1.3.	Objetivos	1
1.4.	Metodologia.....	2
1.5.	Caso de estudo.....	2
1.6.	Estrutura	2
2	GESTÃO DO RISCO EM PROJETOS.....	5
2.1.	Gestão de projetos	5
2.1.1.	Definição de projeto.....	5
2.1.2.	Ciclo de vida do projeto	7
2.1.3.	A gestão de projeto e o gestor de projeto	9
2.2.	Gestão do risco	10
2.2.1.	Definição de risco	10
2.2.2.	Porque a gestão do risco?.....	12
2.2.3.	Gestão do risco em projetos	13
2.3.	Processo da gestão do risco	15
2.3.1.	Planeamento.....	17
2.3.2.	Identificação de riscos.....	18
2.3.3.	Avaliação do Risco	19
2.3.4.	Tratamento do risco	24
2.4.	Técnicas para a gestão do risco	25
3	LÓGICA DIFUSA	29
3.1.	Conceito.....	29
3.2.	Enquadramento histórico.....	31
3.3.	Definição	32
3.4.	Variáveis linguísticas	33
3.5.	Sistemas de Inferência Difusa (SID)	33
3.5.1.	Conjuntos Difusos.....	37
3.5.2.	Funções de pertença.....	38
3.5.3.	Regras de inferência.....	41
3.5.4.	<i>Desfuzificação</i>	43
4	MODELO SID-AR.....	47
4.1.	Gestão do risco Vs. Lógica difusa.....	47
4.2.	Arquitetura do modelo.....	49
4.3.	Descrição de variáveis	54
4.3.1.	Variáveis de entrada.....	54
4.3.2.	Variáveis de saída	57
4.4.	Processo.....	58
4.5.	Análise de dados.....	61
4.6.	Inferência Difusa	61
4.6.1.	Identificação de variáveis.....	62
4.6.2.	Conjuntos difusos e funções de pertença	64
4.6.3.	Regras de inferência difusa	67

4.6.4.	Simulação do sistema	69
4.7.	Tratamento de dados	73
4.7.1.	Operação de agregação.....	74
4.7.2.	Multiplicidade de resultados.....	75
5	APLICAÇÃO DO MODELO – CASO DE ESTUDO.....	81
5.1.	<i>Piping</i> de processo.....	81
5.2.	Projetos de <i>piping</i> (<i>Piping design</i>)	82
5.3.	Riscos no <i>piping design</i>	88
5.4.	Aplicação do modelo.....	89
5.4.1.	Objetivos	89
5.4.2.	Recolha de inputs	90
5.4.3.	Processamento	90
5.4.4.	Exemplificação	91
5.4.5.	Resultados	93
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
6.1.	Conclusões principais.....	97
6.2.	Melhorias futuras.....	98
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tarefas específicas para a definição de um projeto	6
Figura 2.2 – CVP típico	7
Figura 2.3 – Processo de Gestão de Projeto.....	9
Figura 2.4 – Incerteza e Risco.....	12
Figura 2.5 – Inevitabilidade do risco e a sua gestão	13
Figura 2.6 – Variação dos riscos e incertezas e custo das mudanças ao longo do tempo do projeto	14
Figura 2.7 – Processo de gestão do risco ISO/IEC 31010	16
Figura 2.8 – Processo de gestão do risco	17
Figura 2.9 – Matriz de Probabilidade e Impacto.....	20
Figura 2.10 – Simulação Risco-Custo	21
Figura 2.11 – Processo de decisão perante o risco.....	22
Figura 2.12 – Estratégias perante o risco.....	23
Figura 3.1 – Lógica booleana vs. Lógica difusa	29
Figura 3.2 – Figura alusiva a conjuntos difusos	30
Figura 3.3 – Figura alusiva aos graus de pertença	31
Figura 3.4 – Processo de Inferência Difusa – Caso genérico.....	34
Figura 3.5 – Arquitetura de Sistema de Inferência Difusa.....	35
Figura 3.6 – Variação <i>Inputs</i>	36
Figura 3.7 – Variação <i>Outputs</i>	36
Figura 3.8 – Função linear triangular.....	38
Figura 3.9 – Função linear trapezoidal	38
Figura 3.10 – Função gaussiana simples.....	38
Figura 3.11 – Função <i>gaussiana</i> composta.....	38
Figura 3.12 – Função <i>generalized bell</i>	39
Figura 3.13 – Função sigmóide.....	39
Figura 3.14 – Diferença de sigmóides	39
Figura 3.15 – Produto de sigmóides	39
Figura 3.16 – Funções polinomiais.....	40
Figura 3.17 – Funções de pertença dos inputs	40
Figura 3.18 – Funções de pertença dos outputs	41
Figura 3.19 – Processo de Inferência Difusa – Caso específico	42
Figura 3.20 – Matriz <i>input-output</i>	42
Figura 3.21 – Resultados de um sistema de controlo difuso.....	45
Figura 4.1 – Níveis de risco	50
Figura 4.2 – Impactos sobre projeto	51
Figura 4.3 – Níveis hierárquicos do modelo proposto	52
Figura 4.4 – Pirâmide hierárquica dos níveis de risco	52
Figura 4.5 – Esquema elementar do modelo.....	54
Figura 4.6 – Processo de avaliação do risco do modelo	60
Figura 4.7 – Esquematizada da aplicação do SID1.....	63
Figura 4.8 – Função triangular.....	64
Figura 4.9 – FP dos CD para Probabilidade	66
Figura 4.10 – FP dos CD para Impacto.....	66
Figura 4.11 – FP dos CD para Detecção/Controlo	66
Figura 4.12 – FP dos CD para Nível de Risco Primário	67
Figura 4.13 – FP dos CD para Nível de Risco Integrado.....	67
Figura 4.14 – Sistema Mamdani para o SID1	70

Figura 4.15 – Sistema Mamdani para o SID2	70
Figura 4.16 – Caracterização das FP de entrada.....	71
Figura 4.17 – Caracterização das FP de saída	71
Figura 4.18 – Introdução das regras de inferência difusa no Rule Editor	71
Figura 4.19 – Superfície SID1	72
Figura 4.20 – Superfície SID2.....	72
Figura 4.21 – Introdução das regras de inferência difusa no Rule Viewerr	73
Figura 4.22 – Fluxograma de exemplo de aplicação	76
Figura 4.23 – Fase 1 de exemplo de aplicação.....	77
Figura 4.24 – Fase 2 de exemplo de aplicação.....	77
Figura 4.25 – 1ª agregação da fase 3 de exemplo de aplicação.....	78
Figura 4.26 – 2ª agregação da fase 3 de exemplo de aplicação.....	78
Figura 5.1 – Piping de processo	81
Figura 5.2 – Refinaria de Jamnagar.....	82
Figura 5.3 – Design no ciclo de vida de um projeto.....	82
Figura 5.4 – Processo piping design.....	83
Figura 5.5 – Isométrica para execução de tubagem.....	84
Figura 5.6 – Tubagem em modelação 3D	85
Figura 5.7 – Tubagem e outros componentes em modelação 3D.....	86
Figura 5.8 – Modelo 3D de parte de um projeto de uma refinaria	86
Figura 5.9 – Isométrica para execução de tubagem.....	87
Figura 5.10 – Processamento do SID-AR no caso de estudo	90
Figura 5.11 – Função triangular para P “Ocasional”	92
Figura 5.12 – Função triangular para IA “Marginal”	92
Figura 5.13 – Operação no Rule Viewer do Fuzzy Logic Designer.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – “The six W’s”	7
Tabela 2.2 – Fases, etapas e passos do Ciclo de Vida do Projeto (CVP).....	8
Tabela 2.3 – Eventos de risco típicos por fase do CVP	19
Tabela 2.4 – Técnicas de Avaliação de Riscos	25
Tabela 2.5 – Técnicas para Gestão do Risco.....	26
Tabela 3.1 – Variáveis de entrada – Temperatura.....	37
Tabela 3.2 – Variáveis de saída – Velocidade	37
Tabela 4.1 – Aplicações da lógica difusa na modelação do risco	49
Tabela 4.2 – Descrição das categorias de impacto.....	51
Tabela 4.3 – Variáveis elementares do modelo para cada evento de risco	53
Tabela 4.4 – Variáveis linguísticas para a probabilidade.....	55
Tabela 4.5 – Variáveis linguísticas por categoria de impacto.....	55
Tabela 4.6 – Variáveis linguísticas para a deteção/controlo	57
Tabela 4.7 – Variáveis linguísticas para os níveis de risco.....	57
Tabela 4.8 – Variáveis por SID.....	62
Tabela 4.9 – Caracterização das variáveis de entrada.....	65
Tabela 4.10 – Caracterização das variáveis de saída	65
Tabela 4.11 – Matriz de risco para SID1	68
Tabela 4.12 – Matriz de risco para SID2	68
Tabela 4.13 – Níveis de risco para SID1.....	69
Tabela 4.14 – Níveis de risco para SID2.....	69
Tabela 5.1 – Riscos no <i>piping design</i>	89
Tabela 5.2 – Formulário de recolha de <i>inputs</i>	90
Tabela 5.3 – Risco 1: <i>Over-engineering</i>	94
Tabela 5.4 – Risco 2: Aplicação de materiais não facilmente disponíveis <i>on site</i>	94
Tabela 5.5 – Risco 3: Dano nas tubuladuras dos equipamentos	95
Tabela 5.6 – Risco 4: Baixa <i>flow efficiency</i>	95
Tabela 5.7 – Níveis de risco calculados.....	96

1 INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O presente documento constitui uma dissertação de natureza científica que integra um registo escrito sobre o trabalho desenvolvido pelo seu autor e versa sobre o tema: A gestão do risco em gestão de projetos. Caso de estudo.

1.2. Motivações

A necessidade para avaliação do risco é hoje transversal a todas as organizações e contextos. Ter uma perceção dos riscos, conseguir avaliá-los e posteriormente dar-lhes o devido tratamento de uma forma eficiente, é fulcral para se conseguir resultados de qualidade. Tudo isto num contexto de competitividade que não permite o desperdício de recursos e exige que essa qualidade seja atingida de uma forma eficaz e eficiente.

No âmbito da engenharia o panorama é igualmente exigente e a gestão do risco não pode, nos dias de hoje, ser desprezada pelas organizações que ambicionam marcar posição neste sector.

Apesar de a gestão do risco na gestão de projeto estar exaustivamente estudada e publicada, o seu enquadramento específico aos projetos de engenharia, não está devidamente estandardizado e é exigido às próprias organizações deste âmbito que façam esse enquadramento, o que nem sempre está ao seu alcance. Torna-se assim um processo independente e ambíguo, e também exigente e dispendioso, o que pode pôr em causa os resultados expectáveis.

Assim, a principal motivação deste documento é dar um contributo para o enquadramento da gestão do risco na gestão de projetos de engenharia.

1.3. Objetivos

Assim, para se responder às motivações anteriormente descritas, constituem os objetivos da presente dissertação:

- Enquadrar a gestão do risco da gestão de projetos no âmbito dos projetos de engenharia.
- Aprofundar os conceitos chave: Gestão do Risco, Gestão de Projeto e Lógica Difusa

- Desenvolver um modelo de auxílio à avaliação do risco na gestão de projeto, com base num sistema de inferência difusa.
- Aplicar a metodologia num caso de estudo, no contexto dos projetos de engenharia, em que se utilize a ferramenta desenvolvida sobre riscos concretos identificados e que resulte na obtenção de resultados devidamente tratáveis e de interessa à gestão de projeto.

1.4. Metodologia

Esta dissertação de cariz científico descreve o trabalho desenvolvido para se alcançar os objetivos propostos. A metodologia aplicada para o desenvolvimento do tema seguiu um processo de consulta e análise a bibliografia de referência, desenvolvimento dos conceitos chave de forma e apresentá-los de forma sintética e devidamente enquadrada, proposta de um modelo exploratório e sequente sua aplicação num caso de estudo.

Finalmente, a sua apresentação é devidamente relatada de forma sintetizada e estruturada, no presente documento, também com o auxílio a figuras, tabelas e fluxogramas que permitam uma transmissão visual dos conteúdos.

1.5. Caso de estudo

O caso de estudo desenvolvido pretende aplicar a gestão do risco em gestão de projetos no âmbito da realização de projetos de engenharia, concretamente em projetos de *piping* de processo, para infraestruturas industriais.

Pretendendo-se avaliar os riscos inerentes aos projetos destas infraestruturas, com enfoque nos riscos associados às variáveis e decisões tomadas na fase de conceção (*design*). Desenvolvendo-se um modelo de auxílio à avaliação do risco na gestão destes projetos.

1.6. Estrutura

Este documento procura relatar o trabalho desenvolvido segundo a metodologia referida. Procura-se que o seu conteúdo esteja sequenciado, segundo a ordem como o estudo foi desenvolvido, assim, da sua leitura, espera-se que transmita de uma forma clara e fluente o raciocínio aplicado na sua execução.

Assim nos capítulos 2 e 3, desenvolvem-se os principais conceitos chave com base na pesquisa bibliográfica. Posteriormente, no capítulo 4, são pormenorizadamente expostas

as características do modelo desenvolvido, para ser aplicado no caso de estudo, no capítulo 5.

Por fim, no capítulo 6, são feitas considerações finais, onde se expõem as principais conclusões retiradas e se propõem trabalhos futuros que tragam melhorias e maior validação ao modelo proposto.

Faz ainda parte deste documento, quatro anexos onde são incorporados conteúdos de interesse relevante à compressão do documento e das suas temáticas.

Para uma melhor compreensão dos constituintes deste documento e do seu conteúdo, a análise dos elementos descritivos deve ser feita na sua totalidade e de forma integral.

2 GESTÃO DO RISCO EM PROJETOS

2.1. Gestão de projetos

2.1.1. Definição de projeto

“Things do not happen. Things are made to happen.”

John F. Kennedy

Numa primeira fase, de procura de definição dos temas chave para a presente dissertação, procurou-se clarificar a definição de projeto para o contexto da gestão do risco. Esta definição constitui a base fundamental de tudo o que se segue.

Para o *Project Management Institute (PMI)* um projeto é uma atividade temporária com o objetivo de criar um produto, serviço ou resultado [1].

O cariz temporário indica que um projeto terá um início e um fim definidos, o que constituem os seus limites temporais. O fim verifica-se quando os objetivos do projeto são alcançados ou quando este é finalizado sem que estes sejam atingidos. A situação de um término de projeto sem os seus objetivos alcançados pode ocorrer porque: os seus objetivos não podem ser cumpridos, a necessidade do projeto deixou de existir ou por decisão das partes interessadas (*stakeholders*¹) [1].

No âmbito da gestão de projeto, o domínio dos objetivos de um projeto é bastante vasto, podendo constituir [1]:

- Um produto que pode ser: um componente de um outro, um aperfeiçoamento de um item, ou um produto final em si mesmo;
- Um serviço ou a capacidade de executar um serviço;
- Uma melhoria de produtos ou serviços existentes;
- Um resultado, tal como um efeito/consequência ou documento.

Para além dos aspetos anteriormente referidos, *Kerzner, H.*, na sua definição de projeto, refere ainda que um projeto tem (geralmente) limitações de orçamento e consome recursos (humanos e não-humanos) [2], que constituem variáveis de gestão importantes na gestão de projeto.

¹ O termo *stakeholder* será usado para referir um indivíduo ou entidade que é parte interessada de algo, neste caso concreto, de um projeto.

Como se entente, o conceito de projeto é bastante lato e ambíguo. No entanto, para a gestão de um projeto ser possível, é necessária uma definição bastante precisa de todas os aspetos que caracterizem um projeto.

Chapman, C. e Ward, S. [3] caracterizam a fase de definição de um projeto introduzindo a seguinte estrutura de tarefas (Figura 2.1):

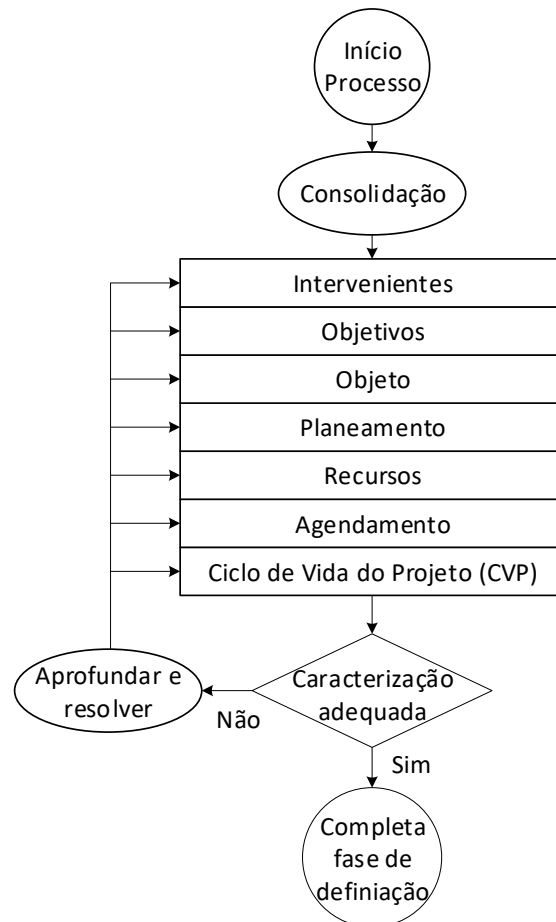


Figura 2.1 – Tarefas específicas para a definição de um projeto
(Fonte: Adaptado de [3])

Segundo o processo retratado na Figura 2.1, a aceção de um projeto envolve sete passos para a sua definição. Assim, nos primeiros seis, para o projeto em causa são definidos: os Intervenientes, os Objetivos, o Objeto, o Planeamento, os Recursos e o Agendamento. Seguindo-se de um sétimo passo onde será caracterizado o Ciclo de Vida do Projeto (CVP). Os mesmos autores introduzem “Os seis W” (“*The six Ws*”) (Tabela 2.1, página 7), que constitui seis questões básicas que consideram fundamentais para a definição de um projeto, em que cada está associada a cada um dos seis passos de definição anteriormente esquematizados [3]:

Tabela 2.1 – “The six W’s”

W	Questão	Passo de definição
1. <i>Who</i> (Quem)	Quem são os intervenientes?	Intervenientes
2. <i>Why</i> (Porquê)	Com que motivações?	Objetivos
3. <i>What</i> (O quê)	O que é que procuram?	Objeto
4. <i>Wichway</i> (Como)	Como será conseguido?	Planeamento
5. <i>Wherewithal</i> (Com)	Com que recursos?	Recursos
6. <i>When</i> (Quando)	Quando será feito?	Agendamento

(Fonte: Adaptado de [3])

2.1.2. Ciclo de vida do projeto

O Ciclo de Vida do Projeto (CVP) refere-se à série de fases que um projeto transpõe desde o seu início até ao seu término. Os projetos variam no seu tamanho e complexidade, no entanto, de uma forma genérica, seguem estrutura de ciclo de vida representada na Figura 2.2 [1].

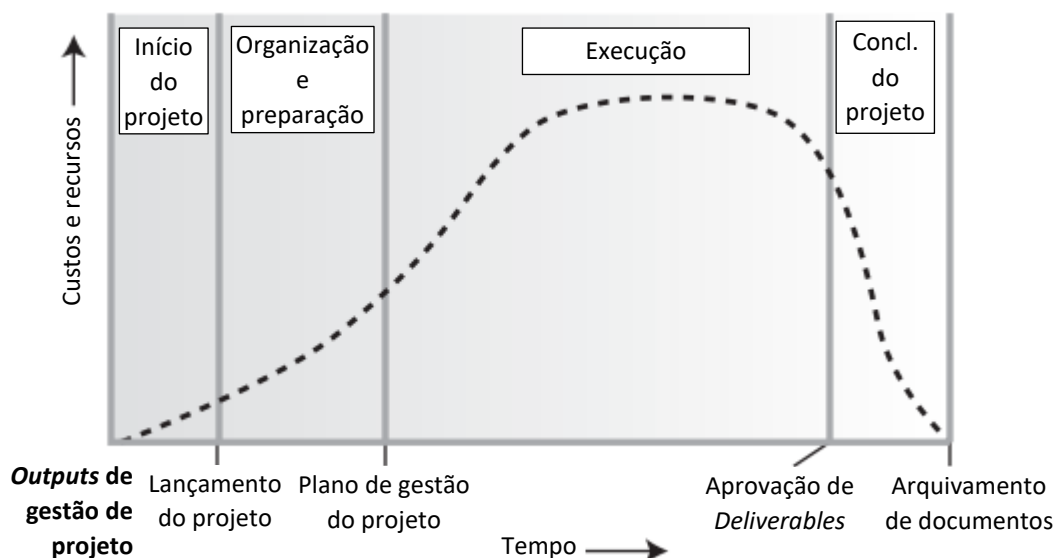


Figura 2.2 – CVP típico
(Fonte: Adaptado de [1])

As fases de um projeto são, geralmente, sequenciais, e os seus nomes e número são definidas por: necessidades de gestão e controlo da organização ou organizações envolvidas no projeto, a natureza do projeto em si e a sua área de aplicação. As fases podem ser delimitadas por: objetivos funcionais ou parciais, resultados ou produtos intermédios, metas específicas no âmbito global do trabalho, ou recursos financeiros. As

fases têm geralmente um tempo limitado, com um início e término ou pontos de controlo definidos [1].

As quatro fases que se distinguem na Figura 2.2 (página 7) serão coincidentes às quatro fases da caracterização do CVP exposta por *Chapman, C. e Ward, S.* [3]: Conceptualização, Planeamento, Execução e Conclusão. Os mesmos autores aprofundam o CVP decompondo estas quatro fases em oito etapas que, por sua vez, se processam em vários passos (Tabela 2.2):

Tabela 2.2 – Fases, etapas e passos do Ciclo de Vida do Projeto (CVP)

Fases	Etapas	Passos
Conceptualização	Conceber (o produto)	Evento impulsionador Captação do conceito Clarificação de objetivos Elaboração do conceito Avaliação do conceito
Planeamento	Projetar (o produto estrategicamente)	Projeto base Desenvolvimento de critérios de performance Projeto detalhe Avaliação do projeto
	Planear (a execução estrategicamente)	Atividades base e planeamento de recursos Desenvolvimento de metas e objetivos Desenvolver planificação Avaliação da planificação
	Distribuir (os recursos taticamente)	Projeto base e detalhe de planeamento de atividades Desenvolvimento de critérios de distribuição Alocação de recursos Avaliação da alocação
Execução	Executar (produção)	Coordenação e supervisão Monitorização do progresso Reajustamento de metas e objetivos Reajustamento da alocação de recursos Avaliação da supervisão
Conclusão	Entregar (o produto)	Verificação de entrega Modificação de entrega Ajuste de critérios de performance Avaliação de entrega
	Rever (o processo)	Revisão básica Desenvolvimento de revisão Avaliação da revisão
	Manter (o produto)	Manutenção básica e perceção de fiabilidade Desenvolvimento de critérios de manutenção Desenvolvimento da perceção de manutenção Avaliação da manutenção

(Fonte: Adaptado de [3])

Como será referido de seguida o CVP, e a sua definição, constitui uma ferramenta fundamental para a gestão de um projeto.

2.1.3. A gestão de projeto e o gestor de projeto

Tendo sido clarificada a definição de um projeto e do seu ciclo de vida, torna-se mais evidente a definição da gestão de projeto. Segundo o *PMBOK* esta é definida como a aplicação de conhecimento, aptidões, ferramentas e técnicas às atividades de um projeto para atender os seus requisitos [1]. Nesta referência, a gestão de projeto é caracterizada por um processo geral que integra os cinco grupos presentes na Figura 2.3.

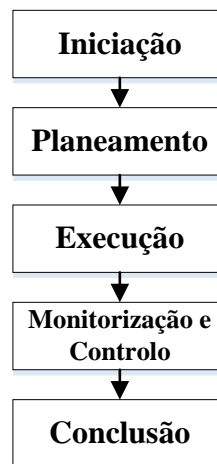


Figura 2.3 – Processo de Gestão de Projeto

Numa primeira análise, os grupos deste processo de gestão de projeto, parecem coincidir com as fases do CVP, discriminadas na Tabela 2.2 (página 8), no entanto, essa correspondência é ilusória. De facto, pode ocorrer que todos os grupos do processo possam ser realizados numa só fase do CVP, ou mesmo, estes poderão ser repetidos nas várias etapas ou passos. É a aplicação certa destes processos que assegura o fluxo eficaz do projeto ao longo do seu ciclo de vida [1].

Assim, todas as atividades compreendidas neste processo compreendem a gestão de um projeto. São da responsabilidade de um interveniente *pivot* que é o Gestor de Projeto. Este *stakeholder* tem como desígnio o sucesso do projeto. O sucesso de um projeto pode ser definido como a sua conclusão [2]:

- Dentro do período de tempo estimado
- Dentro dos custos orçamentados
- Com o adequado desempenho ou nível de especificação
- Com a aceitação pelo cliente / usuário
- Com mínimo de alterações ao objetivo do projeto
- Sem perturbar o *workflow* principal da organização
- Sem alterar a cultura corporativa da organização

No *PMBOK*, e na generalidade da bibliografia de referência, a gestão de projeto é abordada na forma de processos. Nesta abordagem a gestão de projeto é conseguida através da aplicação e integração adequada de vários processos, agrupados em dez Áreas de Conhecimento. Cada área de conhecimento representa um conjunto de conceitos, termos e atividades de uma área profissional, área de gestão de projeto, ou área de especialização [1].

As dez áreas de conhecimento identificadas no *PMBOK* são:

- Gestão da Integração
- Gestão de Objetivos
- Gestão do Tempo
- Gestão de Custos
- Gestão da Qualidade
- Gestão de Recursos Humanos
- Gestão de Riscos
- Gestão de *Procurement*
- Gestão de *Stakeholders*

Destas dez áreas realça-se a gestão de riscos, objeto desta dissertação, como uma das áreas de gestão relevantes para a gestão de projetos.

2.2. Gestão do risco

2.2.1. Definição de risco

“The biggest risk is not taking any risk... In a world that changing really quickly, the only strategy that is guaranteed to fail is not taking risks.”

Mark Zuckerberg

De senso comum, a primeira perceção de risco está associada à interação intencional com a incerteza e ao potencial desta incorrer na perda de algo de valor. Em que valor pode estar associado a: bens materiais, saúde, estados sociais, emocionais e financeiros, etc.

Assim, “risco”, terá forçosamente diferentes definições mediante o contexto ou âmbito de abordagem.

Na área financeira, o risco é associado à oportunidade de que o retorno alcançado num investimento seja diferente do esperado. Tem em conta a dimensão desta diferença e

inclui a possibilidade de ganho ou perda, em parte ou na totalidade, do investimento inicial [4].

Para as seguradoras, o risco é visto como a situação em que a probabilidade de uma ocorrência (por exemplo, de um incêndio) é conhecida, mas, o modo como ocorre e o valor atual associado à ocorrência, não é conhecido [4].

A OHSAS (*Occupational Health & Safety Advisory Services*) define risco como a combinação entre a probabilidade da ocorrência de um evento perigoso, com a severidade do evento [5], isto no âmbito da Higiene e Segurança no Trabalho.

Na saúde o risco está associado a qualquer situação que aumente a probabilidade de ocorrência de uma doença ou dano à saúde. Nesta área o risco é, popularmente, indissociável do perigo de doença.

Neste contexto, em 2009, surge a família de normas 31000, pelo *International Organization of Standards* (ISO), associadas à Gestão de Riscos e que propõe uma mudança de paradigma quanto a esta multiplicidade de conceitos. Segundo a terminologia apresentada no *ISO Guide 73* (constante na referida família normativa), a definição de risco não é mais o acaso ou a probabilidade da perda, mas o “efeito da incerteza sobre os objetivos” [6].

Esta definição que aparenta ser curta e ambígua, ao ser analisada de uma forma mais aprofundada, revela conter toda a informação necessário para se entender o conceito de risco. Enumera-se alguns conceitos chave deste documento [6]:

- Risco: “Efeito da incerteza sobre os objetivos”
- Efeito: “...desvio do esperado – positivo e/o negativo”
- Incerteza: “Estado, mesmo parcial, de deficiência de informação, entendimento ou conhecimento sobre um evento, suas consequências ou probabilidade”

Nesta definição, as incertezas incluem eventos ou ocorrências (que poderão suceder ou não) e indeterminações causadas pela ambiguidade ou falta de informação (Figura 2.4, página 12). Segundo esta abordagem, o risco engloba não só os impactos negativos, mas também, os impactos positivos sobre determinados objetivos.



Figura 2.4 – Incerteza e Risco

O *ISO Guide 73*, refere também, que o risco pode ser expresso em termos da combinação entre as consequências de um evento, ou uma alteração de circunstâncias, e a probabilidade da sua ocorrência.

Também *Kerzner, H.*, na sua definição de risco, segue uma abordagem próxima a esta, apresentando-o como uma medida da probabilidade e consequência de não se atingir um objetivo definido [2]. Neste prisma, é possível chegar-se a uma definição quantitativa de risco, se se quantificar estas duas componentes primárias de risco [2]:

- A probabilidade de ocorrência do evento
- Impacto (ou consequência) de ocorrência do evento

Conceptualmente, o risco de cada evento pode então ser definido como a função:

$$Risco = f(probabilidade, impacto)$$

Este ponto de vista, potencialmente mensurável, do risco mostrar-se-á fulcral no desenvolvimento de modelos de avaliação do risco.

2.2.2. Porque a gestão do risco?

Para a *FERMA (Federation of European Risk Management Associations)* o simples facto de existir atividade, abre a possibilidade de ocorrência de eventos ou situações cujas consequências constituem oportunidades para obter benefícios (lado positivo) ou então ameaças ao sucesso (lado negativo) [7].

Logo o risco é implícito à ação, sendo que a sua presença é inevitável. Nesta inevitabilidade, o risco deve ser avaliado, calculado, gerido e/ou minimizado (ou incrementado, segundo o prisma positivo), percebendo-se a importância da Gestão do Risco (Figura 2.5, página 13).



Figura 2.5 – Inevitabilidade do risco e a sua gestão

Para a família de normas ISO 31000 a gestão do risco é definida como “Atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que respeita ao risco” [6].

Organizações de todos os tipos e tamanhos enfrentam uma série de riscos que podem afetar a realização dos seus objetivos [8]. Assim, a gestão do risco é um elemento central na gestão da estratégia das organizações. É o processo através do qual as organizações analisam metodicamente os riscos inerentes às respetivas atividades [7], e tomam decisões auxiliares, tendo em conta a incerteza e a possibilidade de futuro eventos ou circunstâncias (intencional ou não) e seus efeitos [8], com o objetivo de atingirem uma vantagem sustentada em cada atividade individual e no conjunto de todas as atividades [7].

2.2.3. Gestão do risco em projetos

Sendo um projeto um conjunto de tarefas (atividades) encadeadas, ao longo do seu ciclo de vida, com o propósito de se atingir um determinado resultado. Perante a inevitabilidade do risco, também as atividades dos projetos e os seus objetivos estão sujeitos ao risco.

No âmbito da Gestão de Projeto, o *PMBOK*, define risco como: “...evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto...” [1].

Da definição de risco entende-se que este é um evento futuro que pode ou não ocorrer, e que se ocorrer, vai ter um impacto sobre os objetivos de um projeto.

Assim, a Gestão de Riscos é uma componente importante da Gestão de Projetos, e compreende processos de Identificação, Análise, Estimativa e Tratamento dos riscos. Os objetivos da gestão de riscos em projetos são aumentar a probabilidade e o impacto das ocorrências positivas e reduzir a probabilidade e o impacto das ocorrências negativas no projeto [1].

Os riscos positivos e negativos de um projeto são também as suas oportunidades e ameaças. As oportunidades poderão trazer benefícios, gerar proveitos e criar valor ao

projeto. As ameaças poderão trazer prejuízos, perdas de valor ou mesmo inviabilizar o seu sucesso/conclusão.

Relembrando a definição de risco, este tem a sua origem na incerteza. Sendo facilmente perceptível que a incerteza está presente em todos os projetos, pode-se referir que a gestão do risco de um projeto será, de uma forma simplista, toda a atividade de gestão da incerteza e dos seus impactos. Como se gere a incerteza? Recolhendo informação.

Recordando ainda, da definição de um projeto (ponto 2.1.1), “Os seis W” apresentados por *Chapman, C. e Ward, S.*, que constituem seis questões fundamentais para a definição de um projeto (Tabela 2.1, página 7), são, para estes autores, as raízes da incerteza de um projeto. Ou seja, as origens da incerteza (riscos) podem estender-se já desde a definição dos objetivos do projeto (*Why*) e até mesmo desde a identificação dos intervenientes (*Who*) [3]. Na primeira fase de um projeto, a conceptualização (Tabela 2.2, página 8), será quando a incerteza é maior.

Como referido antes, os riscos positivos e negativos encontram correspondência com as oportunidades e ameaças de um projeto. Logo, a gestão de riscos está também presente na análise *SWOT* de um projeto, ferramenta essencial da gestão de um projeto, logo na sua fase prematura, em que este ainda está sujeito a escrutínio e aprovação.

O *PMBOK* também faz a integração do nível de risco e os seus impactos no CVP (Figura 2.6). Os riscos e incertezas são maiores no início do projeto. Esses fatores diminuem ao longo da vida do projeto à medida que as decisões são tomadas e as etapas são concluídas [1].

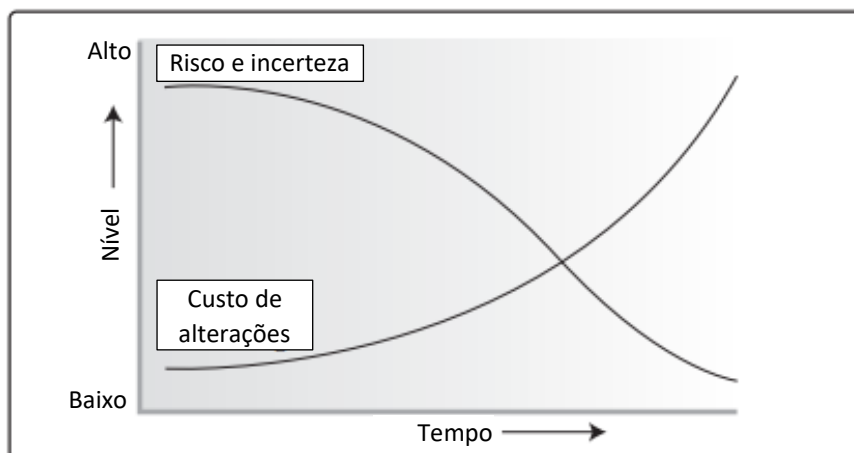


Figura 2.6 – Variação dos riscos e incertezas e custo das mudanças ao longo do tempo do projeto (Fonte: Adaptado de [1])

Revela-se assim, que a consciência para o risco e para a sua gestão tem de estar presente desde os primeiros instantes. Uma definição precisa do projeto é a primeira medida de Gestão do Risco, e para o êxito do projeto, a organização deve estar comprometida com uma abordagem proactiva e consistente da gestão dos riscos durante todo o projeto.

2.3. Processo da gestão do risco

São várias as referências bibliográficas que versam sobre o tema e fazem uma abordagem processual à gestão do risco. As várias abordagens têm vários aspetos comuns, mas cada uma apresenta as suas particularidades.

O *PMBOK* apresenta uma metodologia processual para a gestão do risco em projetos que integra seis ações [1]:

- Planeamento da Gestão do Risco
- Identificação de Riscos
- Análise Qualitativa dos Riscos
- Análise Quantitativa dos Riscos
- Planeamento de resposta aos Riscos
- Controlo do Risco

Na ISO/IEC 31010 a gestão do risco inclui a aplicação de métodos lógicos e sistemáticos para [8]:

- comunicação e consulta
- estabelecer o contexto
- avaliação dos riscos (compreendendo a identificação, análise e estimativa de riscos)
- tratamento dos riscos
- monitorização e revisão

e estrutura-se da forma representada na Figura 2.7 (página 16).

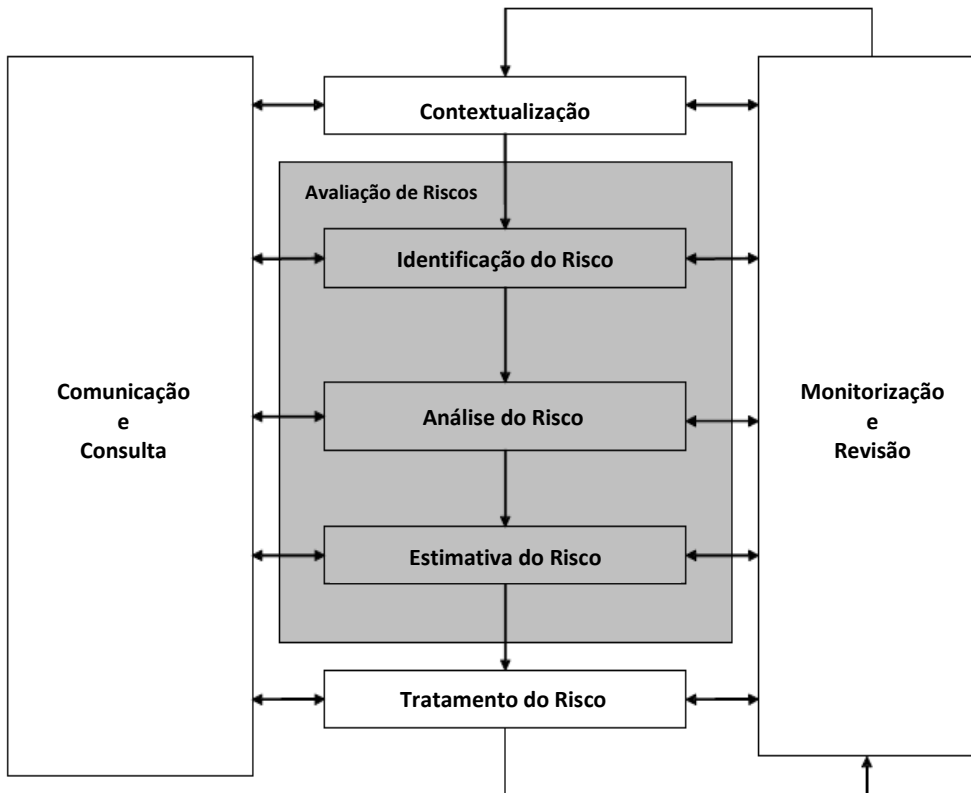


Figura 2.7 – Processo de gestão do risco ISO/IEC 31010
(Fonte: Adaptado de [8])

Neste processo destacam-se as componentes centrais da Avaliação de Riscos e que engloba a Identificação, a Análise e a Estimativa do Risco. Depois são apresentadas quatro componentes periféricas: Contextualização, Comunicação e Consulta, Monitorização e Revisão e Tratamento do Risco.

Todas estas componentes apresentam relevância para o processo, devendo haver uma total integração entre estes. No entanto para o âmbito da presente dissertação, em que será focada a avaliação e as tomadas de decisão perante os riscos, será adotado um processo simplificado (Figura 2.8, página 17), com base nos dois processos anteriormente referidos.

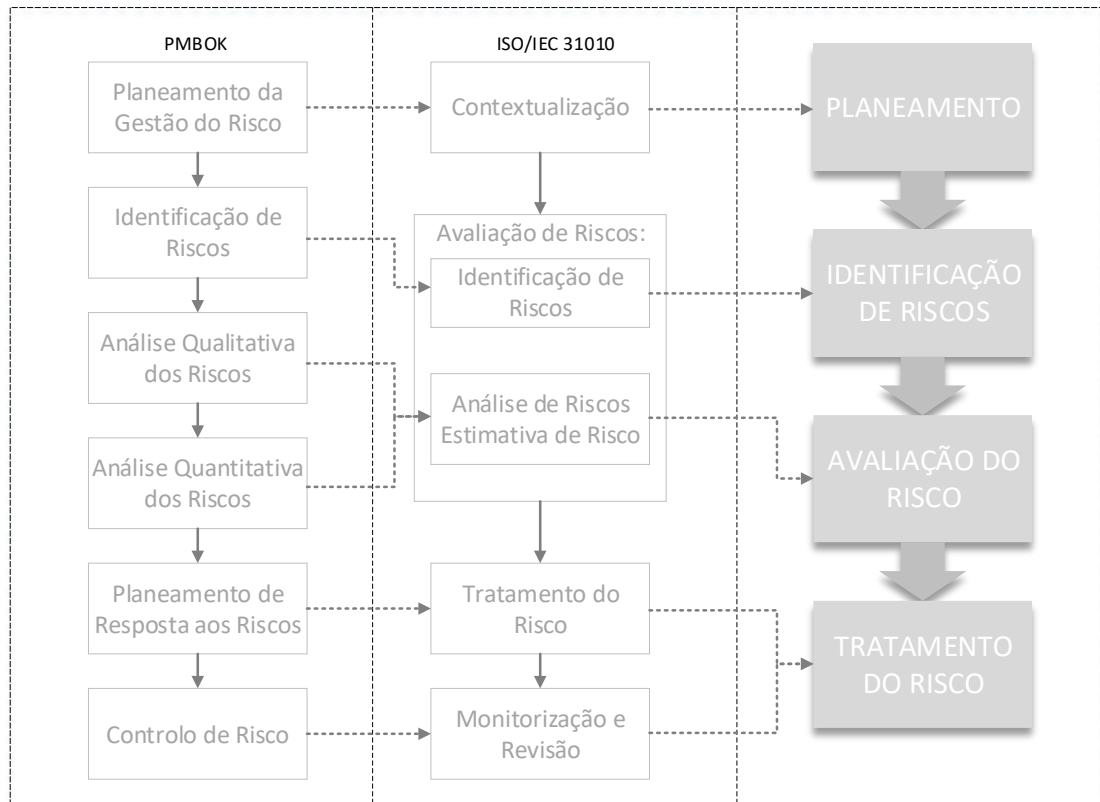


Figura 2.8 – Processo de gestão do risco

Esta metodologia adotada para suporte à presente dissertação, fornece um processo estruturado que após um planeamento da globalidade do processo, identifica como os objetivos podem ser afetados, e avalia o risco, não só em termos da sua probabilidade e consequências, mas tem também em conta a capacidade dos *stakeholders* em antever e responder ao evento de risco. Perante os resultados desta avaliação do risco, é definida a estratégia a adotar e decidido qual o tratamento do risco necessário.

No âmbito da presente dissertação, a componente central será a **Avaliação do Risco**, sendo que os *outputs* desta fase constituem informação primordial à tomada de decisões perante os riscos.

2.3.1. Planeamento

Segundo o *PMBOK*, esta primeira etapa constitui o processo de definição de como conduzir as atividades da gestão do risco num projeto [1].

Será também nesta fase que se procederá à reunião de toda a informação necessária ao processo, formalizando-se os *inputs* das etapas seguintes, de identificação e avaliação dos riscos. Tal como, definidos os parâmetros, objetivos e critérios destas e das restantes componentes do processo.

Deverá ainda ser definido todo o contexto interno e externo ao projeto. O contexto interno remete aos aspetos, apresentados no ponto 2.1.1, que definem o projeto: Intervenientes, Objetivos, Objeto, Planeamento, Recursos, Agendamento, etc. O contexto externo ao projeto, tem também relevante importância, pois é também fonte de incerteza e risco. Este envolve a familiarização com ambiente em que a organização e/ou sistema operam, que inclui fatores: culturais, políticos, jurídicos, regulamentares, financeiros, económicos [8] e do mercado e concorrência.

2.3.2. Identificação de riscos

A identificação dos riscos tem como objetivo identificar a exposição de um projeto ao elemento de incerteza [7]. Constitui um processo de encontrar, reconhecer, descrever [6] e registar riscos [8].

O propósito da identificação de riscos é identificar o que pode acontecer, ou que situações podem ocorrer, que possam derivar a realização dos objetivos do projeto. Este processo inclui a identificação das causas e fatores do risco, ocorrências, situações e circunstâncias que podem resultar num impacto sobre os objetivos e a natureza desse impacto [8].

Os métodos aplicados neste processo podem ser [8]:

- métodos baseados em factos, como por exemplo as *check-lists* e a análise de históricos;
- de abordagem processual, em que especialistas seguem um processo sistemático de identificação de riscos por meio de guias estruturados;
- técnicas de raciocínio indutivo, como a HAZOP.

Outras técnicas de suporte podem ser usadas para melhorar a precisão e eficácia na identificação de riscos, como o *brainstorming* e o método de *Delphi* [8].

Nesta fase, por questões de organização, é importante conseguir definir tipologias ou estruturar os riscos. *Kerzner, H.* propõe a identificação de riscos por fase do CVP (Tabela 2.3, página 19):

Tabela 2.3 – Eventos de risco típicos por fase do CVP

Conceptualização	Planeamento	Execução	Conclusão
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Indisponibilidade de especialistas sobre o assunto ▪ Fraca definição do problema ▪ Inexistência de estudo de viabilidade ▪ Objetivos incertos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inexistência de plano de gestão do risco ▪ Planeamento precipitado ▪ Fraca especificação ▪ Inexistência de suporte à gestão ▪ Deficiente definição de responsabilidades ▪ Equipa inexperiente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mão-de-obra não qualificada ▪ Indisponibilidade de recursos ▪ Greves ▪ Condições climatéricas ▪ Alteração de objetivos ▪ Alterações de planeamento ▪ Requisitos regulamentares ▪ Deficiência de condições de trabalho, saúde e segurança ▪ Inexistência de Sistemas de Controlo/ /Supervisão 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraca qualidade ▪ Rejeição do cliente ▪ Alterações <i>As-built</i> ▪ Problemas de <i>cash-flow</i>

(Fonte: Adaptado de [2])

2.3.3. Avaliação do Risco

Após a identificação dos riscos com que um projeto se pode deparar, pode-se então aprofundar cada um deles para se decidir o tratamento a aplicar. A fase de avaliação do risco implica a compreensão e estimativa dos diferentes riscos, de forma a classificá-los e atribuir diferentes níveis de prioridade.

Segundo *Kerzner, H.* A avaliação do risco é um processo sistemático para estimar o nível de risco para os riscos identificados e aprovados. Envolve estimar a probabilidade de ocorrência e prever o impacto do evento, e converter os resultados para um nível de risco correspondente [2].

Esta é a abordagem generalizada de muitas referências ao tema, no entanto, no contexto da presente dissertação, os parâmetros de avaliação do risco não só considerarão o

binómio probabilidade/impacto, mas, abrangerá a percepção da capacidade dos intervenientes ou organização do projeto de antever e responder devidamente ao risco.

Esta avaliação pode ter uma natureza qualitativa ou quantitativa, ou ambas. A decisão do método a aplicar, terá sido tomada durante o processo de planeamento e dependerá do nível de detalhe exigido, da informação disponível, de outros aspetos característicos do projeto em si e/ou por decisão dos *stakeholders*.

Uma abordagem qualitativa constitui um processo de priorização dos riscos, atribuindo a cada situação uma classificação indicativa da importância potencial do risco. Esta classificação dependerá do contexto (projeto) em questão, mas geralmente é feita uma atribuição por:

- **Risco alto:** O impacto sobre os objetivos é substancial, exigindo um nível de alta prioridade na abordagem da sua gestão;
- **Risco médio:** O impacto é ainda considerável, e poderá exigir uma atenção adicional na sua gestão;
- **Risco baixo:** A prioridade do seu tratamento é reduzida pois os seus impactos são mínimos. No entanto a sua “existência” não deve ser negligenciada.

Em situações particulares esta atribuição poderá ser feita com mais categorias intermédias, dependendo do grau de precisão exigido na avaliação.

A Figura 2.9 exemplifica uma avaliação qualitativa de risco com recurso a uma das ferramentas mais comuns, a Matriz de Probabilidade e Impacto (MPI).

		Impacto →			Elevado	
		A	B	C	D	E
Probabilidade ↑ Elevada	E	M	M	H	H	H
	D	L	M	M	H	H
	C	L	L	M	M	H
	B	L	L	L	M	M
	A	L	L	L	L	M

Figura 2.9 – Matriz de Probabilidade e Impacto
 Nível de risco: L-Low, M-Medium, H-High
 (Fonte: Adaptado de [2])

Quando se exige da avaliação do risco *outputs* que sejam estimativas numéricas dos impactos sobre os objetivos do projeto, proceder-se-á a uma avaliação quantitativa. Os

resultados poderão ser expressos em atributos mensuráveis como: o custo, tempo, recursos exigidos, etc.

A Figura 2.10 exemplifica o resultado de uma Simulação Risco-Custo, que ilustra a probabilidade de se atingir metas de custo específicas.

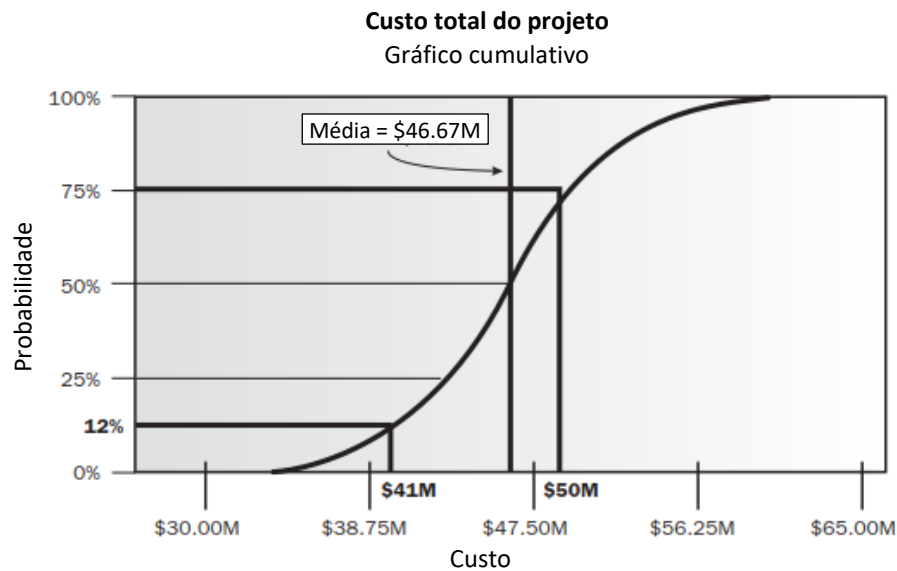


Figura 2.10 – Simulação Risco-Custo
(Fonte: Adaptado de [1])

A decisão de proceder a uma avaliação qualitativa ou quantitativa poderá ficar a dever-se a vários aspetos da gestão do risco, tais como a exigência do projeto em si, ou os recursos implicados na gestão de projeto. No entanto, esta “bipolaridade” da avaliação do risco torna-se, muitas vezes, complementar. Uma avaliação qualitativa pode ser parte integrante de um processo de avaliação quantitativa, como passo de priorização dos vários riscos. Mais concretamente, as técnicas de avaliação qualitativa são aplicadas com o objetivo de se atribuírem níveis de prioridade aos riscos, que estão, por sua vez, a ser objeto de uma avaliação do risco quantitativa.

No ponto 2.4 são enumeradas diversas técnicas que podem ser aplicadas na avaliação do risco mediante o âmbito e o contexto em que se efetua o processo.

Uma detalhada avaliação do risco terá de trazer, às partes interessadas do projeto, um completo leque de informação de auxílio às tomadas de decisão perante o risco.

Este processo ajuda à tomada de decisão sobre [8]:

- se o projeto, ou atividade particular, deve ser realizado;
- como maximizar oportunidades e/ou mitigar ameaças ao projeto;
- se os riscos devem ser tratados;
- escolha entre alternativas com diferentes riscos;
- a seleção apropriada das estratégias de tratamento do risco que trarão riscos adversos para um nível tolerável.

Após priorização dos vários riscos, e entendidas as suas probabilidades e impactos, o gestor de projeto e outros *stakeholders* poderão definir a estratégia de tratamento dos riscos a aplicar.

As conclusões da avaliação de riscos deverão constituir os *inputs* para decisões fulcrais num processo de gestão do risco. É nesta fase que as partes envolvidas, munidas desta informação relevante proveniente da avaliação do risco, tomam decisões perante os riscos identificados, delineando uma estratégia para o posterior tratamento dos riscos (Figura 2.11).

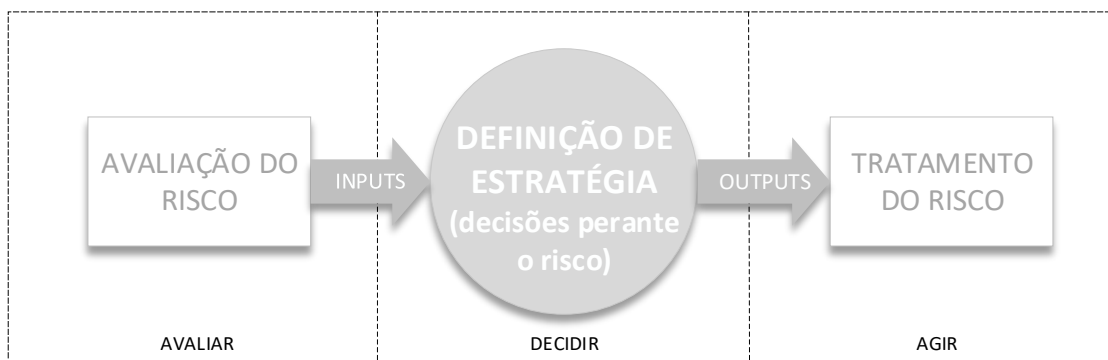


Figura 2.11 – Processo de decisão perante o risco

Na abordagem à definição do risco (ponto 2.2.1), foi realçado o facto de um risco poder ser positivo ou negativo, ou seja, constituindo, respetivamente, uma oportunidade para aprimorar os resultados, ou, uma ameaça à concretização dos objetivos pretendidos.

Segundo o *PMBOK* [1], perante uma ameaça, a estratégia de ação poderá ser a de: Prevenir, Mitigar, Transferir ou Aceitar. Perante uma oportunidade poderá ser a de: Explorar, Maximizar, Partilhar ou Aceitar (Figura 2.12, página 23).

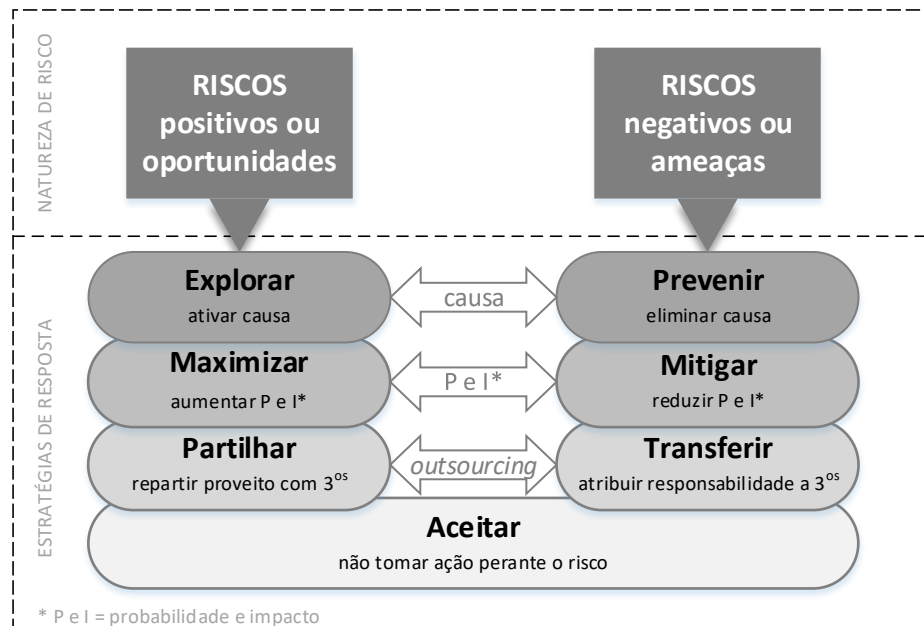


Figura 2.12 – Estratégias perante o risco

No entanto, no contexto da presente dissertação, e do processo de gestão do risco preconizado, a abordagem será exclusiva aos riscos negativos que constituem ameaças aos objetivos do projeto.

Para a mesma referência, as estratégias para os riscos negativos podem ser descritas por [1]:

- **Prevenir:** A prevenção de riscos é uma estratégia de resposta ao risco, através da qual, a equipa de projeto age para eliminar a ameaça ou proteger o projeto dos seus impactos. Implica, geralmente, mudar o planeamento de gestão do projeto de forma a eliminar inteiramente a ameaça. O gestor de projeto pode também isolar os objetivos do projeto do impacto do risco ou mudar os objetivos que estão em perigo. Exemplos disso incluem: estender o cronograma, alterar a estratégia ou reduzir o âmbito. A estratégia de prevenção mais radical é o encerramento do projeto. Alguns riscos que surgem no início do projeto podem ser prevenidos ao esclarecer os requisitos, obter informações, melhorar a comunicação ou adquirir conhecimentos especializados.
- **Mitigar:** A mitigação do risco é uma estratégia de resposta ao risco, através da qual, a equipa de projeto atua para reduzir a probabilidade de ocorrência ou o impacto de um risco. Isto implica uma redução da probabilidade, e/ou impacto de um risco adverso, para limites considerados aceitáveis. Tomar medidas precoces, para reduzir a probabilidade e/ou o impacto de um risco, é, muitas vezes, mais eficaz do que tentar reparar os danos após o risco ocorrer. A adoção de processos menos complexos, a realização de mais testes ou a escolha de fornecedores mais fiáveis, são exemplos de ações de mitigação. Quando não é possível reduzir a

probabilidade de ocorrência, uma estratégia de mitigação pode-se focar no impacto do risco, visando reduzir a sua severidade. Por exemplo, projetar a redundância de um sistema pode reduzir o impacto de uma falha da componente original.

- **Transferir:** A transferência de riscos é uma estratégia de resposta ao risco através da qual se desvia o impacto de uma ameaça para terceiros. Transferir o risco, por si só, simplesmente dá a outra(s) parte(s) a responsabilidade pela sua gestão, não o elimina. Não significa renunciar ao risco, transferindo-o para um projeto posterior ou outra entidade, sem seu conhecimento ou anuência. As ferramentas de transferência são diversas e incluem, mas não se limitam a, o uso de seguros, garantias de desempenho ou outras garantias, etc. Contratos ou acordos podem ser usados para transferir a responsabilidade de riscos específicos a outra parte. Por exemplo, quando um comprador tem capacidades que o vendedor não possui, pode ser prudente transferir, contratualmente, algum trabalho, e o seu risco correspondente, de volta ao comprador.
- **Aceitar:** A aceitação do risco é uma estratégia de resposta ao risco, através da qual, se decide reconhecer o risco e não tomar nenhuma ação, a menos que, o risco ocorra. Esta estratégia é adotada quando não é possível, ou viável, abordar um risco específico de qualquer outra forma. Esta estratégia indica que a equipa de projeto decidiu não alterar o planeamento da gestão do projeto para lidar com um risco, ou é incapaz de identificar qualquer outra estratégia de resposta adequada. Esta estratégia pode ser passiva ou ativa. A aceitação passiva não requer nenhuma ação, deixando a equipa de projeto lidar com os riscos à medida que eles ocorrem e, rever periodicamente a ameaça, para garantir que ela não muda significativamente. A estratégia de aceitação ativa mais comum é estabelecer reservas de contingência, incluindo tempo, dinheiro ou recursos para lidar com os riscos.

2.3.4. Tratamento do risco

No processo de gestão do risco preconizado (Figura 2.8, página 17) a fase do tratamento do risco corresponde à fase de ação, após as decisões tomadas (definição de estratégia). Implica implementar opções e ações de aplicação da estratégia definida, que deverão levar à concretização das intenções propostas. Mediante a estratégia definida, estas ações devem implicar colocar os riscos adversos a um nível tolerável.

Estas ações serão seguidas por um processo cíclico de reavaliação do risco a fim de decidir se tratamento adicional é necessário [8].

2.4. Técnicas para a gestão do risco

A pesquisa bibliográfica efetuada no contexto desta dissertação permitiu uma perceção do estado de arte respeitante a ferramentas existentes para o auxílio à avaliação do risco. Da pesquisa e análise a vários documentos de referência no contexto da gestão do risco, realça-se a norma ISO/IEC 31010:2009 – “*Risk management – Risk assessment techniques*”.

A norma define um conjunto de 31 técnicas capazes de auxiliar a avaliação do risco num processo de gestão do risco. Sendo uma norma genérica, que se pretende aplicável a diversos contextos e aplicações, as técnicas referidas são aplicáveis no âmbito da gestão de projeto. As 31 técnicas são enumeradas na Tabela 2.4. No Anexo I são apresentados diversos atributos que caracterizam cada uma destas técnicas.

Tabela 2.4 – Técnicas de Avaliação de Riscos

1	<i>Brainstorming</i>	17	<i>Cause-and-effect analysis</i>
2	<i>Structured or semi-structured interviews</i>	18	<i>Layer protection analysis (LOPA)</i>
3	<i>Delphi</i>	19	<i>Decision tree</i>
4	<i>Check-lists</i>	20	<i>Human reliability analysis</i>
5	<i>Primary hazard analysis</i>	21	<i>Bow tie analysis</i>
6	<i>Hazard and operability studies (HAZOP)</i>	22	<i>Reliability centered maintenance</i>
7	<i>Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)</i>	23	<i>Sneak circuit analysis</i>
8	<i>Environmental risk assessment</i>	24	<i>Markov analysis</i>
9	<i>Structure «What if?» (SWIFT)</i>	25	<i>Monte Carlo simulation</i>
10	<i>Scenario analysis</i>	26	<i>Bayesian statistics and Bayes Nets</i>
11	<i>Business impact analysis</i>	27	<i>FN curves</i>
12	<i>Root cause analysis</i>	28	<i>Risk indices</i>
13	<i>Failure mode effect analysis</i>	29	<i>Consequence/probability matrix</i>
14	<i>Fault tree analysis</i>	30	<i>Cost/benefit analysis</i>
15	<i>Event tree analysis</i>	31	<i>Multi-criteria decision analysis</i>
16	<i>Cause and consequence analysis</i>		

(Fonte: Referência [8])

Cagliano, A. C. et al [9] apresenta um interessante estudo para a escolha de técnicas de gestão do risco em projeto, onde é feito um enquadramento teórico com base na revisão

bibliográfica de diversos autores que desenvolveram ferramentas para este âmbito. A Tabela 2.5 enumera as técnicas apresentadas nesse documento e a respectiva referência.

Tabela 2.5 – Técnicas para Gestão do Risco

Nº	Técnica	Referência
1	<i>Brainstorming</i>	<i>Chapman and Ward, 2003</i>
2	<i>Cause and effect diagram or Cause Consequence Analysis (CCA)</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
3	<i>Change Analysis (ChA)</i>	<i>Mullai, 2006</i>
4	<i>Checklist</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
5	<i>Decision Tree Analysis</i>	<i>Lyons and Skitmore, 2004</i>
6	<i>Delphi</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
7	<i>Event and Causal Factor Charting (ECFCh)</i>	<i>Mullai, 2006</i>
8	<i>Event Tree Analysis (ETA)</i>	<i>Mullai, 2006</i>
9	<i>Expected Monetary Value (EMV)</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
10	<i>Expert Judgement</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
11	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	<i>Eidesen, Sollid and Aven, 2009</i>
12	<i>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</i>	<i>Bouti and Kadi, 1994</i>
13	<i>Failure Mode and Effects Criticality Analysis (FMECA)</i>	<i>Bouti and Kadi, 1994</i>
14	<i>Fuzzy Logic</i>	<i>Bellagamba, 1999</i>
15	<i>Hazard and Operability (HAZOP)</i>	<i>Kletz, 1999</i>
16	<i>Hazard Review (HR)</i>	<i>Mullai, 2006</i>
17	<i>Human Reliability Assessment (HRA)</i>	<i>Lyons et al., 2005</i>
18	<i>Incident Reporting (IR)</i>	<i>Cinotti, 2004</i>
19	<i>Interviews</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
20	<i>Monte Carlo</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
21	<i>Pareto Analysis (PA) or ABC analysis</i>	<i>Rebernik and Bradač, 2008</i>
22	<i>Preliminary Hazard Analysis (PHA)</i>	<i>Adler et al., 2003</i>
23	<i>Risk Breakdown Matrix (RBM)</i>	<i>Hillson, Grimaldi and Rafele, 2006</i>
24	<i>Risk Breakdown Structure (RBS)</i>	<i>Hillson, 2002</i>
25	<i>Risk Mapping, Risk Matrix, Probability and Impact Matrix</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>
26	<i>Risk Probability and Impact Assessment, Risk Ranking/Risk Index</i>	<i>Project Management Institute, 2008</i>

27	<i>Sensitivity analysis</i>	<i>Chapman and Ward, 2003</i>
28	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)</i>	<i>Emblemsvåg and Kjølstad, 2002</i>
29	<i>SWIFT Analysis</i>	<i>Mullai, 2006</i>
30	<i>What-if Analysis</i>	<i>Mullai, 2006</i>
31	<i>“5 Whys” Technique</i>	<i>Mullai, 2006</i>

(Fonte: Referência [9])

Do levantamento ao estado de arte, no que respeita às ferramentas para avaliação do risco, percebe-se que este domínio é vasto e variado. Para a presente dissertação, será feito recurso a algum dos métodos anteriormente referidos. No entanto o modelo desenvolvido e apresentado nos próximos capítulos, terá como pilar fundamental a aplicação da Lógica Difusa no desenvolvimento de um modelo de auxílio à avaliação do risco na gestão de projetos.

No ponto 3, o domínio da lógica difusa será escrutinado, mas nesta fase, mostra-se oportuno enumerar as propriedades da lógica difusa que fundamentaram a sua aplicação:

- A teoria dos conjuntos difusos é considerada como uma das ferramentas mais eficientes para descrever e manipular informações incertas e imprecisas do mundo real e do pensamento humano.
- A lógica difusa aplica a matemática ao domínio da incerteza, que por sua vez está diretamente associado ao risco.
- Tolerável com informação imprecisa, logo mostra-se adequado para lidar com a imprecisão frequentemente associada à percepção da probabilidade e das consequências de um risco.
- Em muitas análises do risco não se dispõem de dados históricos que permitam um estudo baseado em dados estatísticos (informação concreta). Logo, muitos modelos, têm como *inputs* a recolha de opinião de especialistas, com base no seu conhecimento e experiência, caracterizada pela ambiguidade e subjetividade. Assim a lógica difusa torna-se a metodologia indicada a aplicar, pois o raciocínio/pensamento humano é inerentemente difuso.
- Permite a recolha de informação através de variáveis linguísticas que melhor expressão o raciocínio/opinião humana, logo, indicado para a recolha dessa opinião de especialistas.
- Também a utilização de regras de inferência, do tipo *if-then*, representam raciocínios lógicos, facilmente perceptíveis pelos intervenientes.

- Pode trazer maior precisão a ferramentas exclusivamente qualitativas, como é o caso da Matriz de Risco (Probabilidade x Impacto), bastante utilizada em modelos de avaliação do risco.
- Este acrescento de valor torna-se recíproco, pois a matriz de risco poderá ser uma ferramenta útil para mapear a formulação das regras de inferências. Tornam-se então ferramentas complementares.
- Os outputs *desfuzificados* (valores numéricos) permitem uma hierarquização dos riscos.
- A sua flexibilidade permite manipular informação de diferentes naturezas e escalas.
- Permite que a avaliação do risco seja feita a diferentes níveis através da agregação de informação (nível de risco individual, nível de risco por categoria, nível de risco global, etc.)
- Com recurso a ferramentas informáticas estes sistemas são facilmente simulados. Que juntamente com a flexibilidade destes sistemas, permite criar modelos versáteis e facilmente adaptáveis a diferentes âmbitos de aplicação.

3 LÓGICA DIFUSA

3.1. Conceito

“Things are not quite so simple always as black and white.”

Doris Lessing

“As coisas não serão tão simples como preto e branco” a citação de *Doris Lessing*, escritora britânica Nobel da Literatura, poderá ter variadas interpretações mediante o contexto. Independentemente das interpretações filosóficas que cada indivíduo poderá fazer dela, do ponto de vista pragmático da ciência trata-se de uma evidência, no sentido em que o preto e o branco puros serão os extremos de um espectro monocromático de infinitos tons de cinzento, tudo será uma questão de graduação de cinzento (Figura 3.1).

Também no comportamento e no raciocínio humano, entre dois extremos existirão diferentes graus intermédios, mediante a interpretação de cada indivíduo. Entre o Verdadeiro e o Falso, cada indivíduo encontrará diferentes graus de verdade. A realidade humana tem sempre presente, de uma forma implícita, a imprecisão e a ambiguidade.

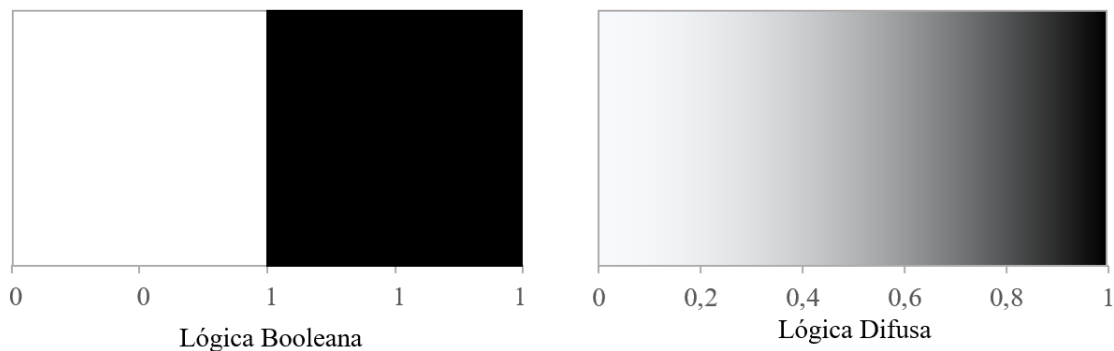


Figura 3.1 – Lógica booleana vs. Lógica difusa
(Fonte: Referência [10])

Na matemática, este aspeto da realidade humana encontra paralelismo na lógica difusa. Em complemento à lógica booleana, que é caracterizada por as suas variáveis apenas poderem adotar dois valores o 0 e o 1, interpretadas como Verdadeiro (1) e Falso (0), a lógica difusa trouxe a plurivalência entre o 0 e o 1, pois permite que as suas variáveis sejam qualquer valor real entre 0 e 1. Assim para qualquer $x \in \mathbb{R}$:

Lógica Booleana:

$$x \in \{0,1\}$$

Lógica Difusa:

$$x \in [0,1]$$

Enquanto que na lógica booleana uma determinada proposição ou é verdadeira ou não é, a lógica difusa, por sua vez, capta o seu grau de verdade. A lógica difusa foi estendida para lidar com o conceito de verdade parcial, onde o valor verdade pode compreender entre completamente verdadeiro e completamente falso [11].

Entende-se assim, neste sentido, que o pensamento humano é inerentemente difuso. Sublinhe-se este aspeto com outro exemplo do quotidiano (adaptado de [12]). Definindo-se dois conjuntos: o das maçãs (Conjunto M) e o dos caroços de maçã (Conjunto C); como ilustra a Figura 3.2:

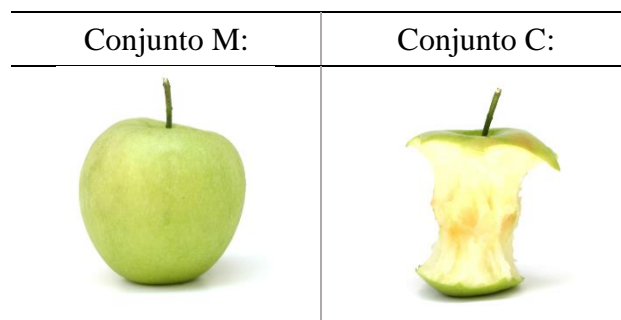


Figura 3.2 – Figura alusiva a conjuntos difusos

Considere-se uma maçã inteira, pertence, portanto, ao conjunto M. Se lhe for dada uma dentada, continuará uma maçã, logo continuará a pertencer ao conjunto M. Depois de várias dentadas, sobrarão um caroço de maçã, que pertencerá, agora, ao conjunto C. Surgem agora duas questões: A partir de que instante a maçã deixou de o ser, e passou a ser caroço, isto é, quando ocorre a transição entre os conjuntos? E se ainda fosse possível dar mais uma dentada, pertenceria a qual conjunto?

O “espaço” entre os dois conjuntos não está claramente definido, pois o objeto não pode pertencer aos dois conjuntos, e, por definição, um caroço não será uma maçã. Estes conjuntos, M e C, deverão ser redefinidos como conjuntos difusos.

Um conjunto difuso é caracterizado por os seus elementos possuírem um grau de pertença. Se o valor 1 corresponder a elementos pertencentes integralmente a um determinado conjunto, o valor 0, corresponderá a elementos totalmente fora do conjunto. Qualquer elemento parcialmente no conjunto, terá um valor entre 0 e 1. O valor associado ao elemento, é chamado de grau de pertença a um determinado conjunto.

Voltando ao exemplo, uma maçã com uma dentada poderá ter um grau de pertença de 0,9 ao conjunto M. Isto não significa, forçosamente, que terá de ter um grau de pertença de

0,1 ao conjunto C. No entanto, à medida que uma maçã é ingerida, esta vai perdendo pertença ao conjunto difuso M e ganhando pertença ao conjunto difuso C.

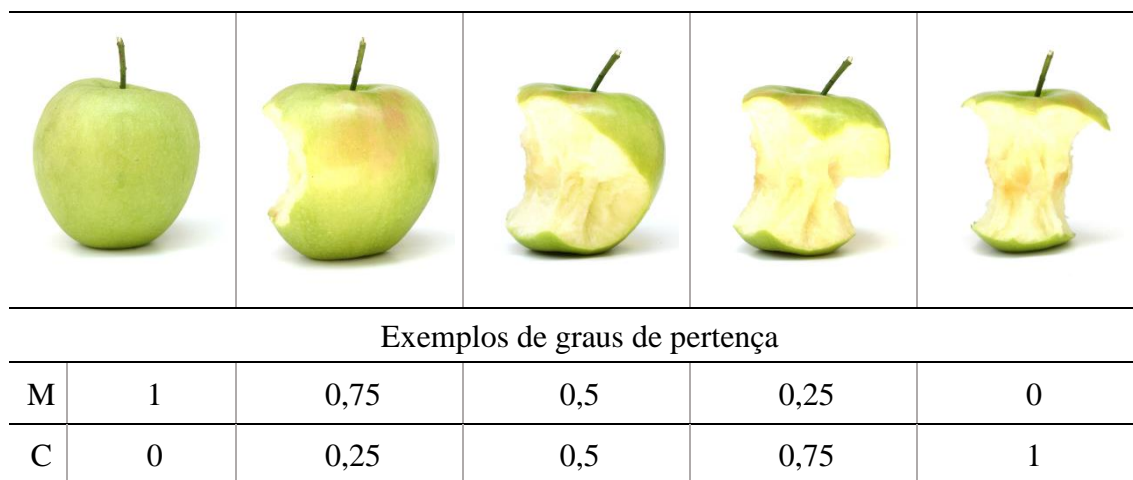


Figura 3.3 – Figura alusiva aos graus de pertença

O exemplo anterior reflete a imprecisão e a ambiguidade quando se trata da realidade. Por vezes as teorias científicas básicas, negligenciam este aspeto. A importância da lógica difusa está neste aspeto, trás à ciência a dimensão de “realidade”.

3.2. Enquadramento histórico

É considerado de forma consensual pela comunidade científica que a lógica difusa, como vista atualmente, teve início em 1965, quando *Lotfi Zadeh* introduziu o conceito de conjuntos difusos.

Antes, o filósofo *Charles Sanders Peirce*, no fim do século XIX, consideraria que a função humana seria vaga e imprecisa, ao invés de funcionar no modo “verdadeiro ou falso” [13].

Enquanto que na matemática, por essa mesma altura, a Teoria de Conjuntos era apresentada pelo matemático russo *George Cantor*.

A Teoria dos Conjuntos é o ramo da matemática lógica que estuda os conjuntos. Tem como base uma fundamental relação binária entre um objeto “o” e um conjunto “A”. Se “o” é um membro (ou elemento) de “A”, escreve-se “ $o \in A$ ” [14].

Ainda antes, em 1847, *George Boole* introduziu o seu sistema algébrico. Que, em sua homenagem, ficou conhecido por “Álgebra Booleana”. Este é o ramo da álgebra em que os valores de variáveis são o verdadeiro e o falso, geralmente denotados por 1 e 0, respetivamente [15].

Posteriormente, em 1920, a primeira lógica da imprecisão foi desenvolvida pelo filósofo polaco *Jan Lukasiewicz*. Ele concebeu conjuntos com valores possíveis de associação de 0, 1/2, e 1, estendendo-os mais tarde, permitindo um número infinito de valores entre 0 e 1 [13].

Foi o contributo destes pensadores dos séculos dezanove e vinte, que conduziram ao trabalho do criador da lógica difusa, *Lofti Zadeh*. A sua teoria dos conjuntos difusos combina os conceitos da teoria de conjuntos e da lógica booleana com os conjuntos de *Lukasiewicz*, definindo o conceito de grau de pertença [13].

O seu conceito viu a sua primeira aplicação prática em 1974, quando o engenheiro britânico *Ebrahim Mamdani* utilizou a lógica difusa para o controlo de um motor a vapor, desenvolvendo um sistema de controlo automatizado, baseado na experiência de um operador humano [13].

Assim, a lógica difusa trouxe à ciência e engenharia a possibilidade modelar sistemas complexos, considerando a sua imprecisão e ambiguidade.

A sua aplicação verifica-se hoje num vasto leque de domínios, nos quais a informação é incompleta e imprecisa [16].

3.3. Definição

Segundo *L. A. Zadeh* [17], um conjunto difuso é uma classe de objetos com um contínuo de graus de pertença. Este conjunto é caracterizado por uma função de pertença que associa a cada objeto um grau de pertença, entre 0 e 1.

Sendo X um conjunto de pontos, não vazio, em que x é um elemento genérico de X . Então:

$$X = \{x\}$$

Um conjunto difuso A em X é caracterizado por uma função de pertença:

$$f_A: X \rightarrow [0,1],$$

em que o valor de $f_A(x)$, representa o grau de pertença de um elemento x no conjunto difuso A , para cada $x \in X$.

Assim, um conjunto difuso A fica completamente definido por:

$$A = \{(x, f_A(x)) | x \in X\}$$

De notar, que a teoria clássica dos conjuntos será um caso particular dos conjuntos difusos em que o grau de pertença para qualquer x apenas poderá tomar os valores de 0 e 1:

$$f_A: X \rightarrow \{0,1\},$$

em que o elemento x é membro do conjunto A , quando $f_A(x) = 1$, ou não é membro quando $f_A(x) = 0$ [18] [17].

3.4. Variáveis linguísticas

Na matemática, enquanto que as variáveis costumam ter valores numéricos, em aplicações de lógica difusa, termos não-numéricos são muitas vezes utilizados para facilitar a expressão de regras e fatos [19]. Assim, quando números difusos representam conceitos linguísticos, tais como “muito pequeno”, “pequeno”, “médio”, e adiante, que serão interpretados num contexto particular, as construções resultantes são usualmente designadas por variáveis linguísticas [20].

Segundo *Fuller*, os conjuntos difusos constituem uma base para que, de uma forma sistemática, seja possível a manipulação de conceitos vagos e imprecisos. Em particular, pode-se empregar conjuntos difusos para representar variáveis linguísticas [18].

Por exemplo, se a *temperatura* for interpretada como uma variável linguística, o conjunto dos seus termos T (temperatura) poderá ser definido por:

$$T = \{frio, temperado, quente\},$$

onde cada termo em T é caracterizado por um conjunto difuso no universo $U = [0,100]$, podendo-se interpretar

- *fria* como “temperatura abaixo dos 15°C”
- *temperada* como “temperatura entre os 15° C e os 25°C”
- *quente* como “temperatura acima dos 25°C”

Estas variáveis linguísticas poderão ser interpretadas como conjuntos difusos caracterizados por respetivas funções de pertença.

3.5. Sistemas de Inferência Difusa (SID)

A conceção de um modelo baseado na lógica difusa deve ser abordada como um processo. Constitui então um sistema com o objetivo de mapear um espaço de entrada (*inputs*) para um espaço de saída (*outputs*) [21].

Os domínios de entrada e saída constituirão conjuntos difusos, caracterizados por funções de pertença.

O mecanismo primário deste processo será um conjunto de regras que constituem operações de inferência do tipo *IF-THEN*.

Resumidamente, a inferência difusa é um método que interpreta os valores no vetor de entrada e, com base em um conjunto de regras, atribui valores para o vetor de saída (Figura 3.4) [21].

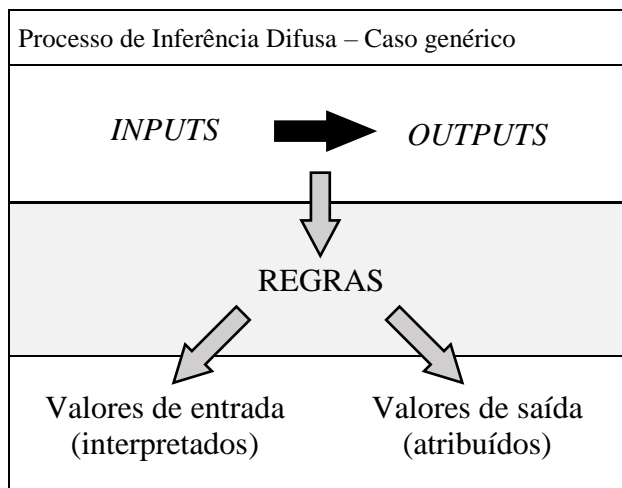


Figura 3.4 – Processo de Inferência Difusa – Caso genérico
(Fonte: Adaptado de [21])

O algoritmo de conceção de um sistema de inferência difusa (SID) deverá completar cinco etapas fundamentais:

1. Identificar variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*);
2. Definir conjuntos difusos;
3. Criar funções de pertença;
4. Criar regras de inferência difusa;
5. Simular o sistema de inferência de lógica difusa resultante.

Durante estas etapas são efetuadas operações de *fuzificação*, em que são mapeadas variáveis numéricas de entrada em funções de pertença difusa, características dos conjuntos difusos de entrada. E as operações opostas, de *desfuzificação*, podem ser usadas para mapear funções de pertença difusas de saída, em variáveis de saída que poderão ser então utilizadas para fins de tomada de decisão ou de controlo [22].

A arquitetura destes sistemas pode ser esquematizada da seguinte forma:

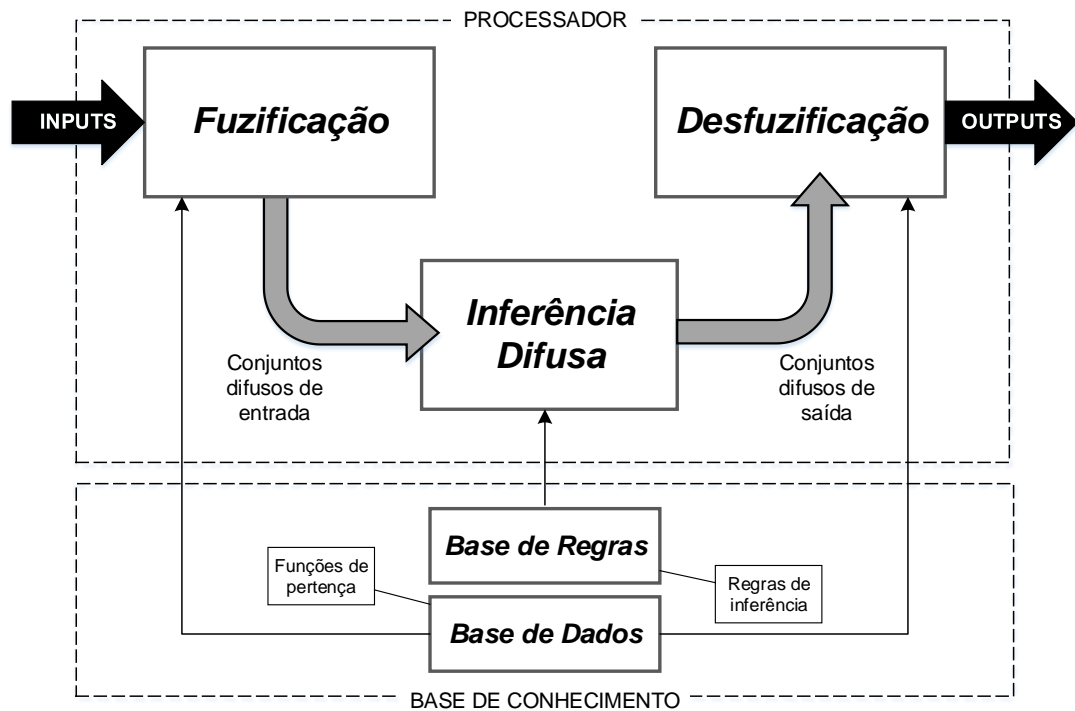


Figura 3.5 – Arquitetura de Sistema de Inferência Difusa
(Fonte: Adaptado de [23])

Como representado na Figura 3.5, um sistema de inferência difusa envolve uma base de conhecimento e uma fase de processamento. A base de conhecimento reúne toda a informação proveniente da intervenção humana e reflete no sistema a experiência e o raciocínio humano. Esta informação está patente nas funções de pertinência e nas regras de inferência necessárias ao processo. Os *inputs* deste processo são variáveis numéricas que são “fuzificadas”, isto é, são transformadas em variáveis linguísticas, que, por sua vez, serão os *inputs* da inferência difusa. Este *input* difuso será então transformado, por meio das regras de inferência, no *output* difuso. Por último, as variáveis linguísticas que resultam são então “desfuzificadas” em variáveis numéricas, que constituem os *outputs* do sistema [23].

Nesta fase é importante fazer uma divisão dos sistemas de inferência difusa em duas categorias: Sistemas de raciocínio difuso e Sistemas de controlo difuso. Esta categorização é feita mediante os objetivos e os requisitos específicos do sistema difuso a conceber. Estas diferenciam-se, particularmente, no processo de *desfuzificação* [24] e na natureza que se procura para os seus *outputs*.

Esta categorização será aprofundada aquando da descrição do processo de *desfuzificação*. Para uma melhor compreensão deste processo introduz-se, a título de exemplo, uma situação prática simplificada de aplicação da lógica difusa no sistema de controlo de um

aparelho de ar condicionado, em que a velocidade do ventilador é controlada em função da temperatura registada num dado espaço (adaptado de [25]). Tratar-se-á, portanto, de um sistema de controlo difuso, segundo a categorização anteriormente referida.

Neste exemplo, a TEMPERATURA constitui os *inputs*, enquanto que os *outputs* serão a VELOCIDADE do ventilador.

Os *inputs* serão caracterizados em três conjuntos: FRIA, TEMPERADA e QUENTE.

Enquanto, que os *outputs* serão caracterizados pelos conjuntos: LENTA, MÉDIA, RÁPIDA.

Para um melhor entendimento da necessidade de aplicar a lógica difusa neste sistema de controlo supõem-se que estes conjuntos seriam vistos como conjuntos clássicos. A variável de entrada era caracterizada apenas por pertencer (1) ou não pertencer (0) aos conjuntos de entrada (Figuras 3.6 e 3.7).

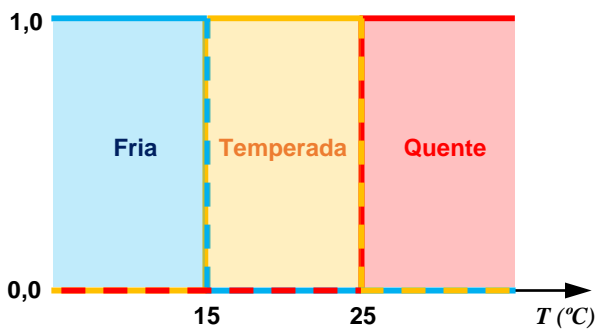


Figura 3.6 – Variação Inputs

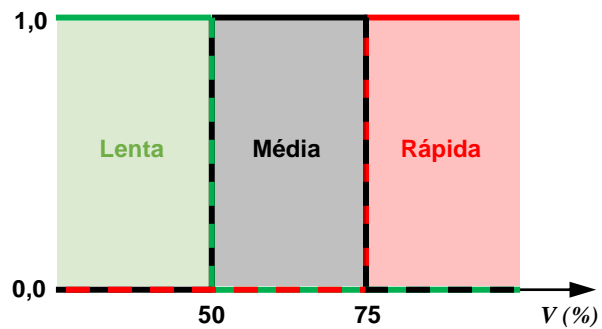


Figura 3.7 – Variação Outputs

Neste sistema, qualquer temperatura inferior a 15°C, é considerada “Fria”, e teria o mesmo valor lógico (1,0,0), qualquer temperatura entre 15°C e 25°C (Temperada), (0,1,0), e superiores a 25° C (Quente), (0,0,1). Seria um sistema completamente rígido e não teria qualquer sensibilidade para as variações de temperatura, apenas seria alterado ao se transpor as fronteiras dos três conjuntos.

De forma análoga, se faz o mesmo raciocínio para os *outputs*, apenas seria possível o controlo em três valores para velocidade absoluta.

Assim, se entende que este sistema de controlo, baseado na lógica booleana, seria bastante limitado e ineficiente. A cada gama de temperaturas responderia um valor de velocidade correspondente, resultando num funcionamento irregular. Sempre que se verificasse a transposição dos valores fronteira das gamas de temperatura, resultaria numa variação

abrupta da velocidade de rotação. Supondo que num determinado intervalo de tempo, a temperatura oscilaria entre valores inferiores e superiores aos do limite de um intervalo, o funcionamento do aparelho seria totalmente desregulado, em constantes variações abruptas de velocidade.

Mas, ao abordar esta situação segundo a lógica difusa, qualquer valor absoluto de temperatura é considerado “Fria”, “Temperada” e “Quente”, envolvendo diferentes graus de pertença a conjuntos difusos. Equivalentemente, para conjuntos difusos de velocidade.

3.5.1. Conjuntos Difusos

A conceção de um sistema de lógica difusa inicia-se com a definição dos conjuntos difusos para os *inputs* e *outputs*.

Para este exemplo serão definidos três conjuntos difusos para as variáveis de entrada para o universo $T_{in} = [0,37]$ (°C) (Tabela 3.1):

Conjunto	Intervalo [°C]	Definição
Fria (F)	0 – 17	$F = \{(t, f_F(t)) t \in T_{in}\}$
Temperada (T)	10 – 27	$T = \{(t, f_T(t)) t \in T_{in}\}$
Quente (Q)	20 – 37	$Q = \{(t, f_Q(t)) t \in T_{in}\}$

Do mesmo modo são definidos três conjuntos difusos para as variáveis de saída para o universo $V_{out} = [20,100]$ (%) (Tabela 3.2):

Conjunto	Intervalo [%]	Definição
Lenta (L)	20 – 60	$L = \{(v, f_L(v)) v \in V_{out}\}$
Média (M)	40 – 80	$M = \{(v, f_M(v)) v \in V_{out}\}$
Rápida (R)	60 – 100	$R = \{(v, f_R(v)) v \in V_{out}\}$

3.5.2. Funções de pertinência

Como anteriormente referido os conjuntos difusos são caracterizados por uma função de pertinência que associa a cada objeto um grau de pertinência, entre 0 e 1.

As funções de pertinência, mais comumente aplicadas a sistemas difusos, classificam-se em quatro tipos [21]:

- Lineares

Poderão ter as formas triangular (Figura 3.8) e trapezoidal (Figura 3.9). Estas funções de pertinência, compostas por linhas retas, tem a sua grande vantagem na sua simplicidade.

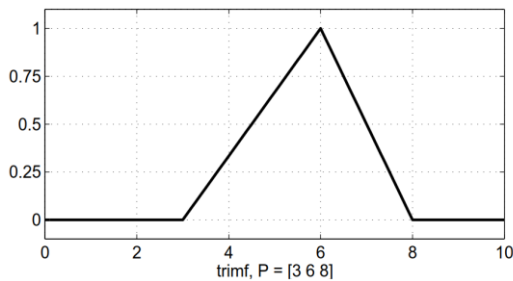


Figura 3.8 – Função linear triangular
(Fonte: Referência [21])

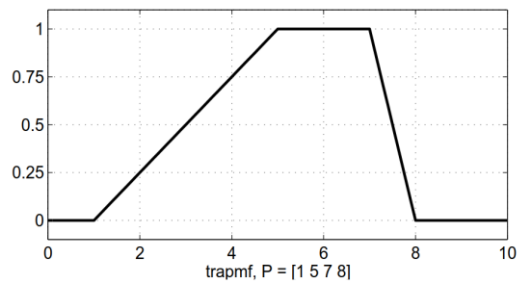


Figura 3.9 – Função linear trapezoidal
(Fonte: Referência [21])

- Curvas gaussianas

Estas poderão apresentar três formatos: gaussiano simples (Figura 3.10), gaussiano composto (Figura 3.11) e *generalized bell* (Figura 3.12, página 39). Estas funções têm a vantagem de representar uma progressão mais suave e serem não zero em todos os pontos.

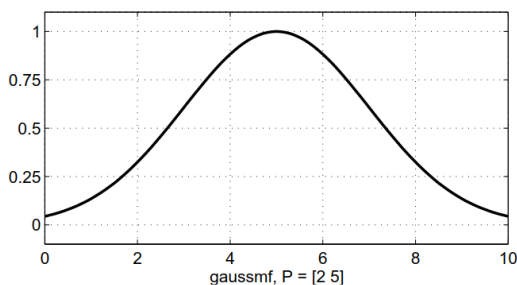


Figura 3.10 – Função *gaussiana* simples
(Fonte: Referência [21])

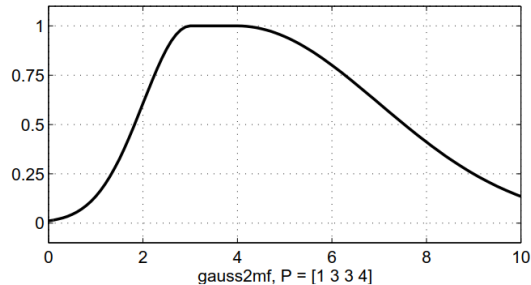


Figura 3.11 – Função *gaussiana* composta
(Fonte: Referência [21])

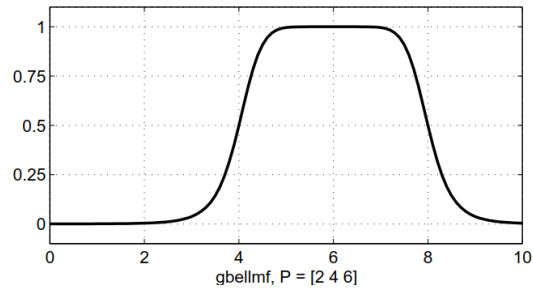


Figura 3.12 – Função *generalized bell*
(Fonte: Referência [21])

- Curvas sigmoide

A utilização de curvas sigmoide como funções pertença tem a vantagem de estas poderem ser assimétricas, quando apresentam a forma simples de sigmoide, podendo ser abertas para esquerda ou direita (Figura 3.13). Também poderão ser usadas curvas sigmoide fechadas através de operações entre duas sigmóides: diferença (Figura 3.14) e produto (Figura 3.15).

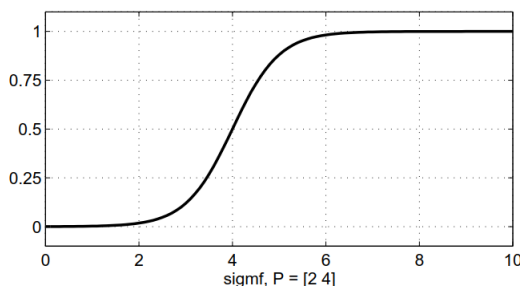


Figura 3.13 – Função sigmóide
(Fonte: Referência [21])

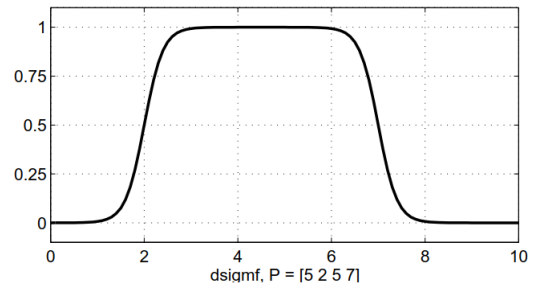


Figura 3.14 – Diferença de sigmóides
(Fonte: Referência [21])

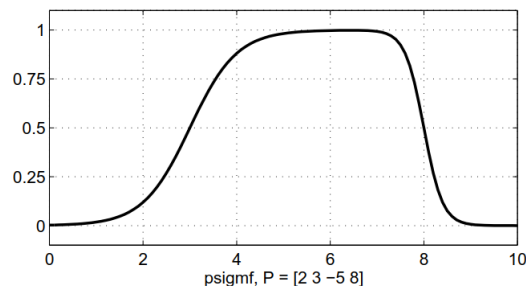


Figura 3.15 – Produto de sigmóides
(Fonte: Referência [21])

- Curvas polinomiais

As funções de pertinência podem ser definidas como funções polinomiais e adotar várias formas mediante o polinômio usado (Figura 3.16).

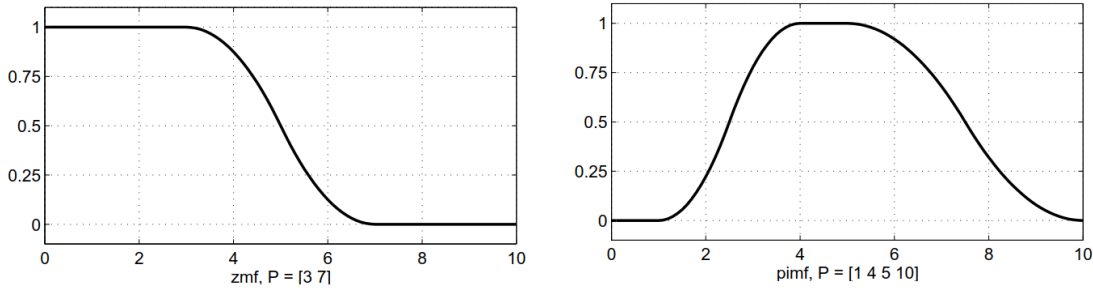


Figura 3.16 – Funções polinomiais
(Fonte: Referência [21])

Assim, para o exemplo usado, serão definidas três funções de pertinência (*inputs*) que atribuirão a cada valor de temperatura um grau de pertinência a cada um dos conjuntos difusos: $f_Q(t)$, $f_T(t)$, $f_F(t)$ (Figura 3.17). Igualmente serão definidas três funções de pertinência para os três conjuntos dos *outputs*: $f_L(v)$, $f_M(v)$, $f_R(v)$ (Figura 3.18, página 41). Querendo-se um exemplo simplificado serão usadas funções de pertinência triangulares.

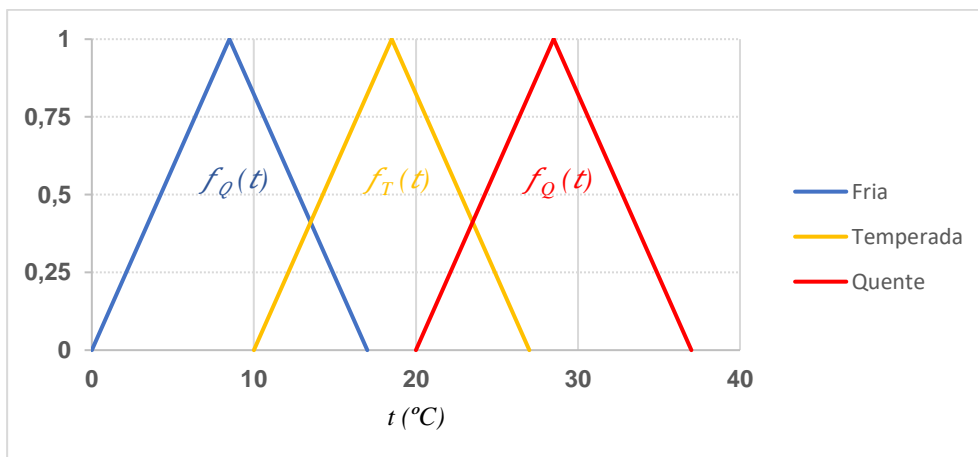


Figura 3.17 – Funções de pertinência dos *inputs*
(Fonte: Adaptado de [25])

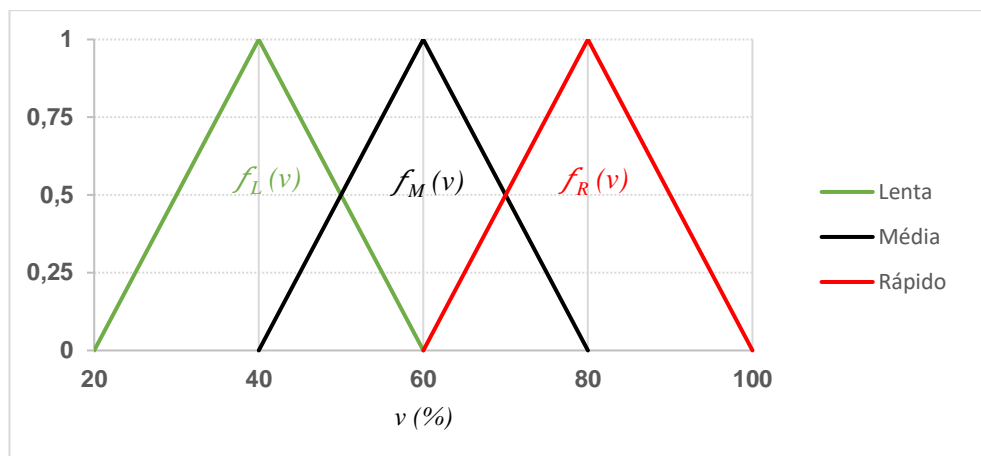


Figura 3.18 – Funções de pertinência dos *outputs*
(Fonte: Adaptado de [25])

Com a definição dos conjuntos difusos e as respectivas funções de pertinência, fica concluído o processo de *fuzificação*.

Os sistemas difusos são modelados com base na experiência especializada de pessoas reais. O processo de *fuzificação*, e com relevância para a seleção da função de pertinência de cada *input* e *output*, já incorpora essa experiência, pois deverá ter a intervenção de indivíduos com conhecimento no âmbito em questão. Este aspecto da importância da intervenção humana será explanado de seguida, na descrição do processo de criação das regras de inferência.

3.5.3. Regras de inferência

O bloco de inferência difusa (Figura 3.5, página 35) constitui o “motor” de um sistema de lógica difusa, é aqui que será simulado o processo de raciocínio humano através de operações de inferência que traduzem os *inputs* em *outputs*.

A base deste mecanismo advém de regras do tipo *IF-THEN*² usadas para formular premissas condicionais que compõe a lógica difusa [21].

Estas regras assumem o seguinte formato:

$$\text{“IF } x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B\text{”},$$

onde *A* e *B* são as variáveis linguísticas definidas pelos conjuntos difusos dos domínios *X* e *Y*, para os *inputs* e os *outputs*, respetivamente [21].

² “SE-ENTÃO”. Para a descrição das regras de inferência optou-se por não traduzir estes termos, mantendo-os originalmente em inglês, para uma melhor coerência com as referências consultadas.

Todas as regras são avaliadas em paralelo, e a sua ordem não é importante [21].

Voltando a recorrer ao sistema de controlo para ar condicionado, um exemplo simplificado para regras de inferências seriam:

“Se Temperatura é FRIA então Velocidade é BAIXA”

“Se Temperatura é TEMPERADA então Velocidade é MÉDIA”

“Se Temperatura é QUENTE então Velocidade é ALTA”

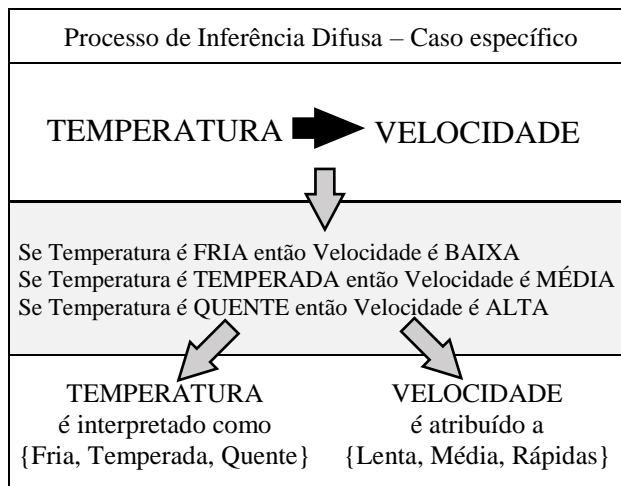


Figura 3.19 – Processo de Inferência Difusa – Caso específico
(Fonte: Adaptado de [21])

Neste exemplo (Figura 3.19), as regras criadas são bastante simples, pois apenas consideram um *input* e um *output*. No entanto, em sistemas com vários *inputs* e *outputs*, este processo torna-se mais complexo, podendo ter de ser criadas dezenas ou centenas de regras. Nesse caso, é relevante referir a aplicação de uma ferramenta importante que será uma matriz *input-output* (Figura 3.20).

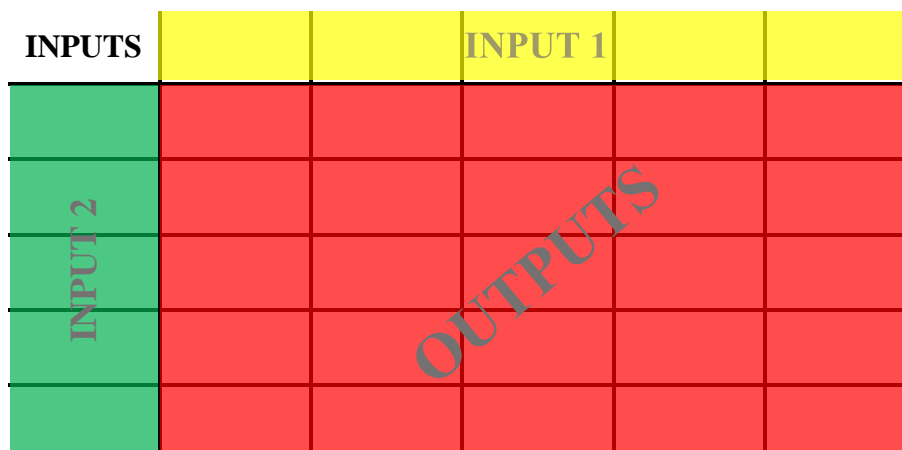


Figura 3.20 – Matriz *input-output*

Segundo *McNeill* [13], as regras de inferência são regras para derivar verdades de verdades estabelecidas ou comprovadas. Este aspeto revela a importância deste mecanismo de inferência que se fica a dever, em grande parte, ao fato que estas regras, e o seu processo de criação, são o elo de ligação do automatismo criado com o conhecimento empírico humano.

Tal como o processo de *fuzificação*, o desenvolvimento destas regras tem forçosamente a intervenção humana, sendo que refletem o conhecimento e a experiência dos intervenientes na sua criação.

O conhecimento de um operador humano experienciado é, na maioria das vezes, difícil de expressar em termos precisos [20]. Um sistema de inferência difusa trás essa mais-valia de conseguir assimilar essa incerteza e ambiguidade.

Todos estes aspetos trazem a este processo a dimensão de um método que é, ao mesmo tempo, empírico, matemático e heurístico.

3.5.4. *Desfuzificação*

O resultado do processo de inferência difusa, será forçosamente, um conjunto difuso [18], mas mediante a situação em que está a ser aplicada a lógica difusa, a natureza dos resultados a obter deve ser ajustada aos seus objetivos em concreto.

Remetendo à categorização dos sistemas de inferência difusa como: sistema de raciocínio difuso e sistemas de controlo difuso. Como referido, esta diferenciação se faz essencialmente no processo de *desfuzificação* e na natureza dos resultados a obter. Enquanto que os sistemas de controlo difuso – que muitas vezes têm de interagir com aplicações informáticas – se caracterizam por necessitarem de resultados quantitativos (variáveis numéricas que possam posteriormente ser tratadas), logo há a necessidade implícita do processo de *desfuzificação*. Por outro lado, os sistemas de raciocínio difuso, estão muitas vezes associados a aplicações que procuram resultados qualitativos (variáveis linguísticas). Neste caso poderá ocorrer não haver necessidade que *desfuzificação*, quando a informação proveniente do mecanismo de inferência difusa, ainda em conjuntos difusos, se mostra suficiente.

Existem variados métodos de *desfuzificação*. Segundo *W. Van Leekwijck* [24], mediante as suas propriedades técnicas e estruturais, estes métodos podem ser classificados em três classes: Maxima e derivados, Distribuição e derivados e Área.

- **Métodos *maxima* e derivados** – têm a propriedade comum de selecionar um elemento do núcleo³ como valor de *desfuzificação*. A sua principal aplicação encontra-se nos sistemas de raciocínio difuso. Exemplos:

- *Random choice of maxima (RCOM)*
- *First of maxima and last of maxima (FOM, LOM)*
- *Middle of maxima (MOM)*

- **Métodos de distribuição e derivados** - a principal razão para a utilização destes métodos será propriedade de continuidade que é altamente desejável nos sistemas de controlo difuso. Exemplos:

- *Center of gravity (COG)*
- *Fuzzy mean (FM)*
- *Quality method (QM)*

- **Métodos de área** - estes métodos utilizam a área sob a função de pertença para determinar o valor *desfuzificação*. Tal como para os métodos de distribuição, este grupo é aplicável principalmente para sistemas de controlo difuso. Exemplos:

- *Center of area (COA)*
- *Extended center of area (ECO A)*

(A referência bibliográfica consultada faz ainda referência a outros métodos, incluídos e não incluídos nas referidas categorias. Estes não serão referidos por não representarem importância ao âmbito da dissertação).

Mais uma vez, recorre-se ao exemplo supracitado para ilustrar a fase de *desfuzificação*. Para uma maior simplicidade restringiu-se o exemplo a dois conjuntos difusos de entrada (Temperatura Fria e Temperada) e dois conjuntos difusos de saída (Velocidade Lenta e Média) (fig. 3.21).

Para um *input* concreto de 12,5 °C, procede-se a uma interceção com as funções de pertença de entrada. Verificando-se interceção com as funções de pertença Fria e Temperada, deverão assim ser aplicadas duas regras:

“Se Temperatura é FRIA então Velocidade é BAIXA”

“Se Temperatura é TEMPERADA então Velocidade é MÉDIA”

³ O conjunto de elementos com o maior grau de pertença, de um determinado conjunto difuso, constitui o seu Núcleo [18].

Este passo constitui a inferência difusa, procedendo-se de seguida à *desfuzificação* para a obtenção de um *output* numérico. Neste exemplo aplicou-se o método de área COA (*Center Of Area*).

Assim, os pontos de interceção (com as funções de entrada) são estendidos até às respetivas funções de saída (segundo as regras anteriores) de forma a encontrar novos pontos de interceção com estas. As funções de saída são então truncadas pelas retas definidas pelos pontos de interceção. As áreas sob as curvas de cada função de pertença são então reunidas obtendo-se uma área total. É calculado o centróide desta área total. O valor de saída é então o valor das abcissas do centróide. Neste exemplo o valor de saída obtido, para o output VELOCIDADE é de 47%. O procedimento é ilustrado na Figura 3.21.

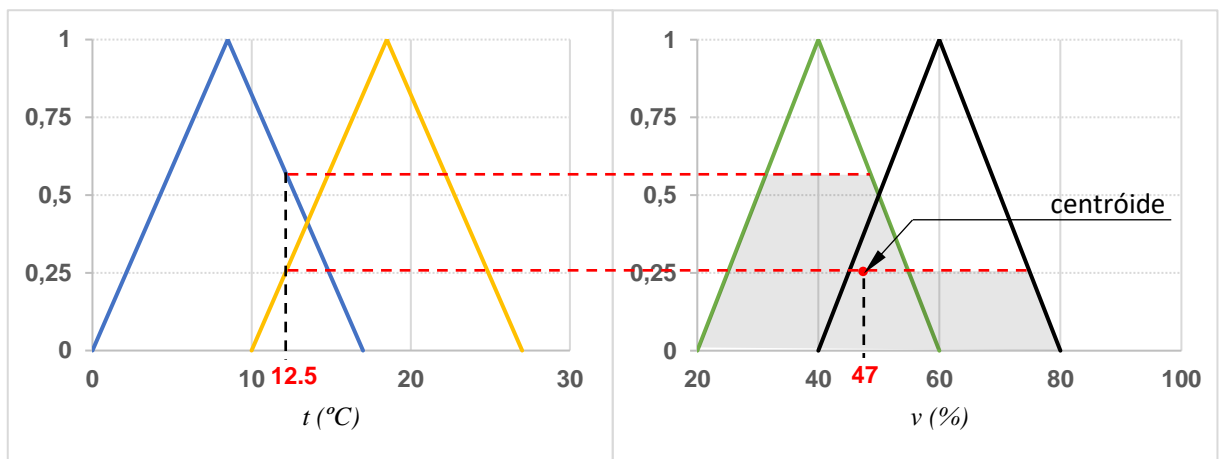


Figura 3.21 – Resultados de um sistema de controlo difuso
(Fonte: Adaptado de [25])

4 MODELO SID-AR

4.1. Gestão do risco Vs. Lógica difusa

Do explanado no ponto 3, entendeu-se que o pensamento humano é inerentemente difuso. Assim, um dos principais legados da teoria dos conjuntos difusos de *Zadeh* foi que a matemática pode ser usada para conectar a linguagem e inteligência humana. Muitos conceitos são melhor definidos por palavras do que por matemática, e a lógica difusa, e a sua expressão em conjuntos difusos, fornece uma disciplina que pode construir melhores modelos de realidade [13].

Este paradigma está presente atualmente nas mais recentes medidas de inovação das mais variadas áreas. Um artigo do jornal *The New York Times* refere recentes medidas ao nível da avaliação e gestão de recursos humanos, levadas a cabo por grandes empresas de *Wall Street* como *Morgan Stanley*, *Microsoft* e *Goldman Sachs*. Nas quais, nos seus métodos de avaliação dos seus recursos humanos, as escalas de avaliação com números estão a ser substituídas por adjetivos, com o argumento que o processo se torna “mais sincero e memorável” [26].

Segundo *G. J. Klir et al* [27], ao se lidar com os problemas da “vida real”, raramente se evita a incerteza. Ao nível empírico, a incerteza é inseparável de qualquer medição, resultando da combinação entre os erros de medição implícitos e os limites de precisão dos instrumentos de medição aplicados. Ao nível cognitivo, esta emerge da imprecisão e da ambiguidade inerente da linguagem. Ao nível social, a incerteza apresenta propósitos estratégicos e é muitas vezes criada e mantida por diversas intenções (privacidade, sigilo, propriedade).

Assim, para os mesmos autores, as teorias matemáticas aplicáveis à incerteza, em que a estimação da incerteza é agora considerada e definida, são: a teoria dos conjuntos difusos, a teoria de *Dempster–Shafer* (teoria matemática da evidência) e a teoria da possibilidade, em adição à teoria clássica dos conjuntos e à teoria das probabilidades.

A gestão de projeto, e conseqüentemente a gestão do risco em projeto, na sua forma genérica, enquadra-se no âmbito das ciências empresarias e das organizações.

Estas áreas, apesar de serem frequentemente abordadas na forma de processos de gestão, muitas vezes associados a mecanismos e ferramentas automatizadas, são indissociáveis da presença e da decisão humana.

Também, apesar de estarmos no início da quarta revolução industrial – *Industry 4.0* – que tem o intuito de caminhar para a digitalização dos processos. Ainda não estamos perante o panorama de uma “desumanização” das organizações, muito menos das decisões.

Assim, a gestão do risco, na sua essência, é, “ainda”, um processo eminentemente humano, em que se aborda a gestão de recursos humanos, a tomada de decisões e as relações entre intervenientes. Concretamente, a abordagem ao risco, dá-se muitas vezes, devido à incerteza associada à decisão e intervenção humana. Ao definir o risco (ponto 2.2.1) ficou também evidenciada a sua associação ao estado de incerteza.

Aqui encontra-se um elo de ligação entre a lógica difusa e a gestão do risco em projetos, no sentido, em que um sistema de inferência difusa (SID) poderá auxiliar a tomada de decisões perante o risco, como processo inerentemente humano. Desta forma, constitui um dos objetivos da presente dissertação explorar a aplicação da lógica difusa no âmbito da gestão do risco, e em concreto na sua aplicação num modelo de avaliação do risco.

A aplicação da lógica difusa neste contexto da gestão do risco já foi estudada por outros autores que apresentam os seus modelos de avaliação do risco para diversas aplicações. A Tabela 4.1 (página 49) enumera alguns exemplos de aplicações da lógica difusa na modelação do risco referenciados por *Jamshidi, A. et al* [28].

Tabela 4.1 – Aplicações da lógica difusa na modelação do risco

Aplicação	Referência
<i>Environmental risk assessment of drilling waste</i>	<i>Sadiq and Husain, 2005</i>
<i>Water quality failures in distribution networks</i>	<i>Sadiq, Kleiner, and Rajani, 2007</i>
<i>Performance assessment of health, safety, environment (HSE) and ergonomics system factors in a gas refinery.</i>	<i>Azadeh, Fam, Khoshnoud, and Nikafrouz, 2008</i>
<i>Distillation column unit</i>	<i>Markowski and Mannan, 2008</i>
<i>Liquefied natural gas LNG ship loading/offloading at the terminal</i>	<i>Elsayed, 2009</i>
<i>Landfall typhoon</i>	<i>Feng and Luo, 2009</i>
<i>Power transformer failures</i>	<i>Flores, Mombello, Jardini, and Rattá, 2009</i>
<i>Risk evaluation in workplaces</i>	<i>Grassi, Gamberini, Mora, and Rimini, 2009</i>
<i>Occupational safety risk analysis at construction sites</i>	<i>Gürcanli and Müngen, 2009</i>
<i>Piping risk assessment</i>	<i>Markowski and Mannan, 2009</i>
<i>Process safety analysis</i>	<i>Markowski, Mannan, and Bigoszezewska, 2009</i>
<i>Water quality management</i>	<i>Rehana and Mujumdar, 2009</i>
<i>Marine biosecurity management</i>	<i>Acosta, Wu, and Forrest, 2010</i>
<i>Security risk assessment in chemical process industries</i>	<i>Bajpai, Sachdeva, and Gupta, 2010</i>
<i>Construction project risk assessment</i>	<i>Nieto-Morote and Ruz-Vila, 2011</i>
<i>Critical infrastructures</i>	<i>Yazdani, Alidoosti, and Zavadskas, 2011</i>
<i>Critical infrastructures</i>	<i>Alidoosti, Yazdani, Fouladgar, and Basiri, 2012</i>
<i>Tunneling projects</i>	<i>Fouladgar, Yazdani-Chamzini, and Zavadskas, 2012</i>

(Fonte: Adaptado de [28])

4.2. Arquitetura do modelo

O modelo proposto constitui a aplicação de um Sistema de Inferência Difusa para a Avaliação do Risco, sendo designado por SID-AR.

O SID-AR tem como *output* fundamental a atribuição de um nível de risco aos eventos de risco identificados. Remetendo ao ponto 2.2.1 em que, com base nas referências consultadas, se definiu o risco como função de duas componentes primárias, probabilidade (*P*) e impacto (*I*), o nível de risco de um evento será assim estimado, a um primeiro nível, a partir de interação destas duas variáveis.

Assim, o nível de risco primário (*R*), que apenas avalia o risco nas suas componentes primárias, para um qualquer risco *n*, será:

$$R_n = P_n \times I_n \quad (1)$$

R – nível de risco primário

P – probabilidade

I – impacto

Para o modelo de avaliação do risco preconizado, a perceção de risco vai também abranger a capacidade dos intervenientes ou organização do projeto de antever e responder devidamente ao risco, mensurada numa variável designada por Detecção/Controlo (*DC*) (Figura 4.1).

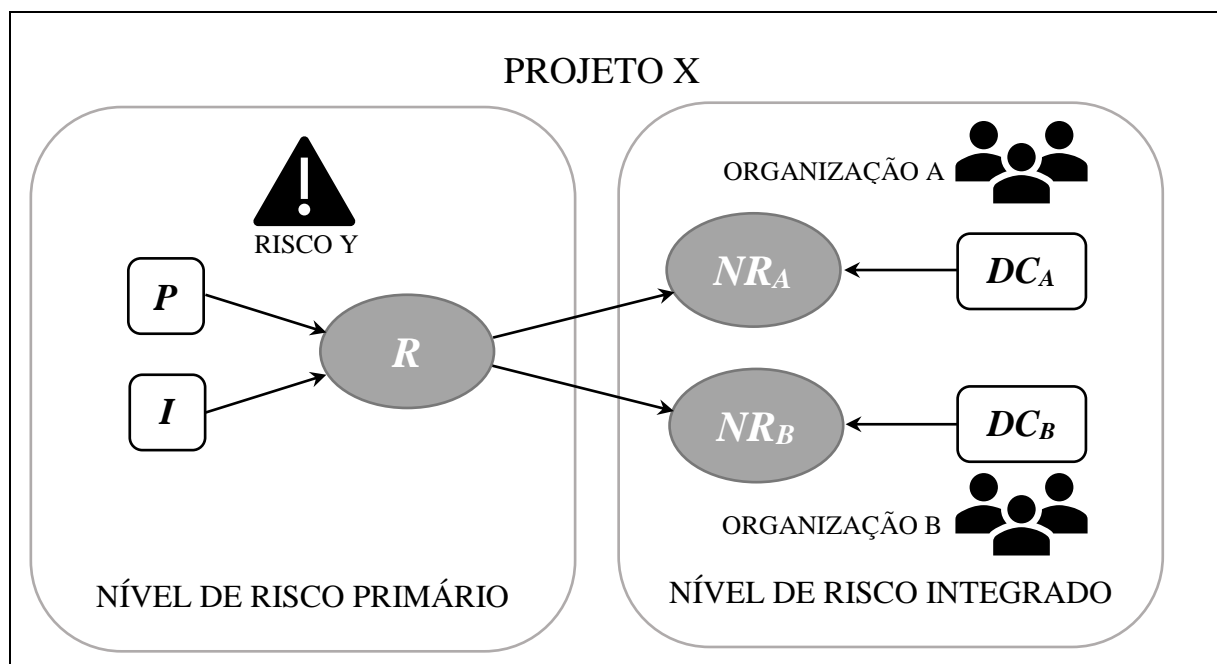


Figura 4.1 – Níveis de risco

Logo, à equação 1 conjuga-se a variável DC , obtendo-se o nível de risco integrado (NR):

$$NR_n = P_n \times I_n \times DC_n = R_n \times DC_n \quad (2)$$

NR – nível de risco integrado

DC – detecção/controlo

Por sua vez, o impacto é medido em termos do âmbito (A), tempo (T), custo (C) e qualidade (Q) do projeto em questão, constituindo-se quatro categorias de impacto (Figura 4.2 e Tabela 4.2).

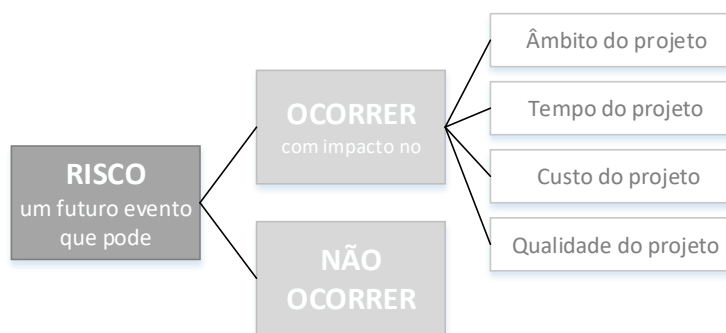


Figura 4.2 – Impactos sobre projeto

Tabela 4.2 – Descrição das categorias de impacto

Categoria de Impacto	Descrição
A – Âmbito	Corresponde ao impacto que o evento de risco potencialmente terá sobre as características e/ou funções específicas do produto, serviço ou resultado que o projeto propõe criar.
T – Tempo	Corresponde ao impacto que poderá ocorrer sobre o cronograma definido no planejamento do projeto, sendo mais relevantes o prazo de conclusão e/ou prazos intermédios considerados cruciais (<i>milestones</i>) pelos <i>stakeholders</i> .
C – Custo	Impacto potencial sobre os custos do projeto.
Q – Qualidade	Entendendo-se como qualidade, a correspondência dos resultados aos requisitos pré-estabelecidos pelos <i>stakeholders</i> , onde terá que ser dado mais relevância aos requisitos do cliente final e/ou outros intervenientes cujo parecer seja fulcral para o sucesso do projeto. O impacto sobre qualidade será o nível de discrepância dos resultados com os requisitos desses <i>stakeholders</i> .

Assim, para o SID-AR identificam-se dois níveis hierárquicos, em que no primeiro (Nível 1), são estimados os níveis de risco primários (R -), no segundo (Nível 2) são obtidos os níveis de risco integrados (NR -) (Figuras 4.3 e 4.4, página 52). Em cada um destes níveis é feita a aplicação de sistemas de inferência difusa (SID), para a obtenção dos níveis de risco

(por categoria de impacto), de seguida os quatro níveis de risco por categoria de impacto poderão ser agregados num nível de risco agregado. Assim, para um qualquer risco n :

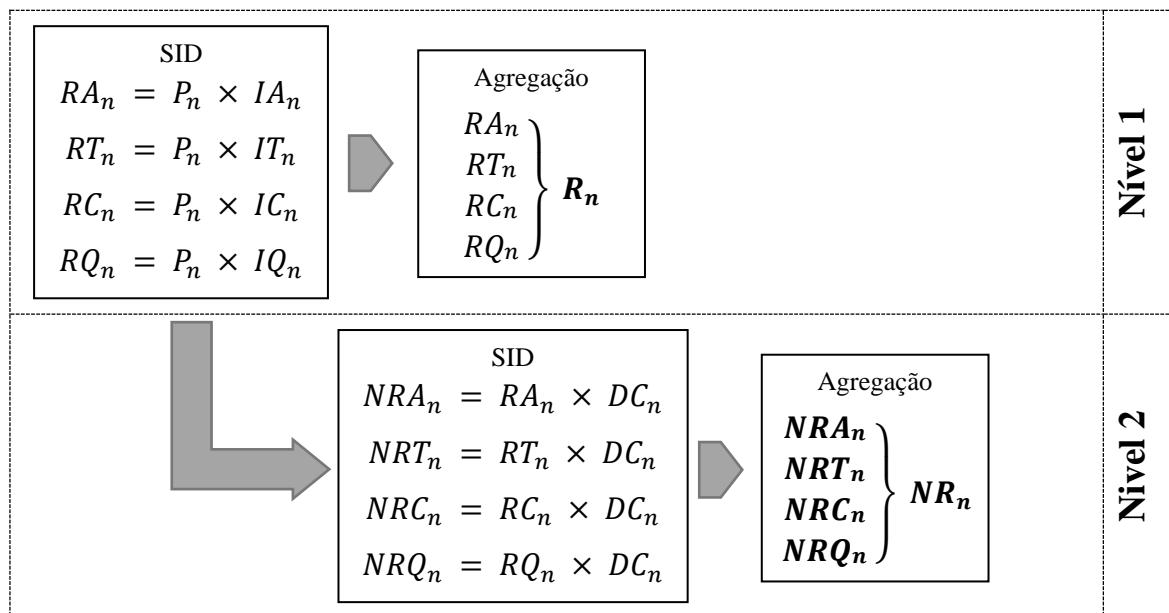


Figura 4.3 – Níveis hierárquicos do modelo proposto

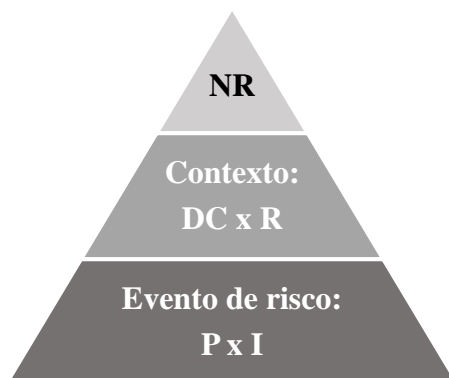


Figura 4.4 – Pirâmide hierárquica dos níveis de risco

Detetam-se dezasseis variáveis elementares para cada risco (Tabela 4.3):

Tabela 4.3 – Variáveis elementares do modelo para cada evento de risco			
Variáveis do modelo			
<i>Inputs</i>		<i>Outputs</i>	
Identif.	Designação	Identif.	Designação
Nível 1			
<i>P</i>	Probabilidade	<i>RA</i>	Nível de risco primário sobre o âmbito
<i>IA</i>	Impacto no âmbito	<i>RT</i>	Nível de risco primário sobre o tempo
<i>IT</i>	Impacto no tempo	<i>RC</i>	Nível de risco primário sobre o custo
<i>IC</i>	Impacto no custo	<i>RQ</i>	Nível de risco primário sobre a qualidade
<i>IQ</i>	Impacto na qualidade	<i>R</i>	Nível de risco primário agregado
Nível 2			
<i>RA</i>	(Níveis de risco primários Nível 1)	<i>NRA</i>	Nível de risco integrado sobre o âmbito
<i>RT</i>		<i>NRT</i>	Nível de risco integrado sobre o tempo
<i>RC</i>		<i>NRC</i>	Nível de risco integrado sobre o custo
<i>RQ</i>		<i>NRQ</i>	Nível de risco integrado sobre a qualidade
<i>DC</i>	Deteção/Controlo	<i>NR</i>	Nível de risco integrado agregado

Esquemáticamente a estrutura elementar do modelo, para um só risco (n), será a apresentada na Figura 4.5 (pagina 54).

Para um qualquer evento de risco n , NR_n , corresponde ao nível de risco que caracterizará o respetivo evento, e que constitui o *output* fundamental da modelação, e *output* da fase de avaliação de riscos do processo de gestão do risco preconizado, e que permitirá então uma priorização dos riscos envolvidos e uma perceção da importância a ser atribuída ao seu tratamento.

Como também já referido, aquando da introdução do processo de gestão do risco, ressalva-se que o modelo que se explana de seguida, será restringido à avaliação de riscos negativos, ou seja, eventos de potencial ameaça aos objetivos do projeto.

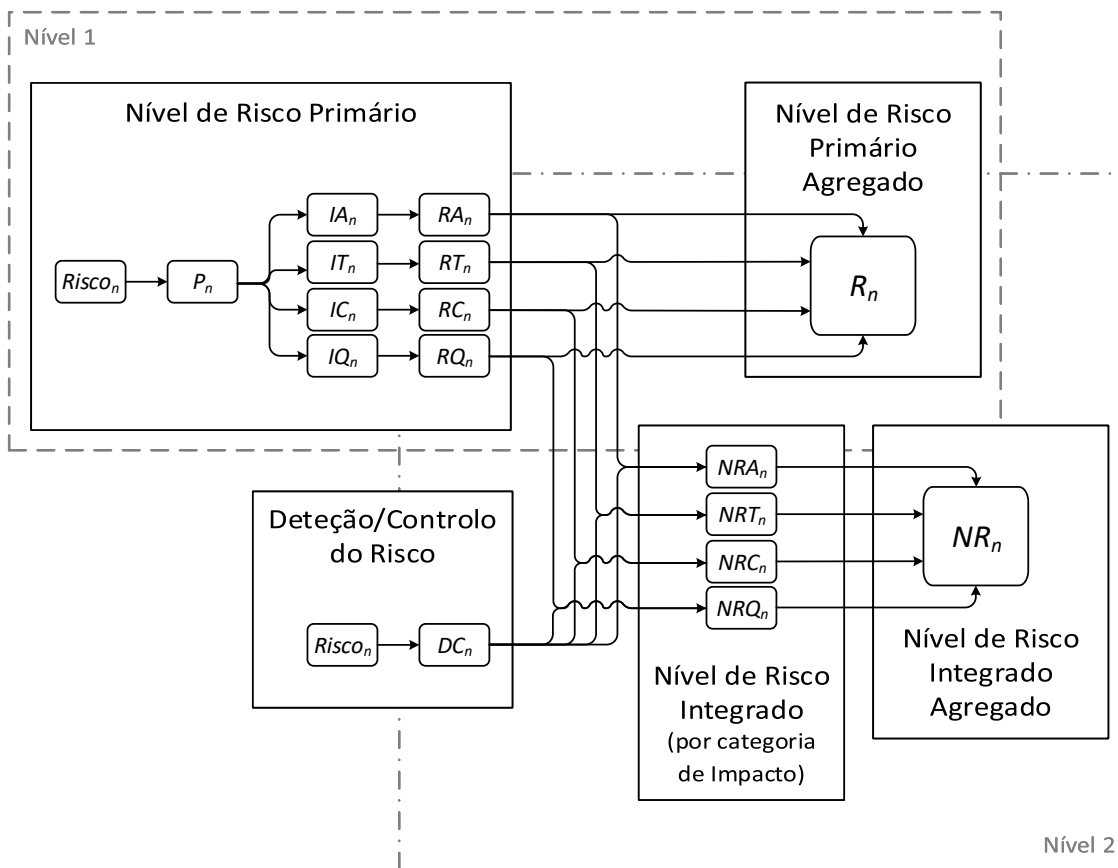


Figura 4.5 – Esquema elementar do modelo

4.3. Descrição de variáveis

Estando no âmbito de aplicação da lógica difusa, em que se pode aplicar termos não-numéricos às variáveis em questão, e desta forma tornar a sua expressão mais intuitiva. As dezasseis variáveis elementares (Tabela 4.3, página 53) serão caracterizadas por variáveis linguísticas que, por seu termo, serão representadas em conjuntos difusos.

Ressalva-se que este número corresponde às variáveis de um só risco, quando perante um n número de riscos, ter-se-á n vezes o número total de variáveis:

$$n \text{ riscos} = 16n \text{ variáveis} \quad (3)$$

4.3.1. Variáveis de entrada

No Nível 1, para o cálculo do nível de risco primário, é considerado P , à qual podem ser atribuídos cinco variáveis linguísticas (Tabela 4.4 página 55), e quatro I , um por categoria de impacto (IA , IT , IC e IQ), aos quais podem ser atribuídas quatro variáveis linguísticas (Tabela 4.5, página 55).

Tabela 4.4 – Variáveis linguísticas para a probabilidade

Probabilidade P_x	Descrição
Improvável (P_1)	Ocorrência de evento bastante improvável, não deverá ser experienciado no CVP
Remoto (P_2)	Baixa probabilidade de ocorrência durante o CVP
Ocasional (P_3)	Evento de ocorrência provável durante o CVP
Provável (P_4)	Evento poderá verificar-se por mais do que uma ocorrência no CVP
Frequente (P_5)	Evento irá ocorrer com frequência

Tabela 4.5 – Variáveis linguísticas por categoria de impacto

Impacto I_y	Categoria do impacto
	Âmbito (IA) (desvio aos objetivos propostos)
Insignificante (I_1)	Responde a todos os objetivos na íntegra ou desvio insignificante em alguns objetivos
Marginal (I_2)	Um ou mais objetivos não críticos são parcialmente cumpridos
Substancial (I_3)	Não responde a alguns objetivos não críticos na íntegra, ou não satisfaz na totalidade objetivos críticos
Crítico (I_4)	Risco de insucesso num ou mais objetivos críticos
Tempo (IT) (atraso nos prazos relevantes – <i>milestones</i>)	
Insignificante (I_1)	Sem atrasos ou atrasos sem relevância
Marginal (I_2)	Atraso aceitável/gerível nos <i>milestones</i>
Substancial (I_3)	Causará atrasos irrecuperáveis nos <i>milestones</i> , exigindo alteração ao planeamento
Crítico (I_4)	Atrasos bastante relevante que poderão por em causa a própria viabilidade do projeto
Custo (IC) (aumento relativo ao custo estimado)	
Insignificante (I_1)	Sem desvio ou desvio ligeiro enquadrável nas estimativas de custo
Marginal (I_2)	Aumento aceitável, mas pode obrigar a uma revisão das estimativas de custo
Substancial (I_3)	Desvio considerável que poderá ter de ser custeado pelos <i>stakeholders</i> responsáveis
Crítico (I_4)	Desvio avultado que poderá resultar em custos elevados para os <i>stakeholders</i> , ou pôr em causa a viabilidade do projeto
Qualidade (IQ) (correspondência aos critérios dos <i>stakeholders</i> preponderantes)	
Insignificante (I_1)	Corresponde aos critérios
Marginal (I_2)	Decréscimo de qualidade aceitável
Substancial (I_3)	Decréscimo relevante para os intervenientes
Crítico (I_4)	Discrepância inaceitável com os critérios

Por sua vez, no Nível 2, é introduzido o *input DC*. Este quantifica a capacidade dos intervenientes/organização de detetar e reagir ao evento de risco. Enquanto que no primeiro nível operacional são apenas tidas em conta as características intrínsecas do evento de risco em estudo, a este nível será considerado a influência que a própria gestão do risco e os seus intervenientes terão no nível de risco em avaliação.

A título demonstrativo, como ilustrado na Figura 4.1 (página 50), suponha-se um qualquer projeto *X* sujeito a um determinado evento de risco *Y*, e que se este mesmo projeto em duas situações distintas, *A* e *B*, hipoteticamente, seria da responsabilidade de duas organizações diferentes. Para *A* e *B*, a avaliação dos níveis de risco primários (*R*), Nível 1, seriam exatamente as mesmas pois apenas são consideradas as características intrínsecas (*P* e *I*) do risco em questão, iguais nas duas situações. Enquanto que, os níveis de risco (*NR*) obtidos no Nível 2, seriam diferentes para *A* e *B*, considerando que seriam atribuídas diferentes variáveis *DC*, pois estar-se-ia perante duas organizações diferentes, com diferentes capacidades de detetar e responder ao evento de risco. Para as situações *A* e *B*, o *NR* correspondente seria menor para a situação em que a organização envolvida apresentasse melhores capacidades e experiência, logo, um maior *DC*.

Podendo ainda acrescentar, que o modelo de risco concebido, na sua avaliação do risco, considera, a um primeiro nível, a natureza do risco na sua forma mais pura e descontextualizada, sem qualquer influência de quem vai interagir com este. No segundo nível, o evento de risco é então contextualizado, considerando a própria influência (humana) que os intervenientes terão na própria perceção de nível de risco, que se está a atribuir no processo de avaliação.

Esta variável Detecção/Controlo deverá considerar as capacidades dos vários intervenientes, quer na gestão quer na execução do projeto, de detecção e antecipação do evento de risco e na sua capacidade de resposta/tratamento em caso de ocorrência. Esta perceção poderá incluir:

- A experiência do(s) gestor(es) de projeto no âmbito em questão;
- As capacidades e experiência dos executantes a envolver no projeto em escrutínio;
- Os processos internos das organizações intervenientes;
- Os meios tecnológicos envolvidos no projeto;
- Outros fatores.

A *DC* poderão ser atribuídas três variáveis linguísticas (Tabela 4.6):

Tabela 4.6 – Variáveis linguísticas para a detecção/controlo

Deteção/Controlo <i>DC_z</i>	Descrição
Reduzido (<i>DC₁</i>)	Capacidade de prevenção e/ ou resposta ao risco é questionável e não garantida
Razoável (<i>DC₂</i>)	Intervenientes/organização com experiência relevante, no entanto a sua capacidade de prevenção e/ou resposta devida não é inteiramente garantida
Elevado (<i>DC₃</i>)	É garantida uma capacidade de prever e responder devidamente ao evento de risco

Também para o nível 2 existirão ainda mais quatro variáveis de entrada, são estas os quatro níveis de risco primário por categoria de impacto: *RA*, *RT*, *RC*, *RC*. No entanto, por sua vez, estas constituem *outputs* do Nível 1. Logo, a sua caracterização será a mesma que a realizada sobre as variáveis de saída *NR-*, sendo-lhe atribuídas as mesmas três variáveis linguísticas de saída (Tabela 4.7).

4.3.2. Variáveis de saída

Os *outputs* fundamentais do modelo proposto, e *outputs* da fase de avaliação de riscos do processo de gestão do risco preconizado (Figura 2.8, página 17) serão os níveis de risco de cada um dos dois níveis do modelo (Figura 4.3, página 52). Assim, em cada um dos níveis, ter-se-á os quatro níveis de risco por categoria de impacto (*-A*, *-T*, *-C* e *-Q*) e o nível de risco agregado, que corresponde, portanto, à agregação dos quatro níveis de risco por categoria.

A todas as variáveis de nível de risco envolvidas, isto é, todas as variáveis cujos prefixos são *R-* ou *NR-* (primários ou integrado, respetivamente), podem ser atribuídas as três variáveis linguísticas seguintes:

Tabela 4.7 – Variáveis linguísticas para os níveis de risco

<i>R-</i> e <i>NR-</i>	Descrição	Estratégia de resposta ao risco
Baixo (B)	A prioridade do seu tratamento é reduzida, no entanto a sua “existência” não deve ser negligenciada. Viabilidade do projeto não está posta em causa.	Aceitar
Médio (M)	Prioridade de tratamento é ainda considerável, e poderá exigir uma atenção adicional na sua gestão. Viabilidade do projeto potencialmente em causa.	Mitigar
Alto (A)	Exige um nível de alta prioridade na abordagem da sua gestão. Viabilidade do projeto está posta em causa.	Prevenir

De ressaltar, que nesta fase se está ainda numa dimensão elementar do modelo, ou seja, por forma a simplificar a sua explicação, apenas ainda se considerou a avaliação de um único evento de risco por apenas um especialista. Posteriormente (ponto 4.7.2), as potencialidades do modelo serão alargadas à possibilidade da avaliação de vários eventos de risco, por vários especialistas, pelo que o número de variáveis de saída crescerá proporcionalmente à dimensão do conjunto dos dados de entrada (por número de eventos de risco e pelo número de especialistas consultados).

Estas variáveis permitirão:

- Ter uma perceção qualitativa dos eventos de risco considerados, atribuindo variáveis linguísticas que facilmente avaliam o nível de risco associado (tal como alto, médio, baixo);
- Perante um nível de risco obtido poderá ficar delineada a estratégia a aplicar na resposta/tratamento do risco (Tabela 4.7, atribuição meramente exemplificativa e não característica do modelo, página 57);
- Fazer uma hierarquização dos vários riscos, obtendo um valor numérico do nível de cada risco considerado;
- Obter, por agregação, um nível de risco global de todo o projeto;
- Obter variados níveis de riscos por agregação, mediante as necessidades detetadas pela gestão de projeto. Como por exemplo, níveis de risco por categoria de impacto considerando todos os eventos de risco, ou até, categorizar os eventos de risco e obter níveis de risco por categoria, entre outros.
- Fazer a distinção entre os níveis de risco primários, em que é caracterizado intrinsecamente o evento de risco, e os níveis de risco integrados, onde este é contextualizado na organização e nos seus processos. Esta propriedade permitirá fazer, por exemplo, a análise da interferência que duas organizações diferentes terão sobre o nível de risco de um mesmo evento de risco.

4.4. Processo

Recordando o processo de gestão do risco (Figura 2.8, página 17), a Avaliação do Risco é precedida pela fase de Identificação de Riscos, portanto, após um reconhecimento e registo dos potenciais eventos de risco aplicáveis. Assim, após identificação, é então possível dar início à sua avaliação. Como se pode descortinar da descrição da arquitetura do modelo, do ponto de vista processual, o modelo de avaliação de riscos pode ser estruturado em três fases operacionais: análise de dados, inferência difusa e tratamento de dados.

- **1. Análise de dados** – os eventos de risco são analisados de forma a que se recolha os dados necessários às operações: probabilidade, impacto e deteção/controlo;
- **2. Inferência difusa** – nesta fase executam-se os dois sistemas de inferência difusa correspondentes aos dois níveis hierárquicos do modelo;
- **3. Tratamentos de dados** – dos SID obtém-se os níveis de risco por categoria de impacto, com estes por aplicação de métodos de agregação pode-se chegar a variados resultados, mediante as necessidades do projeto.

Na Figura 4.6 (página 60) encontram-se representado de forma gráfica o *workflow* aplicável ao modelo.

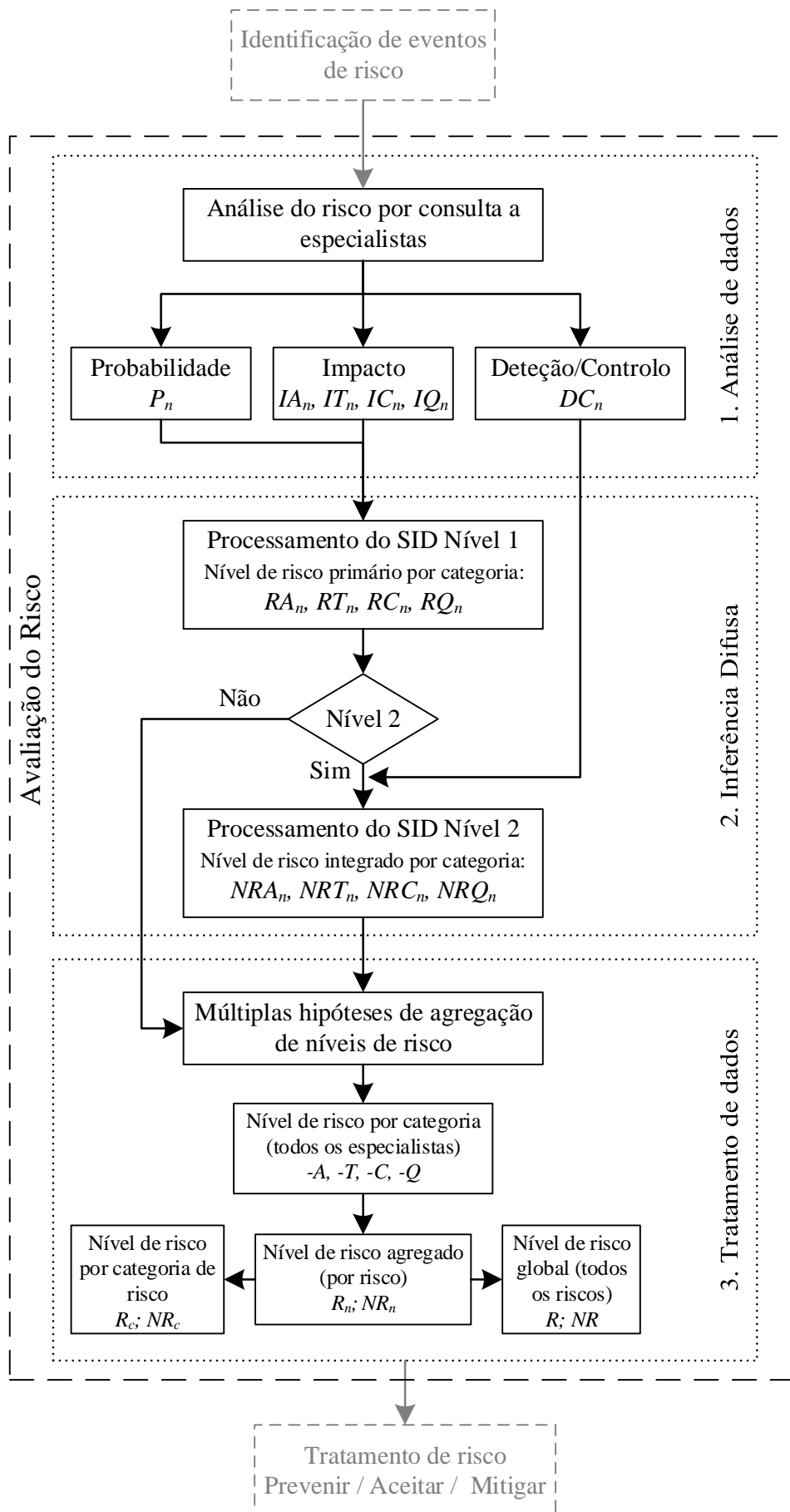


Figura 4.6 – Processo de avaliação do risco do modelo

4.5. Análise de dados

A gestão do risco no contexto da gestão de projeto, enfrenta recorrentemente a dificuldade de o gestor de projeto e/ou outros intervenientes, não disporem de dados estatísticos, em número e qualidade viáveis, que possam por si só constituir *inputs* ao processo da gestão do risco.

Dessa forma, o presente modelo foi concebido de modo a que, a base de dados que define as suas variáveis de entrada tenha como origem a consulta a um ou mais especialistas, com conhecimento/experiência relevante no âmbito do projeto em avaliação.

Considerando o procedimento para aplicação do modelo, anteriormente explanado (Figura 4.6, página 60), os especialistas envolvidos deverão ter, num primeiro nível, a capacidade de perceção para atribuir um nível de probabilidade e impacto do evento de risco. E também, a um segundo nível, um conhecimento alargado dos intervenientes/organização envolvidos. Em alternativa, para benefício dos resultados, podem ser designados diferentes especialistas para os dois níveis. Nesta consulta o(s) especialista(s) designado(s) atribuirão, para cada risco, uma variável linguística que caracterize cada um dos seis *inputs*: *P*, *IA*, *IT*, *IC*, *IQ*, *DC*.

Para esta consulta pode-se recorrer a diferentes ferramentas, aplicáveis não só na avaliação do risco, mas também na identificação dos eventos de risco [8]:

- *Check-lists*;
- *Brainstorming*;
- Entrevistas estruturadas ou semi-estruturadas;
- Método *Delphi*;
- Análises de cenários;
- Análises de impacto de negócio;
- Análises causa/consequência;
- Outros questionários e/ou formulários.

4.6. Inferência Difusa

Como referido, o modelo apresentado nesta dissertação baseia-se na aplicação de Sistemas de Inferência Difusa para atribuir aos eventos de risco um nível qualitativo à sua potencial ocorrência.

O modelo SID-AR aplica o SID em dois níveis (Figura 4.3, página 52), estes dois sistemas serão identificados por: SID1 e SID2. Na Figura 4.7 (página 63) encontra-se esquematizada

a aplicação para o SID1. Por sua vez, cada um destes sistemas é aplicado por quatro vezes, correspondentes a cada categoria de impacto: SID1.A, SID1.T, SID1.C, SID1.Q, SID2.A, SID2.T, SID2.C, SID2.Q. Posto isto, para cada evento de risco (e por especialista consultado), para se proceder uma avaliação do risco mais completa, que compreenda os dois níveis, ou seja, obtendo-se um nível de risco integrado agregado, terá de se efetuar o processamento da inferência difusa por oito vezes

Recordando o processo referido no ponto 3.5, sabe-se que o algoritmo de conceção de um sistema de inferência difusa deverá completar cinco etapas fundamentais:

1. Identificar variáveis de entrada (*inputs*) e variáveis de saída (*outputs*);
2. Definir conjuntos difusos;
3. Criar funções de pertença;
4. Criar regras de inferência difusa;
5. Simular o sistema de inferência de lógica difusa resultante.

De seguida explana-se detalhadamente cada uma destas etapas para a ferramenta em questão.

4.6.1. Identificação de variáveis

Na Tabela 4.8 encontram-se identificadas as variáveis de entrada e de saída para cada SID.

Tabela 4.8 – Variáveis por SID				
	SID		<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
SID1	SID1.A	<i>P</i>	<i>IA</i>	<i>RA</i>
	SID1.T		<i>IT</i>	<i>RT</i>
	SID1.C		<i>IC</i>	<i>RC</i>
	SID1.Q		<i>IQ</i>	<i>RQ</i>
SID2	SID2.A	<i>RA</i>	<i>DC</i>	<i>NRA</i>
	SID2.T	<i>RT</i>		<i>NRT</i>
	SID2.C	<i>RC</i>		<i>NRC</i>
	SID2.Q	<i>RQ</i>		<i>NRQ</i>

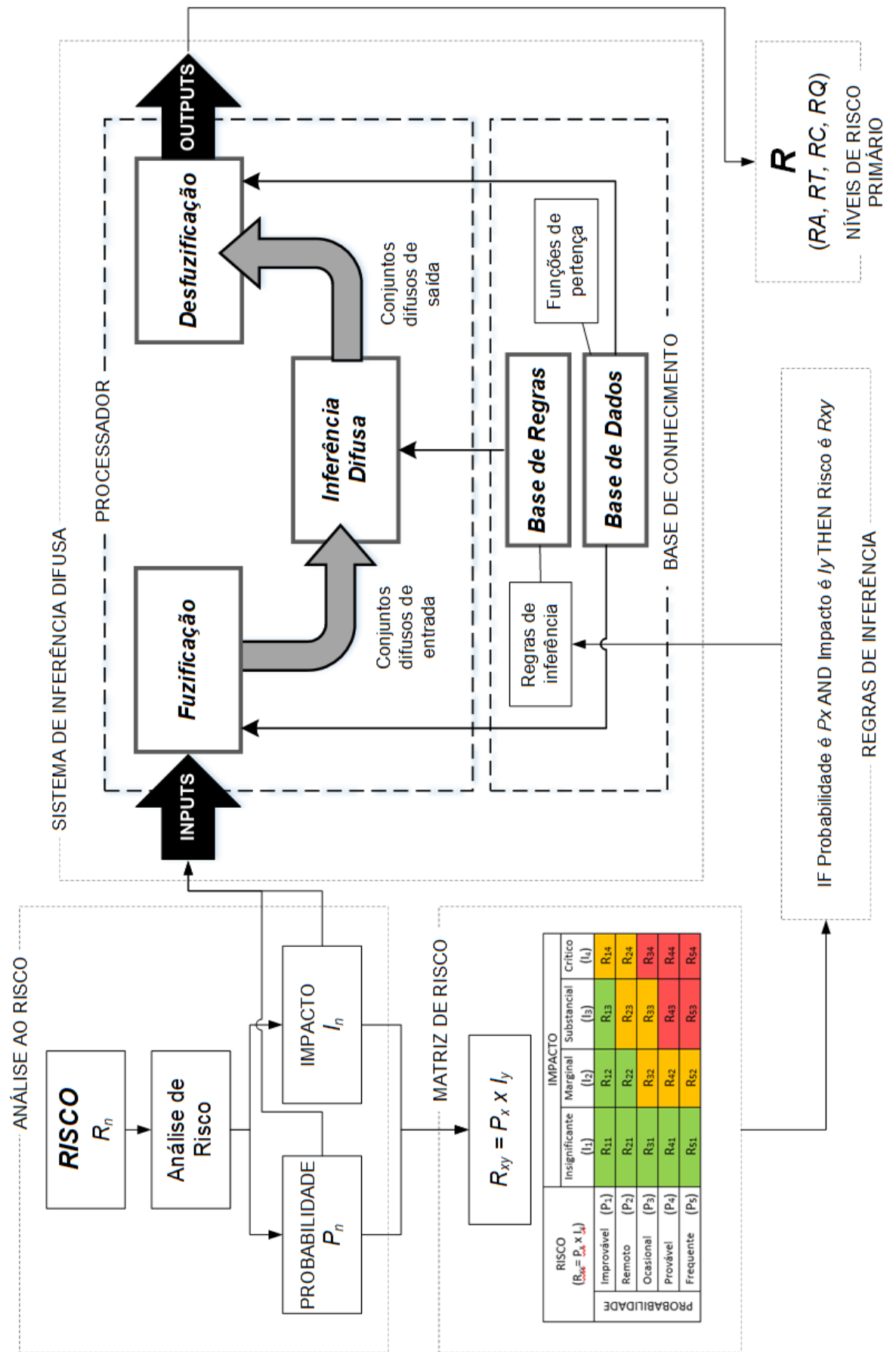


Figura 4.7 – Esquemática da aplicação do SID1

4.6.2. Conjuntos difusos e funções de pertinência

Neste modelo as variáveis são caracterizadas em conjuntos difusos (CD) e respectivas funções de pertinência (FP) tal como referido no ponto 3.5. Optou-se pela aplicação de funções do tipo triangular devido à sua simplicidade e porque a aplicação de funções mais complexas não representa vantagens relevantes, para a aplicação em causa.

Estas funções são descritas como função de um vetor x e dependem de três parâmetros escalares a , b e c segundo [21]:

$$f(x; a, b, c) \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (4)$$

Assim, um CD caracterizado por uma FP deste género é integralmente definido por um vetor (a, b, c) , composto pelos três pontos que definem um triângulo, em que:

- a – é o limite mínimo do triângulo
- b – localiza o pico do triângulo
- c – é o limite máximo do triângulo

Como exemplo, um conjunto difuso cujo vetor é $(3, 6, 8)$ será graficamente representado por (Figura 4.8):

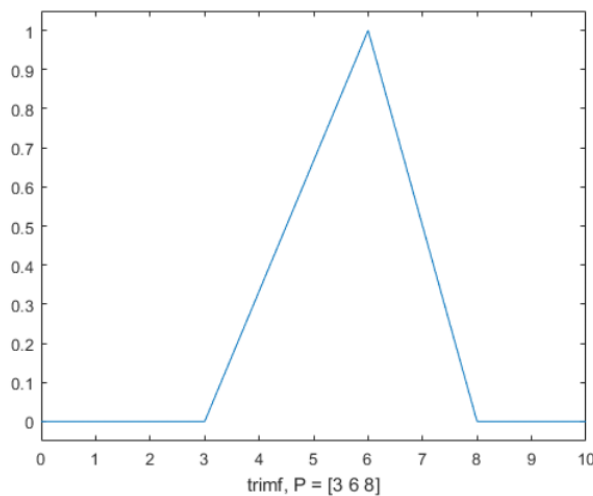


Figura 4.8 – Função triangular
(Fonte: Referência [21])

Nas Tabelas 4.9 e 4.10 são apresentadas as caracterizações dos CD para as variáveis de entrada e saída, respetivamente. Sendo que cada categoria de impacto tem a mesma caracterização. Também as variáveis de saída quer para o SID1, quer para o SID2, tem a mesma caracterização.

Tabela 4.9 – Caracterização das variáveis de entrada		
Variável linguística	Tipo função de pertença	Vector
Probabilidade, $P_x \in [0,1]$		
Improvável (P_1)	Triangular	(0, 0, 1/4)
Remoto (P_2)	Triangular	(0, 1/4, 1/2)
Ocasional (P_3)	Triangular	(1/4, 1/2, 3/4)
Provável (P_4)	Triangular	(1/2, 3/4, 1)
Frequente (P_5)	Triangular	(3/4, 1, 1)
Impacto, $I_y \in [0,10]$		
Insignificante, (I_1)	Triangular	(0, 0, 10/3)
Marginal (I_2)	Triangular	(0, 10/3, 20/3)
Substancial (I_3)	Triangular	(10/3, 20/3, 10)
Crítico (I_4)	Triangular	(20/3, 10, 10)
Deteção/Controlo, $DC_z \in [0,100]$		
Reduzido (DC_1)	Triangular	(0, 0, 50)
Razoável (DC_2)	Triangular	(0, 50, 100)
Elevado (DC_3)	Triangular	(50, 100, 100)

Tabela 4.10 – Caracterização das variáveis de saída		
Variável linguística	Tipo função de pertença	Vector
Nível de risco, $R_{xy}, NR_{wz} \in [0,10]$		
Baixo (B)	Triangular	(0, 0, 5)
Médio (M)	Triangular	(0, 5, 10)
Alto (A)	Triangular	(5, 10, 10)

Graficamente as FP de entrada estão representadas nas Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 (página 66), enquanto que as FP de saída, para R - e NR -, são apresentadas nas Figuras 4.12 e 4.13 (página 67), respetivamente.

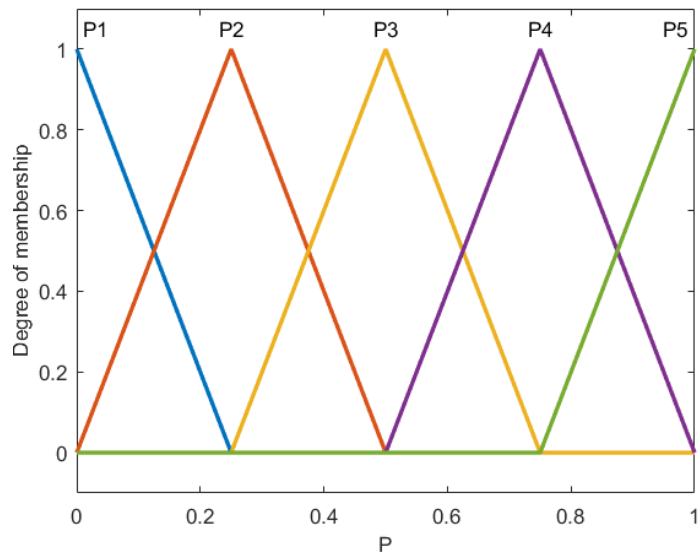


Figura 4.9 – FP dos CD para Probabilidade

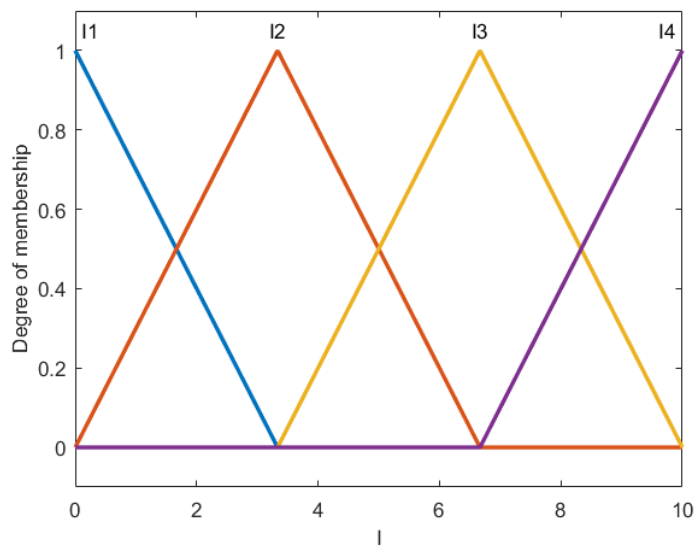


Figura 4.10 – FP dos CD para Impacto

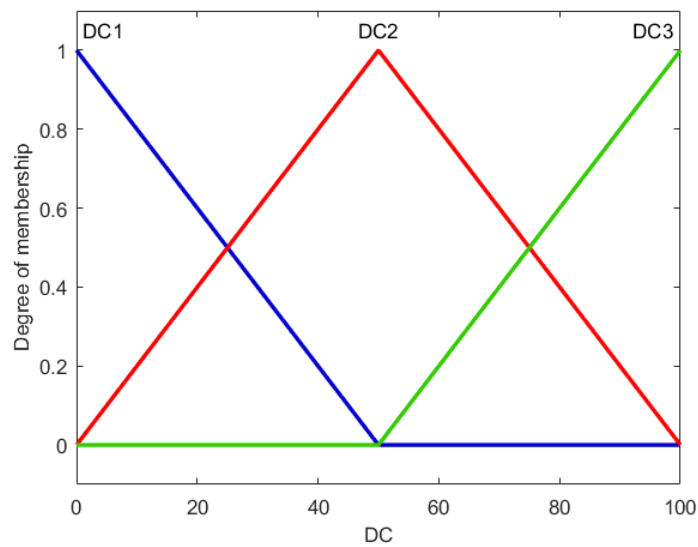


Figura 4.11 – FP dos CD para Detecção/Controlo

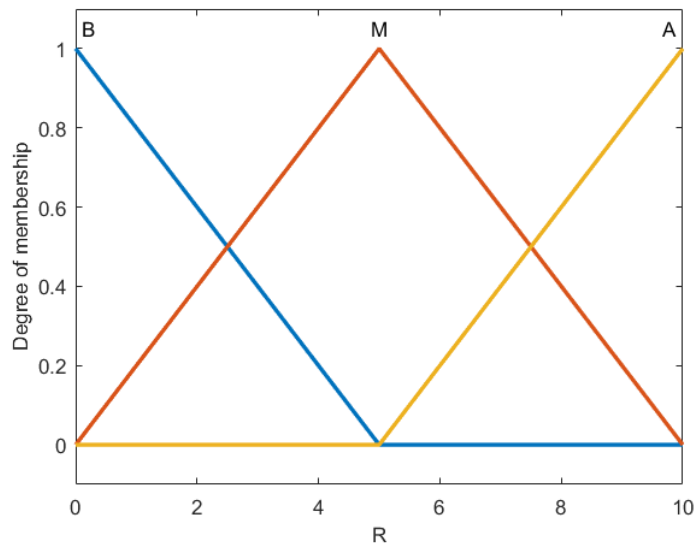


Figura 4.12 – FP dos CD para Nível de Risco Primário

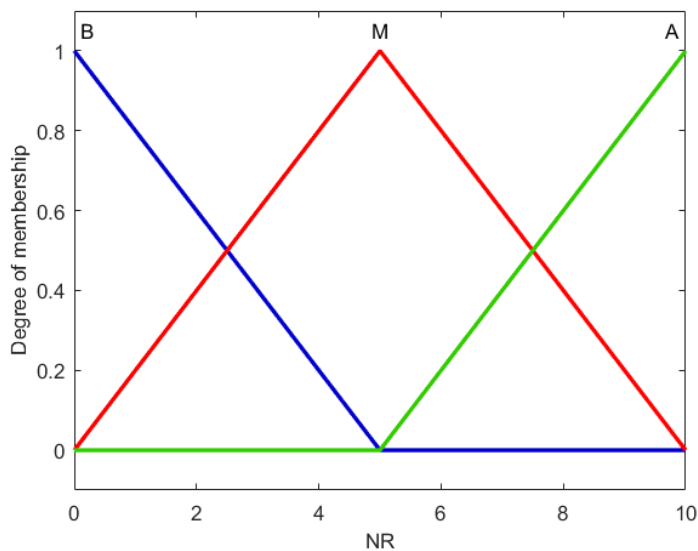


Figura 4.13 – FP dos CD para Nível de Risco Integrado

4.6.3. Regras de inferência difusa

Como referido no ponto 3.5.3 o mecanismo de processamento de um SID tem como base um conjunto de regras lógicas do tipo *IF-THEN*. Um SID possui tantas regras de inferência quanto o número de combinações possíveis entre todas as variáveis linguísticas dos seus *inputs*.

Assim, para SID1:

$$R_{xy} = P_x \times I_y ,$$

as regras de inferência são formuladas como:

“*IF* probabilidade é P_x *AND* impacto é I_y *THEN* nível de risco primário é R_{xy} ”

tendo cinco variáveis linguísticas para o *input P* e quatro para *I* obter-se-á vinte regras de inferência.

Nesta fase, para formulação das regras de inferência, recorre-se a uma matriz *input-output* originando uma matriz de risco representada na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Matriz de risco para SID1

NÍVEL DE RISCO PRIMÁRIO ($R_{xy} = P_x \times I_y$)		IMPACTO			
		Insignificante (I_1)	Marginal (I_2)	Substancial (I_3)	Crítico (I_4)
PROBABILIDADE	Improvável (P_1)	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
	Remoto (P_2)	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}
	Ocasional (P_3)	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}
	Provável (P_4)	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}
	Frequente (P_5)	R_{51}	R_{52}	R_{53}	R_{54}

De forma análoga, para SID2:

$$NR_{wz} = R_w \times DC_z ,$$

as regras de inferência são formuladas como:

“*IF* nível de risco primário é R_w *AND* deteção/controlo é DC_z *THEN* nível de risco integrado é NR_{wz} ”

resultando na matriz de risco representada na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Matriz de risco para SID2

NÍVEL DE RISCO INTEGRADO ($NR_{wz} = R_w \times DC_z$)		DETEÇÃO/CONTROLO		
		Reduzido (DC_1)	Razoável (DC_2)	Elevado (DC_3)
NÍVEL DE RISCO PRIMÁRIO	Baixo (R_1)	NR_{11}	NR_{12}	NR_{13}
	Médio (R_2)	NR_{21}	NR_{22}	NR_{23}
	Alto (R_3)	NR_{31}	NR_{32}	NR_{33}

Recorrendo às matrizes anteriores e atribuindo a cada saída uma variável linguística para o nível de risco, enumeradas na Tabela 4.10 (página 65), define-se para o modelo as matrizes representadas nas Tabelas 4.13 e 4.14 (página 67).

Tabela 4.13 – Níveis de risco para SID1

NÍVEL DE RISCO PRIMÁRIO		IMPACTO			
		Insignificante (I_1)	Marginal (I_2)	Substancial (I_3)	Crítico (I_4)
PROBABILIDADE	Improvável (P_1)	B	B	B	M
	Remoto (P_2)	B	B	M	M
	Ocasional (P_3)	B	M	M	A
	Provável (P_4)	B	M	A	A
	Frequente (P_5)	B	M	A	A

Tabela 4.14 – Níveis de risco para SID2

NÍVEL DE RISCO INTEGRADO		DETEÇÃO/CONTROLO		
		Reduzido (DC_1)	Razoável (DC_2)	Elevado (DC_3)
NÍVEL DE RISCO PRIMÁRIO	Baixo (R_1)	M	B	B
	Médio (R_2)	A	M	B
	Alto (R_3)	A	A	M

Das matrizes resultam as vinte e nove regras de inferência, presentes do Anexo II deste documento.

4.6.4. Simulação do sistema

Após a definição do modelo levada a cabo nos pontos anteriores, é então possível a sua execução. No âmbito desta dissertação, o SID-AR é simulado com recurso ao *MATLAB*[®], e em específico à sua ferramenta, *Fuzzy Logic Toolbox*TM (designada por *Fuzzy Logic Designer* na versão R2016a).

Esta ferramenta será usada para efetuar o processamento dos SID (SID1 e SID2), introduzindo para cada um, os respetantes *inputs* (dois) e recolhendo o respetivo *output*.

Esta aplicação permite a implementação de dois tipos de sistemas de inferência difusa:

- **Mamdani**: os *outputs* são conjuntos difusos. O método *Mamdani* é intuitivo e melhor adaptado a *inputs* provenientes do raciocínio humano [29], e tem uma ampla aceitação [21].

- **Sugeno**: podem ser usados para modelar qualquer sistema de inferência no qual as FP de saída sejam lineares ou constantes [21]. É computacionalmente mais eficiente [29] e é adequado a análises matemáticas [21].

Sendo o sistema *Mamdani* o que melhor se enquadra no SID-AR. Assim no *Fuzzy Logic Designer* foram implementados os dois sistemas segundo o tipo *Mamdani*, o SID1 tendo como *inputs*: *P* e *I*; e *output*: *R*; e o SID2 com os *inputs*: *R* e *DC*; e *output*: *NR* (Figuras 4.14 e 4.15). Quanto ao método de *desfuzificação* é usado o método centroide (*centroid*), por ser o mais comumente usado, para aplicações do género.

Posteriormente, através do *Membership Function Editor*, são introduzidas e caracterizadas as funções de pertença segundo as Tabelas 4.9 e 4.10 (página 65) (Figuras 4.16 e 4.17, página 71).

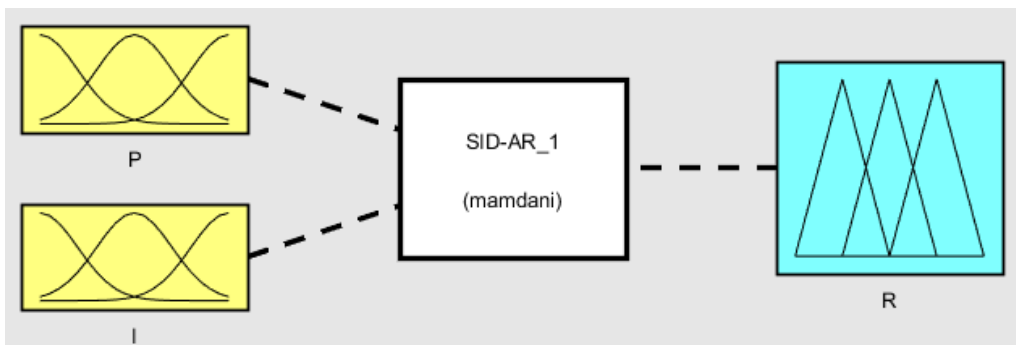


Figura 4.14 – Sistema Mamdani para o SID1

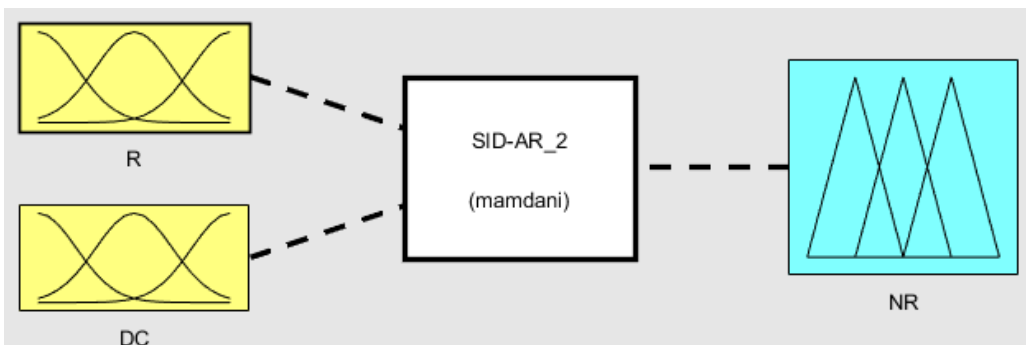


Figura 4.15 – Sistema Mamdani para o SID2

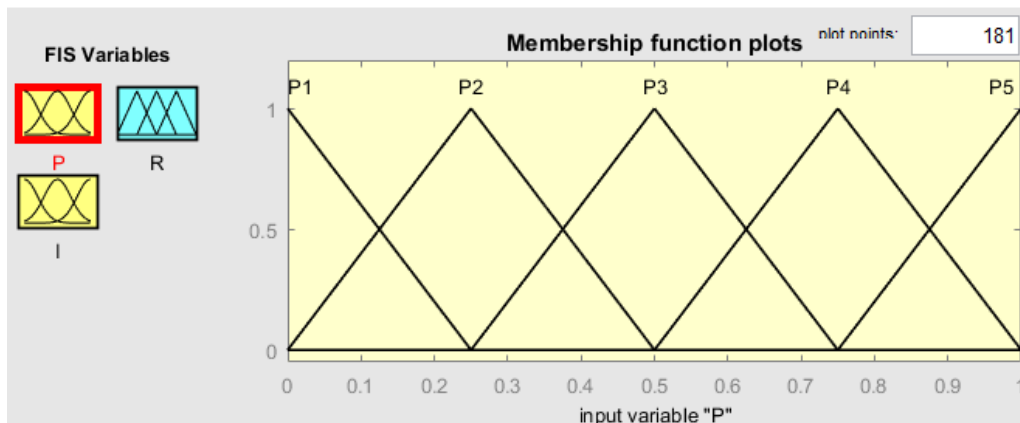


Figura 4.16 – Caracterização das FP de entrada

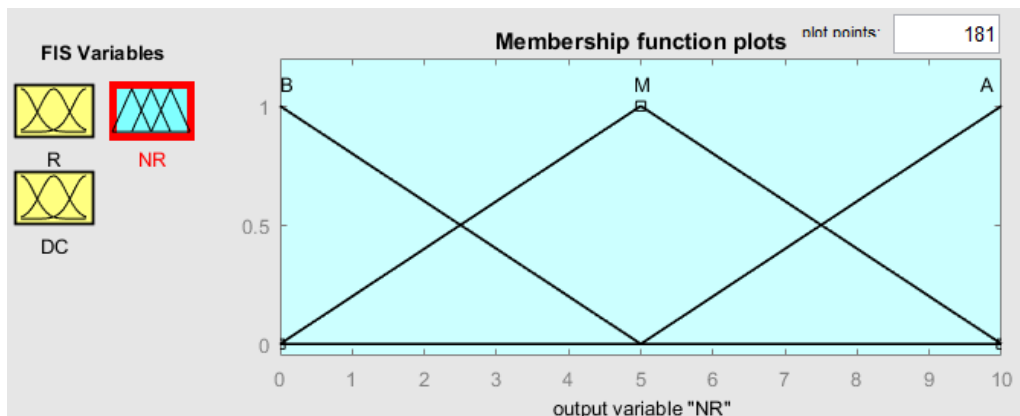


Figura 4.17 – Caracterização das FP de saída

Por fim, e para caracterizar inteiramente os sistemas, recorre-se ao *Rule Editor* e introduz-se as regras de inferência, enumeradas no Anexo II (Figura 4.18).

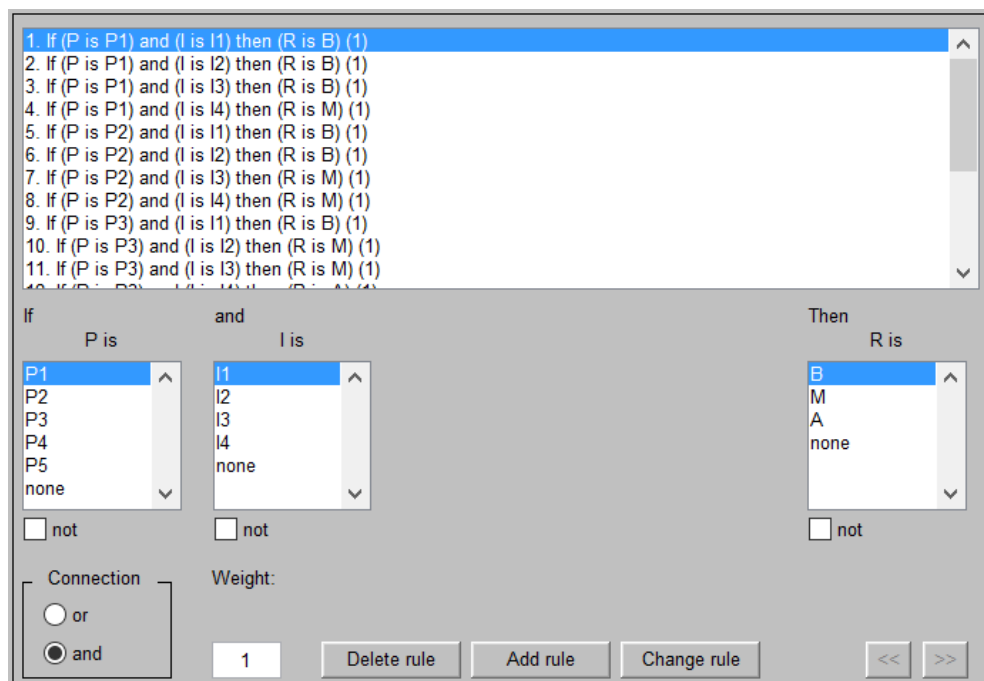


Figura 4.18 – Introdução das regras de inferência difusa no *Rule Editor*

No Anexo III são apresentadas as linhas de código de implementação dos dois sistemas em *MATLAB*.

Assim, após completada a caracterização dos SID1 e SID2, é possível mapear graficamente os resultados através de superfícies (Figuras 4.20 e 4.21).

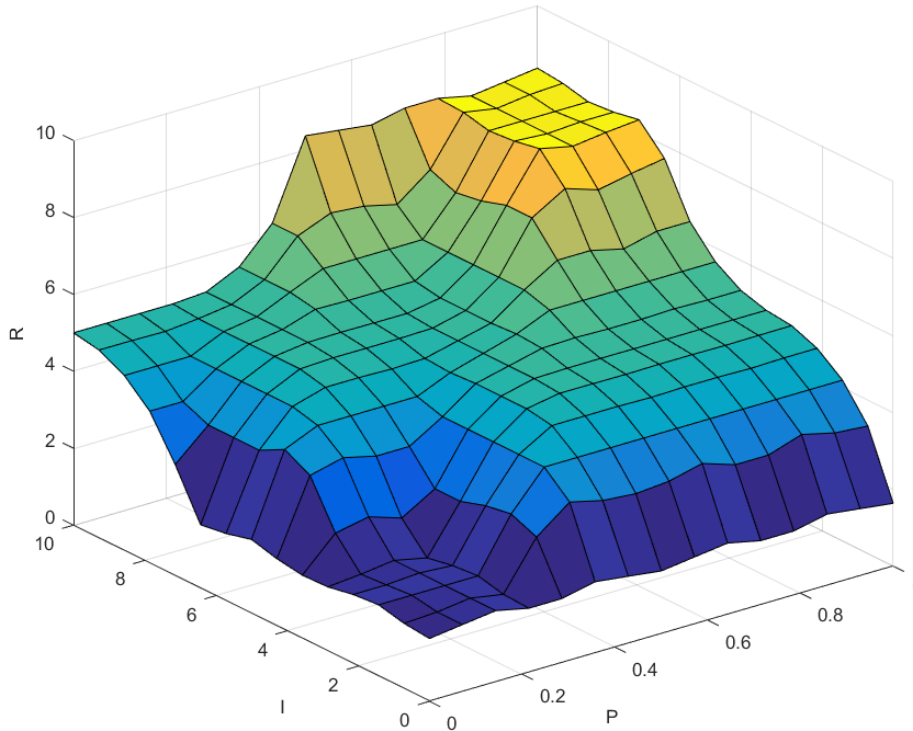


Figura 4.19 – Superfície SID1

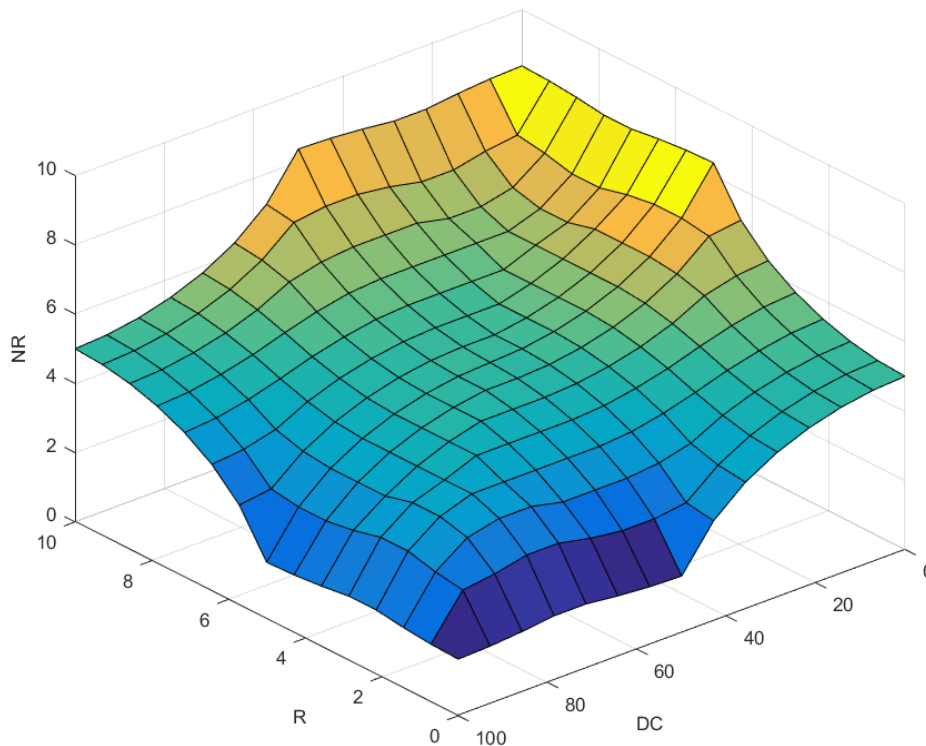


Figura 4.20 – Superfície SID2

Por meio desta ferramenta é possível obter resultados específicos de uma situação em concreto, introduzido os *inputs* e recolhendo os respetivos *outputs* no *interface Rule Viewer*. As variáveis são introduzidas e devolvidas em valores numéricos (Figura 4.19).

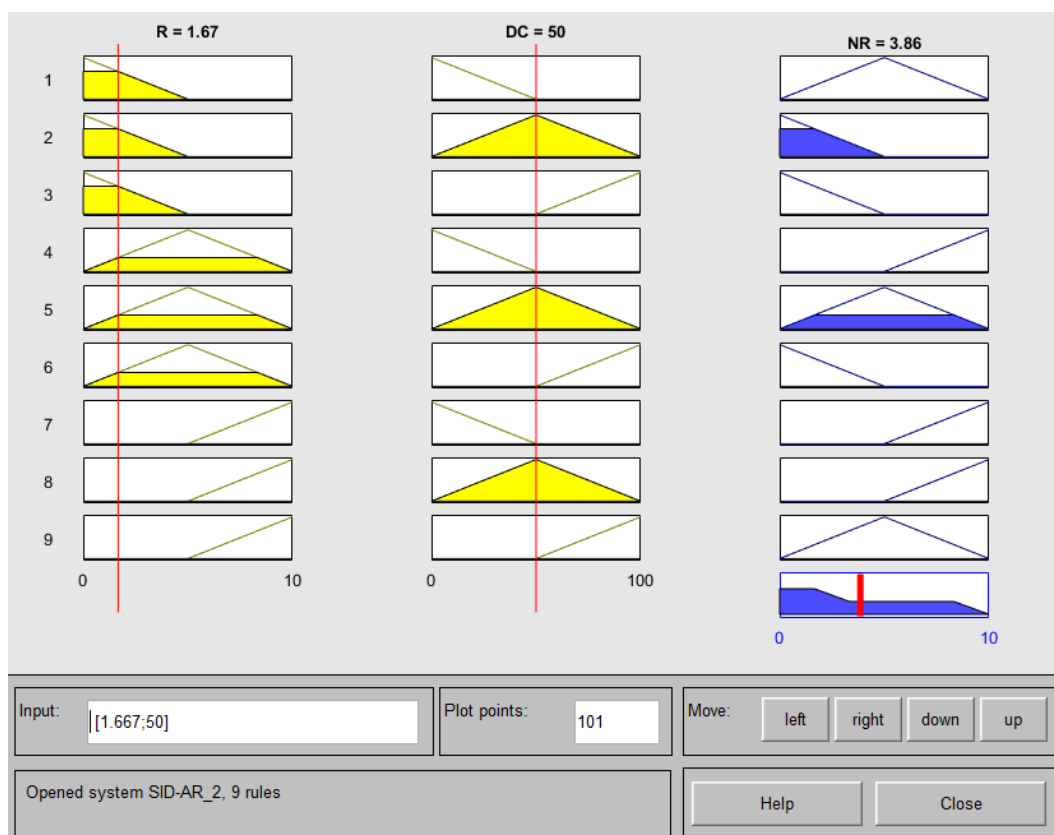


Figura 4.21 – Introdução das regras de inferência difusa no *Rule Viewer*

4.7. Tratamento de dados

A terceira fase do processo de avaliação de risco do SID-AR, será então a fase de tratamento dos dados recolhidos dos SID (Figura 4.6, página 60), que tem o intuito de alcançar efetivamente os *outputs* propostos numa qualquer aplicação do modelo. Para introduzir esta fase torna-se necessário entender a dimensão que a utilização deste modelo pode potencialmente atingir.

Até este ponto, e para facilitar a sua perceção, o modelo SID-AR foi apresentado de uma forma elementar, em que a sua dimensão esteve restringida à sua aplicação na avaliação de um único evento de risco, analisado pela recolha de opinião de um único especialista. No entanto, este modelo pretende apresentar a versatilidade como uma das características primordiais, de forma a que a sua aplicação não encontre limitações na multiplicidade de projetos que a gestão de projeto pode abarcar.

Assim, este modelo de avaliação do risco pode ser aplicado no estudo de vários riscos considerados para o projeto em questão, e no seu processo pode ser considerada a recolha de opinião de diversos especialistas. No entanto, a complexidade da sua aplicação é proporcionalmente direta, pois o número de variáveis envolvidas aumenta proporcionalmente.

Referindo a Figura 4.5 (página 54), recordamos o esquema elementar para avaliação de um único risco, tendo em consideração a opinião de um só especialista. Logo, neste caso simples, podem ser feitos diversos tratamentos de dados, mediante as características do projeto e a informação que a gestão do projeto pretende. Os *outputs* que podem ser retirados são:

- Nível 1
 - Nível de risco primário por categoria de impacto (*RA, RT, RC e RQ*)
 - Nível de risco primário agregado (*R*)
- Nível 2
 - Nível de risco integrado por categoria de impacto (*NRA, NRT, NRC e NRQ*)
 - Nível de risco integrado agregado (*NR*)

Enquanto que os primeiros de cada nível são diretamente obtidos dos SID, os segundos resultam da agregação dos primeiros. Esta operação de agregação será um tratamento de dados posterior à inferência difusa e para o modelo proposto constitui a aplicação do método de média ponderada. Desta forma, este modelo, permite que os seus *outputs* agregados ponderem a atribuição de diferentes pesos entre as variáveis de origem, mediante o âmbito da aplicação do SID-AR.

4.7.1. Operação de agregação

Assim, aquando da aplicação do modelo, se devido à quantidade de variáveis envolvidas há a necessidade de agregar duas ou mais variáveis num *output* único, efetuam-se operações de média ponderada, segundo a expressão genérica da equação 5:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (5)$$

em que:

\bar{X} – valor agregado

w_i – ponderação de cada variável a agregar

x_i – valor de cada variável a agregar

Os pesos de cada variável não podem ser negativos. Alguns poderão ser zero, mas não todos. Quando estes são normalizados, isto é, quando a soma de todos é igual a 1, obtém-se uma expressão simplificada (equação 6):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$
$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (6)$$

Se todos os pesos iguais (equação 7):

$$w_i = \frac{1}{n}$$
$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (7)$$

4.7.2. Multiplicidade de resultados

Mediante a natureza do projeto em estudo, e claro, dos riscos envolvidos, o modelo, ou os seus resultados, podem ser ajustados às necessidades da gestão de projeto.

Como entendido, na fase de análise de dados (Figura 4.6, página 60), os especialistas deverão classificar seis variáveis: *P, IA, IT, IC, IQ, DC*. Estas constituem *inputs* dos SID de onde se obtêm oito variáveis de saída: *RA, RT, RC, RQ, NRA, NRT, NRC, NRQ*. Logo, se se considerar estarem a ser avaliados quatro riscos, os *outputs* dos SID serão trinta e dois parâmetros, e no caso, de serem envolvidos três especialistas, estes aumentam para noventa e seis parâmetros.

Percebe-se então que há a necessidade de agregar estes resultados, em *outputs* que respondam de uma forma mais direta às necessidades de cada projeto. E desta forma, simplificar os resultados, e claro, melhorar as potencialidades do modelo desenvolvido.

Na Figura 4.22 (página 77) é apresentado um fluxograma a exemplificar a aplicação do SID-AR.

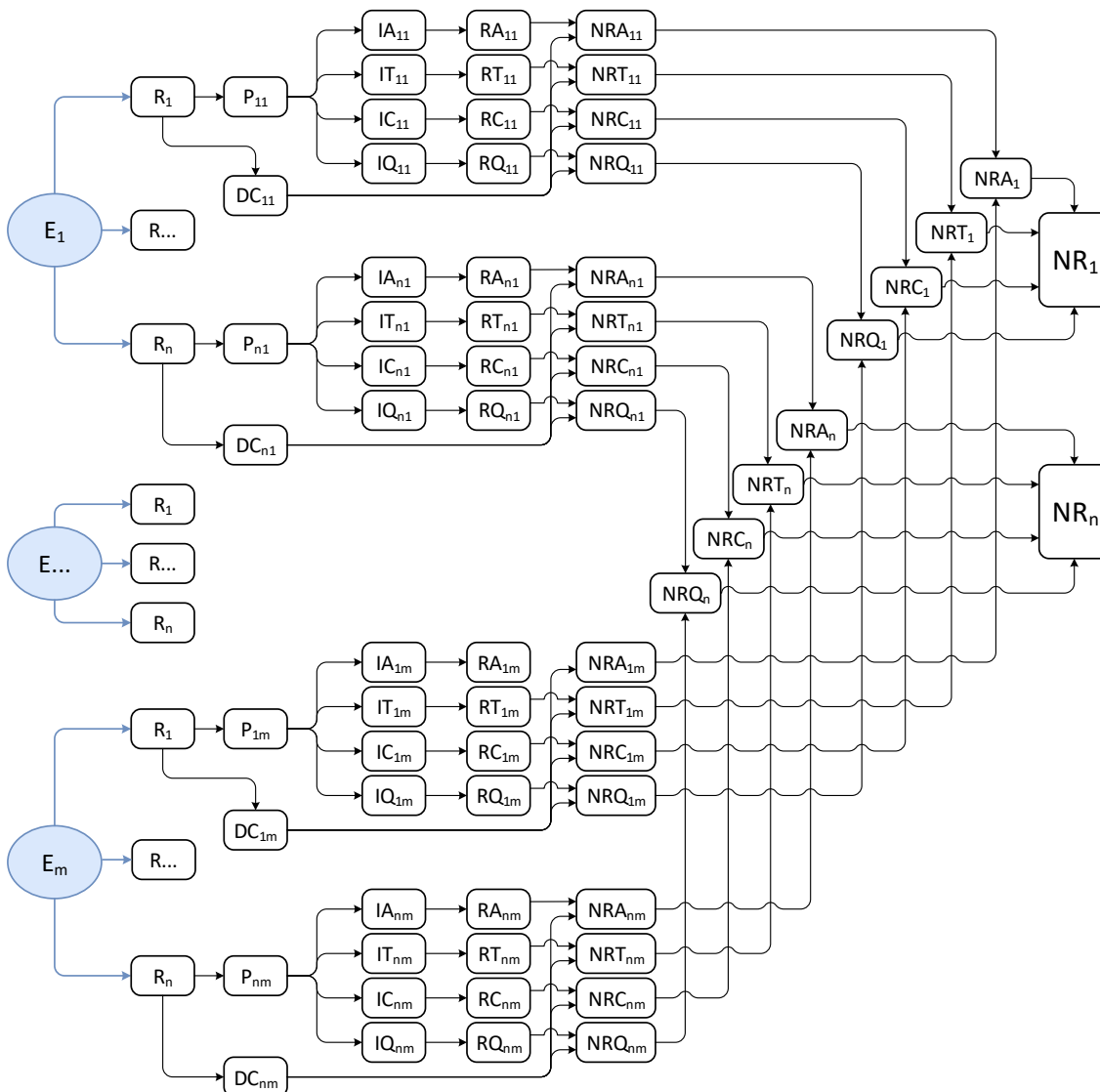


Figura 4.22 – Fluxograma de exemplo de aplicação

Para n riscos e considerando a análise de m especialistas, os *outputs* finais obtidos seriam os elementos do conjunto $\{NR_1, NR_2, NR_3, \dots, NR_n\}$, composto por um nível de risco integrado agregado para cada um dos n riscos avaliados.

O fluxograma permite perceber de uma forma gráfica que, para este exemplo genérico, cada um dos m especialistas ($E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$), na sua análise, atribui a cada um dos n riscos ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$) cada um dos seis parâmetros (fase 1 – Figura 4.23, página 78):

- P_{nm} – Probabilidade, do risco n segundo o especialista m ;
- IA_{nm} – Impacto no âmbito, do risco n segundo o especialista m ;
- IT_{nm} – Impacto no tempo, do risco n segundo o especialista m ;

- IC_{nm} – Impacto no custo, do risco n segundo o especialista m ;
- IQ_{nm} – Impacto na qualidade, do risco n segundo o especialista m ;
- DC_{nm} – Detecção/Controlo, do risco n segundo o especialista m .

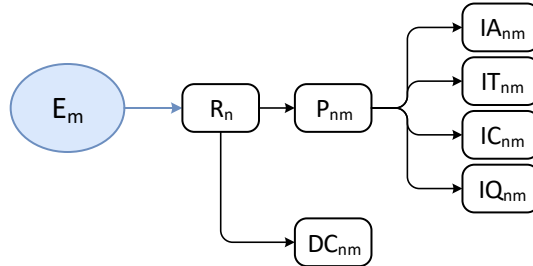


Figura 4.23 – Fase 1 de exemplo de aplicação

Após a análise dados segue a Inferência Difusa em que são aplicados de forma subsecutiva os dois SID, obtendo-se um nível de risco integrado por categoria de impacto, do risco n segundo o especialista m : NRA_{nm} , NRT_{nm} , NRC_{nm} , NRQ_{nm} (fase 2 – Figura 4.24).

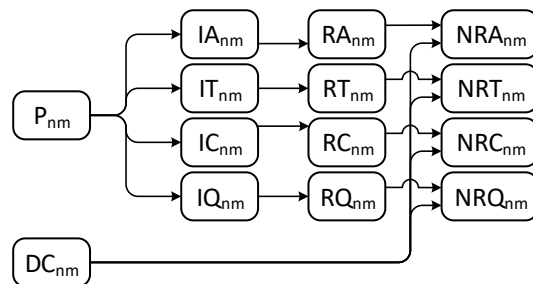


Figura 4.24 – Fase 2 de exemplo de aplicação

Na terceira fase – tratamento de dados – é feita agregação de dados por duas vezes (fase 3 – Figura 4.6, página 60). A partir deste ponto, por meio de agregação, o número de *outputs* vai ser reduzido. Neste exemplo de aplicação, para simplificação, são atribuídos pesos iguais e normalizados para as variáveis a agregar, aplicando-se a equação 7:

- 1ª agregação – para cada risco n , é feita agregação de todos os níveis de risco integrado por categoria de impacto provenientes da análise dos m especialistas. Obtendo-se um nível de risco integrado agregado por categoria de impacto para cada um dos n risco, onde estão englobadas as análises de todos os especialistas (Figura 4.25, página 79):

$$NRA_n = \sum_{i=1}^m \frac{NRA_{nm}}{m} \qquad NRT_n = \sum_{i=1}^m \frac{NRT_{nm}}{m}$$

$$NRC_n = \sum_{i=1}^m \frac{NRC_{nm}}{m} \qquad NRQ_n = \sum_{i=1}^m \frac{NRQ_{nm}}{m}$$

em que:

m – número de especialistas considerado

$NRA_n, NRT_n, NRC_n, NRQ_n$ – níveis de risco integrado agregado por categoria de impacto, para o risco n

$NRA_{nm}, NRT_{nm}, NRC_{nm}, NRQ_{nm}$ – níveis de risco integrado por categoria de impacto, para o risco n e especialista m

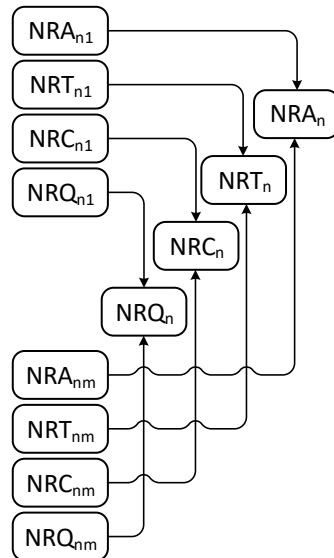


Figura 4.25 – 1ª agregação da fase 3 de exemplo de aplicação

- 2ª agregação – para cada risco n , é feita agregação dos níveis de risco integrado agregado por categoria de impacto. Obtendo-se um nível de risco integrado agregado para cada um dos n risco, onde todas as categorias de impacto estão englobadas (Figura 4.26):

$$NR_n = \sum_{i=1}^4 \frac{NRA_n + NRT_n + NRC_n + NRQ_n}{4}$$

em que:

NR_n – nível de risco integrado agregado, para o risco n

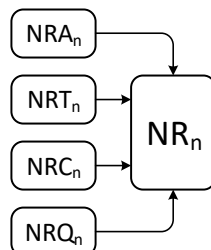


Figura 4.26 – 2ª agregação da fase 3 de exemplo de aplicação

Assim, nesta exemplificação, após as três fases da avaliação do risco do SID-AR, os *outputs* foram reduzidos a um nível de risco (integrado agregado) por cada risco

considerado – NR_n . Estes resultados permitiriam, por exemplo, a hierarquização dos riscos pois a cada um deles estaria associado um valor numérico e, desta forma, estes poderiam ser ordenados. Por sua vez, conseguida uma hierarquia dos riscos, a gestão de projeto poderia estabelecer prioridades no tratamento dos riscos.

Aprofundando a versatilidade e potencialidade do modelo, estes resultados poderiam ainda ser novamente agregados num resultado único para o nível de risco global do projeto, em que estariam englobados todos os riscos considerados para o projeto em questão. Este nível de risco global do projeto permitiria à gestão de projeto ter uma percepção direta do risco envolvido no projeto em causa, mas também, possivelmente, fazer uma comparação do risco entre um ou mais projetos distintos. Recorde-se, que é também possível fazer variar a ponderação dos parâmetros aquando das operações de agregação, como exemplos, seria possível à gestão atribuir importâncias diferentes entre as categorias de impactos, ou dar maior relevância à análise de determinado(s) especialista(s) ou risco(s).

Percebe-se assim, que o modelo SID-AR apresenta uma grande potencialidade e versatilidade na sua aplicação, como ferramenta de auxílio à avaliação do risco na gestão de projeto. Em que, através de múltiplas conjugações das várias variáveis, é permitido ao utilizador adaptar o modelo às necessidades detetadas pela gestão de projeto, no que reporta à gestão do risco.

Este aspeto da multiplicidade de resultados e versatilidade do modelo trás de arrasto a complexidade, o que poder-se-ia tornar uma limitação ao modelo, como obstáculo à simplicidade da sua utilização. No entanto, uma das suas vantagens, também devido ao recurso à lógica difusa, é a fácil automatização das operações com o recurso a ferramentas informáticas. Este modelo apresenta a potencialidade de ser implementado num *interface* simplificado, em que apenas sejam requeridos os *inputs* da análise dos especialistas, sendo devolvidos, de forma automatizada, apenas os *outputs* finais considerados necessários. Todas as operações e fases, anteriormente apresentadas, podem ser efetuadas de uma forma totalmente oculta ao utilizador, não necessitando da sua intervenção direta. Esta potencialidade pode, por este meio, introduzir também a simplicidade como uma das propriedades do modelo SID-AR.

5 APLICAÇÃO DO MODELO – CASO DE ESTUDO

Após a anterior exposição das capacidades do modelo SID-AR, a efetivação do seu potencial só será possível com a sua aplicação efetiva num caso de estudo.

O caso de estudo proposto vai, não só permitir essa efetivação do modelo teorizado, mas também, responder a outras motivações e objetivos proposto para esta dissertação, que passam pelo enquadramento da gestão do risco em gestão de projeto no âmbito da realização de projetos de engenharia, concretamente em projetos de *piping* de processo. Pretendendo-se avaliar os riscos inerentes aos projetos destas infraestruturas para a indústria de processos, com enfoque nos riscos associados às variáveis e decisões tomadas na fase de conceção (*design*).

5.1. *Piping* de processo

A ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*) define *piping* de processo como sistemas de tubagem envolvidos no processamento, transporte ou armazenagem de fluídos. Tipicamente encontrados em refinarias de petróleo; nas indústrias química, farmacêutica, têxtil, papel, semicondutores, etc.; em infraestruturas logísticas de armazenagem e distribuição dos produtos e derivados destas indústrias [30]. As Figuras 5.1 e 5.2 (página 82) são representativas de sistemas de tubagem industrial. A Figura 5.2 (página 82) constitui uma vista panorâmica da refinaria de *Jamnagar* (Índia), a maior refinaria da atualidade com uma produção diária de 1,24 milhões de barris [31].



Figura 5.1 – *Piping* de processo
(Fonte: <http://www.wisegeek.org>)



Figura 5.2 – Refinaria de *Jamnagar*

(Fonte: Referência [31])

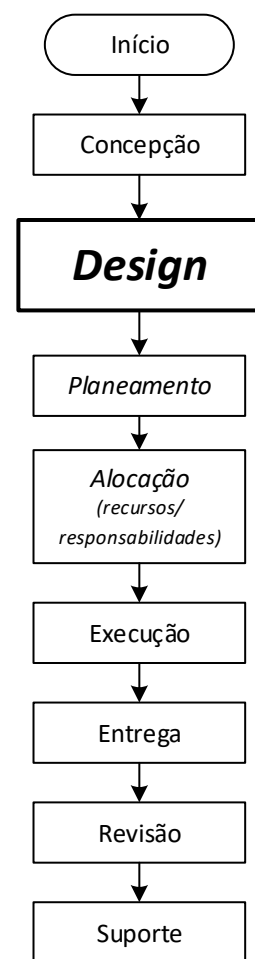
5.2. Projetos de *piping* (*Piping design*)

O termo “projeto” na língua portuguesa comporta uma certa ambiguidade neste contexto, no sentido em que pode ser a tradução dos termos em inglês “*project*” e “*design*”, que, por sua vez nessa língua, resolvem esta ambiguidade pois distinguem a engenharia de projeto (*project engineering*) da engenharia de concepção (*design engineering*). Desta forma, o que se propõe será aplicar o modelo, não na gestão do que é o projeto global para a execução de uma infraestrutura deste género, mas sim, aplicar o modelo de gestão do risco a um ciclo de vida que se restrinja ao *design* deste género de infraestrutura, ou seja, na fase realçada na Figura 5.3.

Assim, no âmbito do *piping design*, nesta fase a equipa da gestão de projeto terá como objetivo final a preparação de toda a documentação necessária (*deliverables*) para o planeamento e subsequente execução de infraestruturas de *piping* de processo, para o projeto em questão.

Esta área envolve trabalho de engenharia bastante especializado, aplicado no estudo de sistemas de transporte de fluídos. Nos dias de hoje, é fulcral a eficiência e eficácia quer dos próprios sistemas projetados, quer de todo o processo de concepção. Também a

crescente dimensão dos projetos deste sector trás desafios igualmente maiores à medida que estes se tornam cada vez mais complexos e tecnologicamente exigentes. O planeamento e os orçamentos são apertados, mas também a segurança é crucial, os



(Fonte: Adaptado de [3])

Figura 5.3 – *Design* no ciclo de vida de um projeto

stakeholders envolvidos no projeto são agentes preocupados com o impacto no meio ambiente e comunidades circundantes.

Embora as melhores práticas e a experiência dos envolvidos sejam essenciais, tais não se mostram suficientes para responder a estes desafios. Para tal, uma abordagem processual e enquadramento no âmbito da gestão de projetos é, na atualidade, fundamental nesta área.

O processo para o desenvolvimento de uma infraestrutura de *piping*, representado na Figura 5.4, terá como *inputs* a informação proveniente da engenharia de processo. Serão esses requisitos do processo, que os engenheiros de *piping* irão transpor para a realidade, através de uma infraestrutura concebível, considerando todas as condicionantes previsíveis (tecnológicas, geográficas, físicas, económicas, etc.). Desenvolvendo documentação técnica variada que transmitirá toda a informação necessária à sua execução, e que constituem os seus *outputs*.

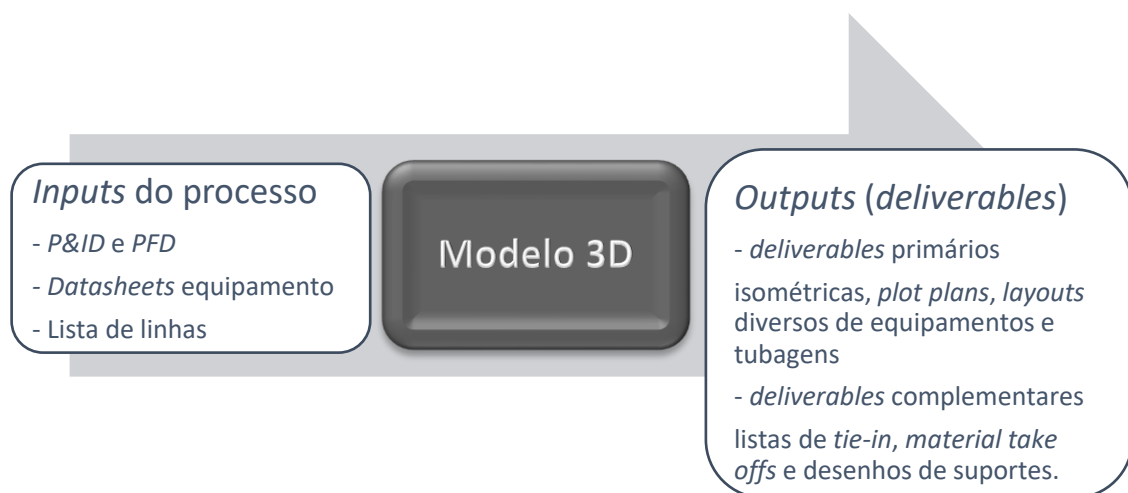


Figura 5.4 – Processo *piping design*

Mais detalhadamente, os *inputs* constituem a informação necessária da engenharia de processo que é resumida em P&IDs (*Piping and Instrumentation Diagrams*), representados na Figura 5.5 (página 84), estes diagramas esquematizam as necessidades ao nível das características dos equipamentos e tubagens que o sistema requerido terá de corresponder.

Com essa base, o engenheiro de *piping* concebe “fisicamente” a infraestrutura montado sistemas constituídos por: troços retos de tubagem, curvas, flanges, juntas, válvulas e outros componentes, tais como juntas de dilatação, filtros e dispositivos utilizados para misturar, separar, distribuir, medir e controlar o caudal do fluído. Também inclui elementos de suporte de tubos e isolamento.

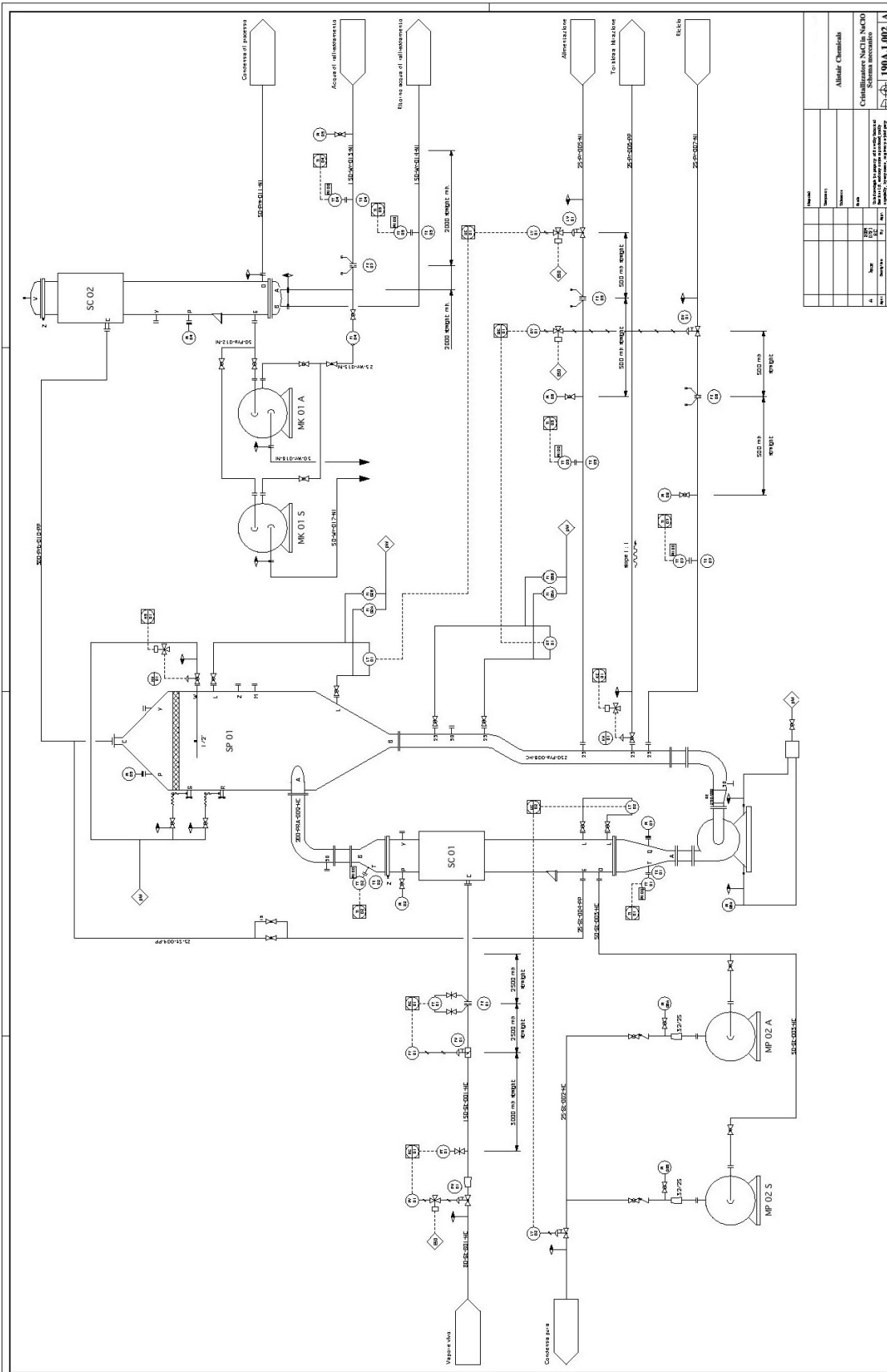


Figura 5.5 – Isométrica para execução de tubagem
 (Fonte: <http://processflowsystems.com>)

Na atualidade, este trabalho é conseguido com o auxílio de ferramentas informáticas para a conceção de modelos 3D. De uma forma elementar, na Figura 5.6, exemplifica-se a ligação entre dois equipamentos, um reservatório e uma bomba, ou seja, há a necessidade de uma tubagem entre dois pontos, A e B.

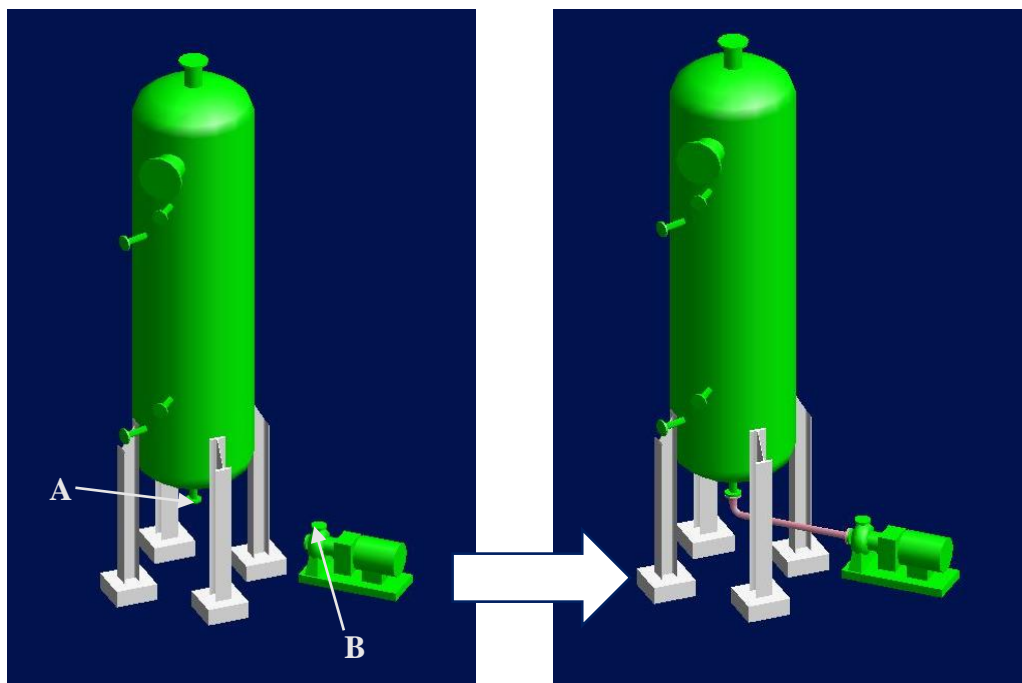


Figura 5.6 – Tubagem em modelação 3D

Como já referido outros componentes, para além da tubagem, fazem parte do âmbito do *pipng*, na Figura 5.7 (página 85) está representada a modelação de outros componentes como válvulas, flanges e juntas.

Aumentando a complexidade dos sistemas projetados, e pensando na escala do que é a conceção de uma refinaria, hoje em dia a tecnologia permite a modelação computadorizada da totalidade de uma instalação deste género, onde está representada toda a instalação a conceber, como é visível na Figura 5.8 (página 85).

Mas, para a finalidade do projeto, o verdadeiro potencial destas ferramentas, não está apenas na capacidade de conceção de modelos 3D complexos e detalhados, mas sim no facto de possuir interfaces que permitem a emissão automatizada de documentação fundamental à execução das infraestruturas, os *deliverables* do projeto que constituem os *outputs* do processo de *pipng design*, como é o caso das isométricas de tubagem, exemplificadas na Figura 5.9 (página 87).



Figura 5.7 – Tubagem e outros componentes em modelação 3D



Figura 5.8 – Modelo 3D de parte de um projeto de uma refinaria
(Fonte: <http://applycapnor.pl>)

Os *deliverables* primários são: isométricas, *plot plans*, *layouts* diversos de equipamentos e tubagens. Há ainda *deliverables* complementares como: listas de *tie-in*, *material take offs* e desenhos de suportes.

Um projeto de uma qualquer infraestrutura de complexidade média, é constituído por dezenas ou centenas de linhas de tubagem. Exigindo a emissão de várias centenas de documentos.

Percebendo a complexidade que pode atingir este género de projetos, tem então de se ter em consideração vários riscos associados, das mais diversas origens, que terão influência nos resultados do projeto. Desta forma, se percebe a necessidade premente de uma boa integração da gestão de projeto, e logo da gestão de riscos.

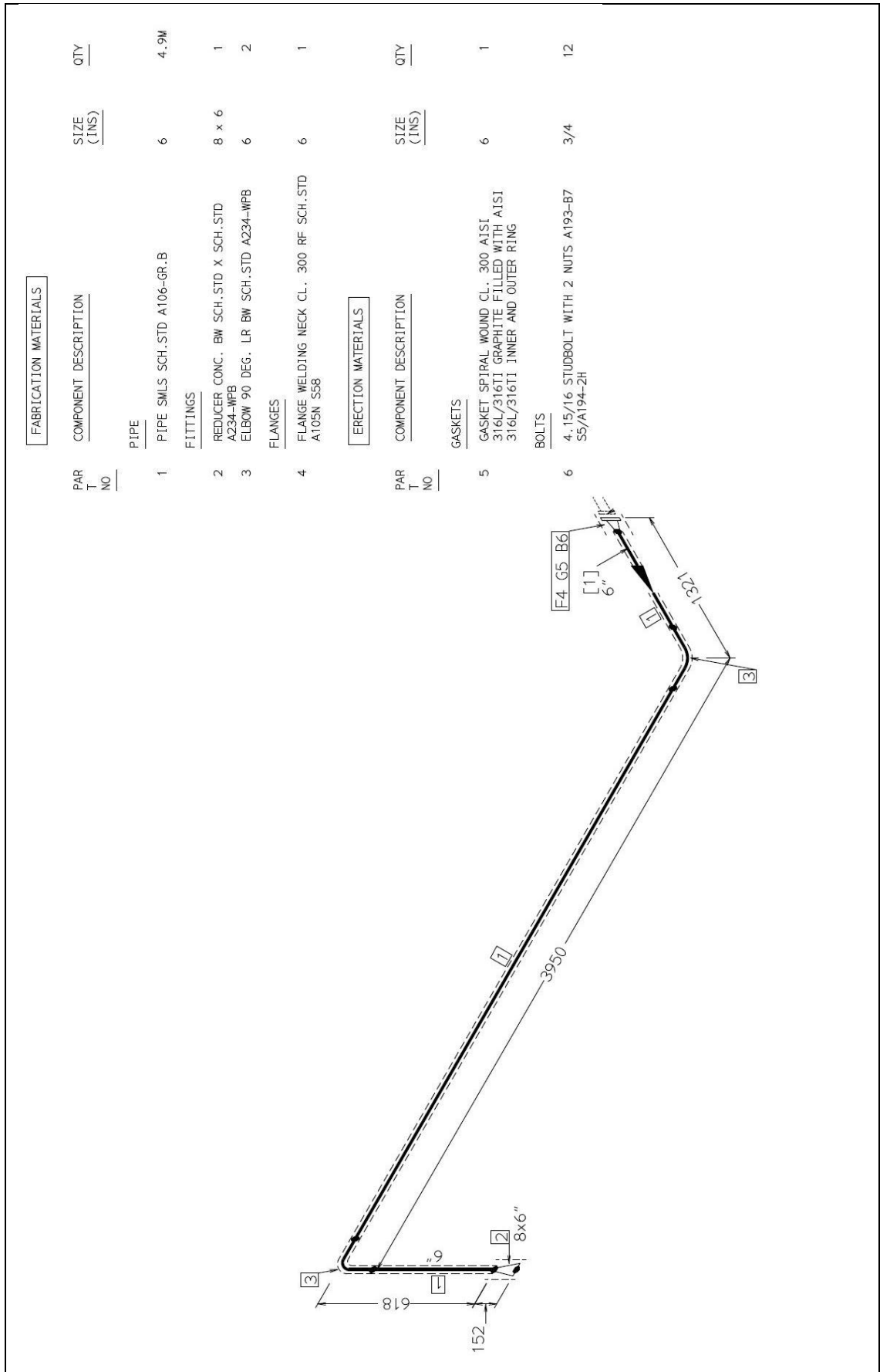


Figura 5.9 – Isométrica para execução de tubagem

5.3. Riscos no *piping design*

Como demonstrado anteriormente, a complexidade deste género de projetos trás, em consequência, diversos riscos associados, pelo que fica patente a importância da aplicação da gestão do risco integrada na gestão destes projetos.

Remetendo á Figura 2.8 (página 17), a identificação de riscos no processo de gestão do risco, integra uma etapa independente, prévia à avaliação do risco. Sendo que o âmbito da presente dissertação está centrado na avaliação do risco, não faz parte desse âmbito, nem dos principais objetivos da dissertação, fazer um levantamento exaustivo dos riscos associados ao *piping design*. No entanto, essa identificação constituem os *inputs*, da avaliação do risco, e é então necessária para se proceder à aplicação do modelo.

Para tal, foram identificados quatro riscos exemplificativos de possíveis eventos de risco associados, permitindo a aplicação do modelo neste caso de estudo.

Os riscos no *piping design* poderão ter várias origens com índole tecnológica, económica, organizacional, humana e outras. Estes poderão estar associados por exemplo a: limitações nas características de materiais ou a sua seleção errada, limitações de recursos económicos, falta de experiência dos envolvidos, limitações na gestão das organizações, prazos apertados, erros de conceção, limitações das ferramentas aplicadas, etc.

Na Tabela 5.1 (página 90) são enumerados e sucintamente descritos os quatro riscos identificados como estando associados ao *piping design*.

Tabela 5.1 – Riscos no *piping design*

Risco n	Descrição
Risco 1:	<i>Over-engineering</i> O risco de ocorrer eventos de <i>over-engineering</i> verifica-se quando uma solução desenvolvida para o projeto é mais complexa ou robusta do que o necessário para responder aos requisitos previstos, sendo considerado desperdício do ponto de vista do valor acrescentado. Ocorre por exemplo com a aplicação de coeficientes de segurança exagerados, sobredimensionamento, aplicação ineficiente de materiais, etc.
Risco 2:	Aplicação de materiais não facilmente disponíveis <i>on site</i> O risco de se verificarem dificuldades imprevistas na disponibilização dos vários materiais e componentes no local de execução das infraestruturas. Ocorre se durante a fase de <i>design</i> , e da seleção dos materiais, não forem consideradas e ponderadas todas as variáveis da logística de compra e entrega de materiais (<i>procurement</i>).
Risco 3:	Erros na informação a montante (<i>inputs</i> de projeto) O risco de os <i>inputs</i> de projeto serem incoerentes ou errados, potencialmente, originando eventos de erros de projeto.
Risco 4:	Baixa <i>flow efficiency</i> Uma tubagem em projeto tem o objetivo final de permitir a deslocação de um fluído no seu interior, sendo que as propriedades termodinâmicas a serem verificadas nesse escoamento, durante o funcionamento da instalação, são um <i>input</i> do projeto. Há então o risco de, após o <i>design</i> das linhas, sejam previstas condições de escoamento não coincidentes com o expectável, verificando-se baixa eficiência do escoamento.

5.4. Aplicação do modelo

5.4.1. Objetivos

Na presente aplicação do modelo pretende-se exemplificar a utilização do modelo SID-AR no caso de estudo. O objetivo concreto será atribuir a cada um dos riscos considerados um nível de risco: NR_1 , NR_2 , NR_3 , NR_4 . Este parâmetro permitirá à gestão de projeto hierarquizar os riscos, e estabelecer prioridades no tratamento dos riscos. Desta forma, o modelo, constituindo uma relevante ferramenta de gestão do risco, permitirá à gestão do projeto ter uma base para entender quais dos riscos identificados poderão ser mais relevantes, sendo que, num único parâmetro numérico para cada risco está considerada a probabilidade de ocorrência, o impacto sobre o projeto e a capacidade da organização de prever e lidar com o risco. Na posse desse parâmetro que caracterizará cada risco, a gestão de projeto poderá dar a devida relevância no seu tratamento, optando pela melhor estratégia a adotar para prevenir, mitigar transferir ou aceitar o risco.

5.4.2. Recolha de inputs

Para a aplicação do modelo aos quatro riscos considerados, terão de ser recolhidos, para cada risco, seis parâmetros que constituirão os seus *inputs*: P_n , IA_n , IT_n , IC_n , IQ_n , DC_n . Para tal, esta recolha é efetuada por inquérito a um especialista pelo preenchimento do formulário, representado na Tabela 5.2, para cada um dos riscos:

Tabela 5.2 – Formulário de recolha de *inputs*

Risco n : (designação do risco)

P_n		IA_n		IT_n		IC_n		IQ_n		DC_n	
Improvável	<input type="checkbox"/>	Insignificante	<input type="checkbox"/>	Insignificante	<input type="checkbox"/>	Insignificante	<input type="checkbox"/>	Insignificante	<input type="checkbox"/>	Reduzido	<input type="checkbox"/>
Remoto	<input type="checkbox"/>	Marginal	<input type="checkbox"/>	Marginal	<input type="checkbox"/>	Marginal	<input type="checkbox"/>	Marginal	<input type="checkbox"/>	Razoável	<input type="checkbox"/>
Ocasional	<input type="checkbox"/>	Substancial	<input type="checkbox"/>	Substancial	<input type="checkbox"/>	Substancial	<input type="checkbox"/>	Substancial	<input type="checkbox"/>	Elevado	<input type="checkbox"/>
Provável	<input type="checkbox"/>	Crítico	<input type="checkbox"/>	Crítico	<input type="checkbox"/>	Crítico	<input type="checkbox"/>	Crítico	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Frequente	<input type="checkbox"/>										

No Anexo IV são apresentados os *inputs* considerados para aplicação do modelo neste caso de estudo, estando presente o questionário efetuado pelo especialista.

5.4.3. Processamento

Após a consulta que faz a atribuição dos necessários *inputs*, os dados serão processados segundo o modelo SID-AR.

Com os *inputs* recolhidos e perante os objetivos propostos o processamento do modelo, neste caso, passa por executar, para cada risco, por oito vezes um sistema de inferência difusa: quatro vezes o SID1, mais quatro vezes o SID2; tal como esquematizado na Figura 5.10.

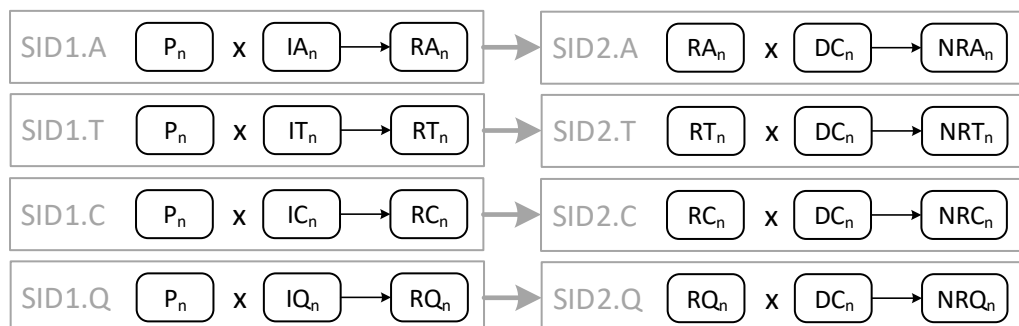


Figura 5.10 – Processamento do SID-AR no caso de estudo

No caso específico do presente caso de estudo, para o processamento dos oito sistemas de inferência difusa recorreu-se à ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *MATLAB*.

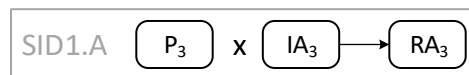
Ressalva-se que o modelo SID-AR não se restringe à utilização desta ferramenta, podendo se recorrer a outras ferramentas informáticas (p.ex. *Excel*), ou mesmo efetuar manualmente os cálculos. A execução dos SID nesta ferramenta é exemplificada seguidamente no ponto 5.4.4.

Na posse de quatro níveis de risco por categoria, para cada um dos riscos, é feita agregação destes, considerando pesos iguais e normalizados, obtendo-se um nível de risco integrado agregado, pela aplicação da equação 7, do seguinte modo:

$$NR_n = \sum_{i=1}^4 \frac{NRA_n + NRT_n + NRC_n + NRQ_n}{4}$$

5.4.4. Exemplificação

No ponto 4.6.4. fez-se uma explanação pormenorizada de como se procede à simulação do modelo SID-AR no *Fuzzy Logic Designer*, através da caracterização deste modelo com a introdução das funções de pertença e das regras de inferência difusa. Exemplificase de seguida como se recorre a esta ferramenta, introduzindo *inputs* e recolhendo *outputs*, para a execução do SID1.A para o Risco 3.



Para este risco, do inquérito efetuado ao especialista (Anexo IV), considera-se uma *P* com a variável linguística “Ocasional” e um *IA* com a variável linguística “Marginal”, assim estas variáveis pertencerão aos conjuntos difusos caracterizados pelas funções de pertença triangulares *P3* e *IA2*, realçadas nas Figuras 5.11 e 5.12 (página 92).

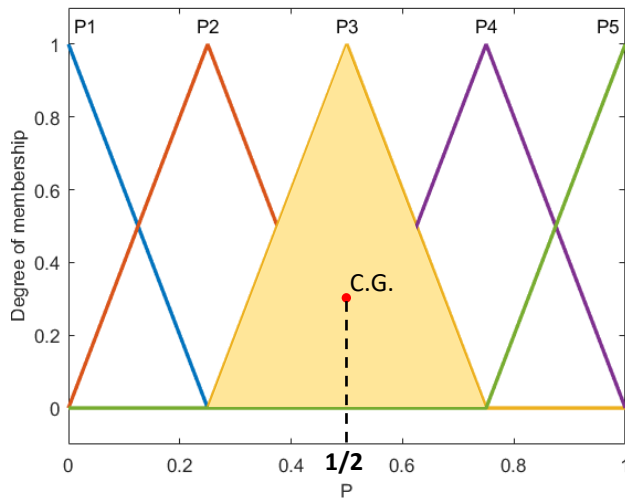


Figura 5.11 – Função triangular para P “Ocasional”
(C.G. – centro geométrico)

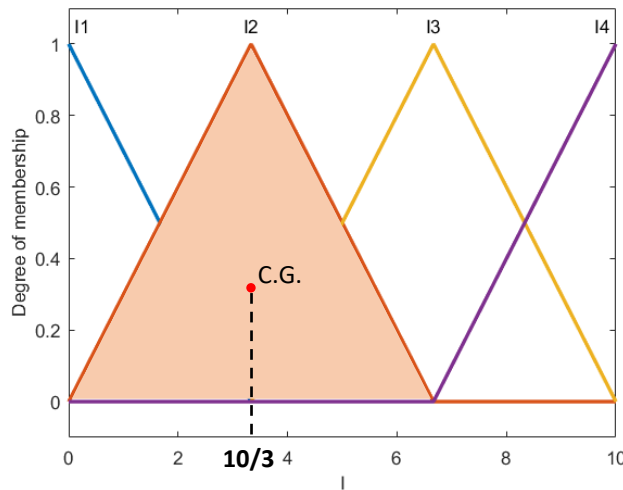


Figura 5.12 – Função triangular para IA “Marginal”
(C.G. – centro geométrico)

Estas duas variáveis, P e IA , são os dois *inputs* considerados para o SID1.A, que no caso do risco 3 são caracterizadas pelos vetores $(1/4, 1/2, 3/4)$ e $(0, 10/3, 20/3)$. Estas para serem introduzidas na ferramenta utilizada serão convertidas em valores numéricos que correspondem às coordenadas das abscissas do centro geométrico do triângulo respetivo, logo, no *interface Rule Viewer*, representado na Figura 5.13 (página 93), o *input* a introduzir corresponde ao conjunto constituído por estes valores numéricos:

$$[P_3; IA_3] = [1/2; 10/3] = [0,5; 3,333]$$

Após o processo de inferência difusa o *output* recolhido será o valor numérico para RA_3 (Nível de risco primário sobre o âmbito), neste caso $RA_3 = 5$. Este valor constitui um *output desfuzificado*, que neste caso de estudo é o tipo de resultado mais conveniente, pois poderá ser diretamente introduzido como *input* numérico no SID a executar de seguida, neste caso, o SID2.A.

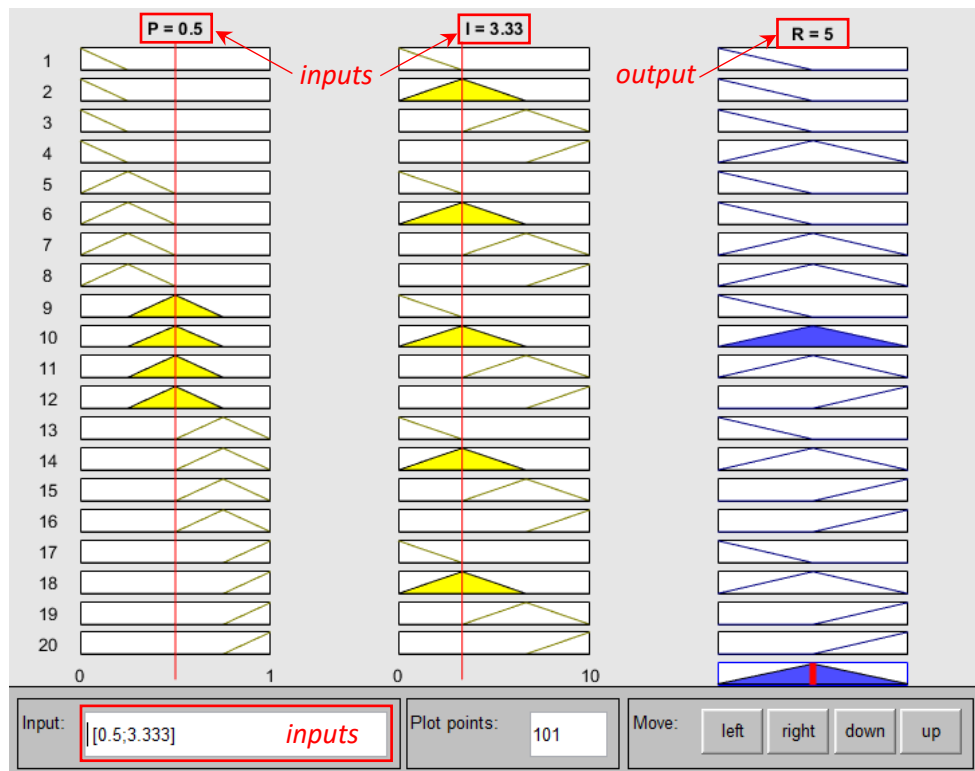


Figura 5.13 – Operação no *Rule Viewer* do *Fuzzy Logic Designer*

5.4.5. Resultados

Após o processo descrito, é objetivo obterem-se quatro resultados fundamentais que constituem um valor numérico para atribuição de um nível de risco para cada um dos quatro riscos considerados neste caso de estudo. Nas Tabelas 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 (páginas 94 e 95) são enumerados resultados e variáveis relevantes.

Tabela 5.3 – Risco 1: *Over-engineering*

Input	Var. linguística	Vetor	Valor numérico
P_1	Frequente	(3/4, 1, 1)	11/12
IA_1	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IT_1	Substancial	(10/3, 20/3, 10)	20/3
IC_1	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IQ_1	Insignificante	(0, 0, 10/3)	10/9
DC_1	Reduzido	(0, 0, 50)	50/3
SID	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	
SID1.A	[11/12; 10/3]	RA_1	5
SID1.T	[11/12; 20/3]	RT_1	8,22
SID1.C	[11/12; 10/3]	RC_1	5
SID1.Q	[11/12; 10/9]	RQ_1	3,86
SID2.A	[5; 50/3]	NRA_1	6,14
SID2.T	[8.22; 50/3]	NRT_1	6,11
SID2.C	[5; 50/3]	NRC_1	6,14
SID2.Q	[3.86; 50/3]	NRQ_1	5,94
			$NR_1 (\Sigma)$
			6,08

Tabela 5.4 – Risco 2: Aplicação de materiais não facilmente disponíveis *on site*

Input	Var. linguística	Vetor	Valor numérico
P_2	Ocasional	(1/4, 1/2, 3/4)	1/2
IA_2	Substancial	(10/3, 20/3, 10)	20/3
IT_2	Crítico	(20/3, 10, 10)	80/9
IC_2	Substancial	(10/3, 20/3, 10)	20/3
IQ_2	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
DC_2	Elevado	(50, 100, 100)	250/3
SID	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>	
SID1.A	[1/2; 20/3]	RA_2	5
SID1.T	[1/2; 80/9]	RT_2	6,14
SID1.C	[1/2; 20/3]	RC_2	5
SID1.Q	[1/2; 10/3]	RQ_2	5
SID2.A	[5; 250/3]	NRA_2	3,86
SID2.T	[6.14; 250/3]	NRT_2	4,06
SID2.C	[5; 250/3]	NRC_2	3,86
SID2.Q	[5; 250/3]	NRQ_2	3,86
			$NR_2 (\Sigma)$
			3,91

Tabela 5.5 – Risco 3: Dano nas tubuladuras dos equipamentos

Input	Var. linguística	Vetor	Valor numérico
P_3	Ocasional	(1/4, 1/2, 3/4)	1/2
IA_3	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IT_3	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IC_3	Insignificante	(0, 0, 10/3)	10/9
IQ_3	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
DC_3	Razoável	(0, 50, 100)	50
SID	Inputs	Outputs	
SID1.A	[1/2; 10/3]	RA_3	5
SID1.T	[1/2; 10/3]	RT_3	5
SID1.C	[1/2; 10/9]	RC_3	3,86
SID1.Q	[1/2; 10/3]	RQ_3	5
SID2.A	[5; 50]	NRA_3	5
SID2.T	[5; 50]	NRT_3	5
SID2.C	[3,86; 50]	NRC_3	4,87
SID2.Q	[5; 50]	NRQ_3	5
			$NR_3 (\Sigma)$
			4,97

Tabela 5.6 – Risco 4: Baixa *flow efficiency*

Input	Var. linguística	Vetor	Valor numérico
P_4	Remoto	(0, 1/4, 1/2)	1/4
IA_4	Substancial	(10/3, 20/3, 10)	20/3
IT_4	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IC_4	Marginal	(0, 10/3, 20/3)	10/3
IQ_4	Substancial	(10/3, 20/3, 10)	20/3
DC_4	Elevado	(50, 100, 100)	250/3
SID	Inputs	Outputs	
SID1.A	[1/4; 20/3]	RA_4	5
SID1.T	[1/4; 10/3]	RT_4	1,63
SID1.C	[1/4; 10/3]	RC_4	1,63
SID1.Q	[1/4; 20/3]	RQ_4	5
SID2.A	[5; 250/3]	NRA_4	3,86
SID2.T	[1,63; 250/3]	NRT_4	3,84
SID2.C	[1,63; 250/3]	NRC_4	3,84
SID2.Q	[5; 250/3]	NRQ_4	3,86
			$NR_4 (\Sigma)$
			3,85

Os valores para o nível de risco *NR* para cada um dos riscos, apresentados na Tabela 5.7, permitem hierarquizar os riscos num *ranking* que ordena de forma decrescente do nível de risco, em que é atribuída a primeira classificação para o risco com o maior *NR*.

Tabela 5.7 – Níveis de risco calculados

Risco	NR	Classificação
1	6,08	1
2	3,91	3
3	4,97	2
4	3,85	4

Assim, o risco 1 – *Over-engineering* – apresenta o maior nível de risco entre os quatro riscos considerados. Pode-se assim avaliar que o risco de *over-engineering*, ou seja, de ser apresentada uma solução mais complexa ou robusta do que o necessário para responder aos requisitos do projeto, e logo, verificar-se uma utilização ineficiente dos recursos envolvidos no *design*, é mais elevado do que o verificado nos restantes riscos, considerando a probabilidade de ocorrência, o impacto nas quatro categorias, e a capacidade dos envolvidos em antever e responder aos eventos de risco.

No âmbito da gestão de projeto, perante estes resultados, seria uma análise clara e direta que este risco deveria ser o que recolheria maior evidência e atenção, por parte dos responsáveis pela gestão de projeto. Este dado constitui uma importante informação para a fase de tratamento dos riscos (subsequente à avaliação do risco), para uma devida seleção da estratégia a executar (prevenir, mitigar, transferir ou aceitar) perante o evento de risco.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões principais

A presente dissertação realça a importância da gestão do risco na gestão de projeto. Para se poder tomar as melhores decisões nas situações potenciais de risco, tendo a consciência dos riscos e das suas consequências, mostra-se fundamental que os envolvidos estejam dotados de informação o mais correta e precisa possível.

O modelo apresentado pretende constituir uma ferramenta de avaliação das situações de risco, que permita ao gestor de projeto e outros envolvidos possuírem dados, caracterizados por variáveis linguísticas e/ou numéricas, com a característica de serem dados tratáveis e facilmente integráveis nos processos de gestão e de tomada de decisão.

A avaliação do risco é ainda um processo eminentemente humano, em que importantes decisões estão inevitavelmente dependentes da decisão humana, logo, num contexto caracterizado pela incerteza e ambiguidade. Neste enquadramento, a lógica difusa e em concreto os sistemas de inferência difusa, mostraram-se como os indicados para a base do modelo.

Enquanto que os modelos clássicos de avaliação do risco estão fundamentados na perceção do risco com base na probabilidade de ocorrência e nos seus impactos, o modelo preconizado abrange também a capacidades dos intervenientes ou organização do projeto de antever e responder devidamente ao risco. Esta característica, por um lado, trará uma melhor precisão dos resultados, pois integra mais variáveis que poderão melhorar a perceção de um evento de risco, mas, por outro lado, torna mais evidente a necessidade dos especialistas envolvidos possuírem uma experiência e conhecimento efetivos, não só para a caracterização do risco, mas também da organização responsável pelo projeto.

Este fator, da experiência dos especialistas consultados na aplicação do modelo, é então fulcral para a precisão dos resultados obtidos. Assim, uma efetiva precisão dos resultados estará sempre dependente da efetiva experiência dos especialistas inquiridos.

O SID-AR mostra-se um modelo versátil quer na sua aplicabilidade quer nos seus resultados. Tendo como base variáveis genéricas que são comuns à caracterização da generalidade dos projetos e dos riscos associados, este modelo não evidencia limitações fundamentais na sua aplicabilidade. A arquitetura do modelo é moldável de forma a

permitir uma multiplicidade de resultados, sendo possível recolher os *outputs* que melhor se enquadrem com as necessidades da gestão de projeto.

Estas propriedades do modelo ficaram comprovadas e evidenciadas no caso de estudo desenvolvido, demonstrando, neste caso, a aplicação de uma arquitetura que retorna um valor numérico de nível de risco, para cada risco considerado, o que permitiu a sua hierarquização, e transmitir à gestão de projeto uma perceção do(s) risco(s) a ser prioritário(s) na fase de tratamento dos riscos.

Ao encontro dos objetivos propostos o caso de estudo faz também o enquadramento, não só do modelo em si, mas também da temática da gestão do risco e da gestão de projeto, no âmbito dos projetos de engenharia.

6.2. Melhorias futuras

Enumera-se de seguida alguns aspetos que se recomenda serem aprofundados futuramente para reforçar a aplicabilidade do modelo explorado neste documento:

- **Otimização do modelo** – seguindo a mesma arquitetura o modelo proposto poderá ser otimizado, nomeadamente no que respeita à caracterização das suas variáveis e das regras de inferência difusa. Esta otimização poderá ser conseguida através de um estudo mais aprofundado sobre os tipos de função de pertinência a aplicar, bem como os vetores característicos, com o intuito de se conseguir melhorar a precisão de resultados. Também ao nível das regras de inferência difusa, que acabam por definir os resultados, é recomendável um estudo mais aprofundado na sua formulação, estudando alternativas às matrizes *input-output* aplicadas. Esta otimização só será conseguida com um estudo centrado especificamente nestes aspetos, com a possibilidade de ensaiar diversas alternativas de forma a validar devidamente cada resultado.
- **Validação do modelo** – a presente dissertação, teve um carácter exploratório sobre um modelo teórico, sendo que a sua aplicabilidade e as vantagens demonstradas deverão ser devidamente validadas. Esta validação será conseguida através da sua aplicação em diversos casos de estudo, em vários contextos práticos e efetivos, que permitirá a ratificação da qualidade dos seus resultados. Este processo é complementar à otimização anteriormente referida, pelo que este processo de validação também poderá ser um meio de ensaio que sirva de base à otimização pretendida.
- **Diversificação de casos de estudo** - para além da necessidade de validação através de casos de estudo, anteriormente referida, é também recomendável a sua diversificação de forma a comprovar a versatilidade do modelo e testar as diferentes variáveis, como será o ensaio em situações que se façam variar os pesos

relativos nas operações de agregação, ou diversificar também na polivalência ao nível dos *outputs* a retirar.

- **Informatização do modelo** – a simulação do modelo nesta dissertação recorreu a uma ferramenta específica do *MATLAB* que permitiu testar os sistemas de inferência difusa, no entanto, trata-se de uma aplicação elementar que tem de ser executada tantas vezes quantos sistemas de inferência são necessários executar. Foi então apenas um meio de simulação e não uma real implementação do modelo. Há assim, a potencialidade de implementar um programa, com base no modelo apresentado, que permita de uma forma direta introduzir *inputs* e recolher *outputs*, e também permitir, através de um *interface* mais direto, fazer variar as diversas variáveis, e assim efetivar a versatilidade do modelo sem comprometer a simplicidade da sua aplicação.

7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide), Fifth edition. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc., 2013. ISBN: 978-1-935589-67-9
- 2 KERZNER, H. (2009) - Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. 10ª Edição. ISBN 978-0-470-27870-3.
- 3 CHAPMAN, C; WARD, S. (2003) - Project risk management: processes, techniques and insight. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2003. 2ª Edição. ISBN: 0-470-85355-7
- 4 Risk. In: Wikipédia, a enciclopédia livre [Em linha]. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016, rev. 3 julho 2016. [Consult. 15 ago. 2016]. Disponível em WWW: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Risk>>.
- 5 BS OHSAS 18001:2007 - Occupational Health and Safety Management System. BSI
- 6 ISO Guide 73:2009 - Risk management - Vocabulary
- 7 Normas de gestão de riscos. Bruxelas: FERMA, 2003
- 8 IEC/FDIS 31010:2009 - Risk management - Risk assessment techniques
- 9 CAGLIANO, A. C.; GRIMALDI, S.; RAFELE, C. (2015) - Choosing project risk management techniques. A theoretical framework. Journal of risk research, February 2015. Torino: Department of Management and Production Engineering, Politecnico di Torino. DOI: 10.1080/13669877.2014.896398.
- 10 ABUL-HAGGAG, O. Y.; BARAKAT, W. (2013)- Application of fuzzy logic for risk assessment using risk matrix. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2013. ISSN : 2250 – 2459 . Vol. 3, Issue 1.
- 11 AHLAWAT, N.; GAUTAM, A.; SHARMA, N. (2014) - Use of logic gates to make edge avoider robot. International Journal of Information & Computation Technology. Delhi: International Research Publications House, 2014. ISSN 0974-2239. Vol. 4, Issue 6, p. 629-632.
- 12 The Fuzzy Logic Concept [Em linha]. Michigan: Calvin College Engineering Department. [Consult. 28 Mai 2016]. Disponível em WWW: <<https://www.calvin.edu/~pribeiro/othrlnks/Fuzzy/concept.htm>>
- 13 MCNEILL, F. M., THRO, E. (1994) - Fuzzy logic a practical approach. Boston: AP Professional, 1994. ISBN 0-12-485965-8.
- 14 Set theory. In: Wikipédia, a enciclopédia livre [Em linha]. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016, rev. 24 maio 2016. [Consult. 27 mai. 2016]. Disponível em WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Set_theory>.

- 15 Boolean Algebra. In: Wikipédia, a enciclopédia livre [Em linha]. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016, rev. 12 Maio 2016. [Consult. 27 mai. 2016]. Disponível em WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Boolean_algebra>.
- 16 Fuzzy set. In: Wikipédia, a enciclopédia livre [Em linha]. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016, rev. 12 Maio 2016. [Consult. 27 mai. 2016]. Disponível em WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_set>.
- 17 ZADEH, L. A. (1965) - Fuzzy sets. *Information and Control* 8 (3): 338–353, 1965. DOI:10.1016/s0019-9958(65)90241-x
- 18 FULLER, R. (1995) - *Neural fuzzy systems*. Abo: Abo Akademi University, ESF Series, 1995. ISBN 951-650-624-0.
- 19 ZADEH, L. A. et al. (1996) - *Fuzzy sets, fuzzy logic, fuzzy systems*. World Scientific Press, 1996. ISBN 981-02-2421-4
- 20 KLIR, G. J.; YUAN, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1995. ISBN: 0-13-101171-5
- 21 *Fuzzy logic toolbox user's guide*. Massachusetts: The MathWorks, Inc., 2016. Version 2.2.23 (Release 2016a).
- 22 Fuzzy logic. In: Wikipédia, a enciclopédia livre [Em linha]. Flórida: Wikimedia Foundation, 2016, rev. 31 maio 2016. [Consult. 07 jun. 2016]. Disponível em WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logic>.
- 23 SHAPIRO, A. F.; KOISSI, M. (2015) - *Risk assessment applications of fuzzy logic*. Illinois: Society of Actuaries, Joint Risk Management Section, 2015.
- 24 LEEKWIJCK, W.V.; KERRE, E. E. (1999) - *Defuzzification: criteria and classification*. Elsevier Science B. V., 1999. ISSN: 0165-0114. *Sets and Systems* vol. 108 p. 159–178
- 25 DINGLE, N. (2011) - *Artificial intelligence: fuzzy logic explained*. In: *Control Engineer* [Em linha]. CFE Media LLC, 2011. [Consult. 06 jun 2016]. Disponível em WWW: <<http://www.controleng.com/single-article/artificial-intelligence-fuzzy-logic-explained/8f3478c13384a2771ddb7e93a2b6243d.html>>
- 26 DE LA MERCED, M. J (2016) - *Morgan Stanley to rate employees with adjectives, not numbers*. [Em linha]. Nova Iorque: The New York Times, 2016. [Consult. 05 jun 2016]. Disponível em WWW: <<http://nyti.ms/1Ux0xFj>>
- 27 KLIR, G. J.; WIERMAN, M. J. (1999) - *Uncertainty-based information: elements of generalized information theory*. Berlim: Springer-Verlag, 1999. DOI: 10.1007/978-3-7908-1869-7
- 28 JAMSHIDI, A. et al. (2013) - *Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 197-208, 2013. DOI: 10.1016/j.jlp.2012.10.010

- 29 ELSAYED, T. (2009) - Fuzzy inference system for the risk assessment of liquefied natural gas carriers during loading/offloading at terminals. Applied Ocean Research, 31, 179-185,2009.
- 30 ASME B31.3-2014, Process piping - ASME code for pressure piping, B31, The American Society of Mechanical Engineers
- 31 Petroleum refining & marketing [Em linha]. Mumbai: Reliance Industries Limited [Consult. 10 jun. 2017]. Disponível em WWW: <<http://www.ril.com>>

ANEXO I

Atributos das técnicas de avaliação do risco

Técnica	Descrição	Recursos	Grau de Incerteza	Complexidade	Output Quantitativo
Métodos de Pesquisa					
<i>Check-lists</i>	Uma forma simples de identificação dos riscos baseado numa lista previamente elaborada para a atividade em questão	Baixo	Baixo	Baixo	Não
<i>Preliminary hazard analysis</i>	Um método indutivo que permite obter, através de um certo número de factos, uma visão geral dos acontecimentos relacionados com uma determinada catividade	Baixo	Alto	Médio	Não
Métodos de Suporte à Decisão					
<i>Structured Interview and brainstorming</i>	Um meio de recolher informação através de " <i>brainstorming</i> " onde os diversos participantes sugerem diversas hipóteses.	Baixo	Baixo	Baixo	Não
<i>Delphi Technique</i>	Funciona de forma semelhante a um <i>brainstorming</i> mas com intervenientes mais especializados na matéria em questão onde se reúne consenso após a discussão do mesmo	Médio	Médio	Médio	Não
<i>SWIFT - Structured What If</i>	Reúne-se uma equipa para identificar os diversos riscos, geralmente no local da atividade em questão.	Médio	Médio	Variada	Não
<i>Human reliability analysis (HRA)</i>	Identificação do risco por falha humana e o seu impacto no desempenho da atividade	Médio	Médio	Médio	Sim
Análise de Cenários					
<i>Root Cause Analysis (single loss analysis)</i>	Um determinado evento é analisado profundamente para entender a raiz do problema. Consideram-se todas as ações que originaram a falha.	Médio	Baixo	Médio	Não
<i>Scenario analysis</i>	Conjeturam-se os possíveis cenários resultantes de uma determinada ação e tentam-se prever os riscos associados a um determinado conjunto de tarefas ou atividade.	Médio	Alto	Médio	Não
<i>Toxicological Risk Assesment</i>	Os perigos são identificados, analisados e avaliados. São definidas ações a tomar para cada tipo de risco. As informações são depois combinadas entre si fornecendo um grau de perigo ou probabilidade de acontecimento da falha.	Alto	Alto	Médio	Sim

<i>Business impact analysis</i>	Permite analisar o impacto que determinadas falhas irão ter na organização e permite quantificar o que será necessário para colmatar essas falhas.	Médio	Médio	Médio	Não
<i>Fault tree analysis</i>	Esta técnica começa por eleger uma determinada falha e a partir daí constrói-se um diagrama em árvore ou pirâmide dos eventos que levam a essa falha. As ações são identificadas permitindo evitar essa sucessão de eventos que levarão ao evento indesejado.	Alto	Alto	Médio	Sim
<i>Event tree analysis</i>	Parte-se de uma determinada premissa (Acção) ou várias que levarão à criação de um determinado evento indesejado.	Médio	Médio	Médio	Sim
<i>Cause/Consequence Analysis</i>	é uma combinação dos dois itens anteriores em que projetamos o efeito de determinadas ações. As ações são identificadas assim como os efeitos que produzem dando origem a um diagrama em forma de árvore ou pirâmide.	Alto	Médio	Alto	Sim
<i>Cause/Effect Analysis</i>	As ações são identificadas assim como os efeitos que produzem dando origem a um diagrama em forma de árvore ou pirâmide. Agrupam-se os diversos efeitos que cada ação pode ter e desta forma produz-se um diagrama. Normalmente é utilizada com <i>brainstorming</i> .	Baixo	Baixo	Médio	Não
Análise Funcional					
<i>FMEA and FMECA</i>	FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>) é uma técnica que que identifica as falhas e os mecanismos que originaram estas. Aplica-se consoante a área de aplicação (produto, produção ou sistemas). Esta análise pode ser acompanhada de uma análise crítica que permitirá atribuir uma relevância qualitativa ou quantitativa (FMECA).	Médio	Médio	Médio	Sim
<i>Reliability-centred Maintenance</i>	Método que visa identificar as ações a serem tomadas em caso de falha. Acaba por representar uma melhoria contínua no sistema.	Médio	Médio	Médio	Sim
<i>Sneak analysis</i>	Metodologia usada para identificar erros de projeto. É uma falha externa que pode comprometer toda a cadeia. Podem originar falhas muito graves.	Médio	Médio	Médio	Não
<i>HAZOP - Hazard and operability studies</i>	Processo geral de identificação de riscos que possam comprometer os resultados desejados. São avaliados os pontos críticos.	Médio	Alto	Alto	Não
<i>HACCP - Hazard analysis and critical control points</i>	Um método de monitorização constante preventivo e corretivo que assegura a qualidade dos produtos de acordo com as características de cada um.	Médio	Médio	Médio	Não

Controlo da Análise					
<i>LOPA - Layers of protection analysis</i>	Método que permite avaliar o controlo e a eficácia da análise de risco. É também chamado de método de barreira.	Médio	Médio	Médio	Sim
<i>Bow tie Analysis</i>	Uma forma simples de visualizar as ações que conduzem à falha. É uma forma também de visualizar toda a cadeia de controlo do risco.	Médio	Alto	Médio	Sim
Análise Estatística					
<i>Markov analysis</i>	É usado na recuperação de sistemas que podem coexistir em diferentes estados e diferentes estágios de degradação pois analisa diversas variáveis e relaciona-as a vários níveis.	Alto	Baixo	Alto	Sim
<i>Monte-Carlo analysis</i>	Este método é usado para compreender a variação geral no sistema. Esta variação é resultante de todas as ações que se praticam resultando num output geral. Utiliza distribuições triangulares e beta para análise de riscos.	Alto	Baixo	Alto	Sim
<i>Bayesian analysis</i>	Análise que utiliza os dados efetivamente recolhidos anteriormente e projeta o seu resultado futuro. Desta forma fica completamente dependente da precisão dos resultados obtidos previamente.	Alto	Baixo	Alto	Sim

(Fonte: Adaptado de [8])

ANEXO II

Regras de Inferência

Regras de inferência – SID1		
Item	Saída	Formulação de regra
1.1	R_{11}	<i>If</i> probabilidade é <u>improvável</u> <i>and</i> impacto é <u>insignificante</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.2	R_{12}	<i>If</i> probabilidade é <u>improvável</u> <i>and</i> impacto é <u>marginal</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.3	R_{13}	<i>If</i> probabilidade é <u>improvável</u> <i>and</i> impacto é <u>substancial</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.4	R_{14}	<i>If</i> probabilidade é <u>improvável</u> <i>and</i> impacto é <u>crítico</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.5	R_{21}	<i>If</i> probabilidade é <u>remoto</u> <i>and</i> impacto é <u>insignificante</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.6	R_{22}	<i>If</i> probabilidade é <u>remoto</u> <i>and</i> impacto é <u>marginal</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.7	R_{23}	<i>If</i> probabilidade é <u>remoto</u> <i>and</i> impacto é <u>substancial</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.8	R_{24}	<i>If</i> probabilidade é <u>remoto</u> <i>and</i> impacto é <u>crítico</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.9	R_{31}	<i>If</i> probabilidade é <u>ocasional</u> <i>and</i> impacto é <u>insignificante</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.10	R_{32}	<i>If</i> probabilidade é <u>ocasional</u> <i>and</i> impacto é <u>marginal</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.11	R_{33}	<i>If</i> probabilidade é <u>ocasional</u> <i>and</i> impacto é <u>substancial</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.12	R_{34}	<i>If</i> probabilidade é <u>ocasional</u> <i>and</i> impacto é <u>crítico</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>alto</u> .
1.13	R_{41}	<i>If</i> probabilidade é <u>provável</u> <i>and</i> impacto é <u>insignificante</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .
1.14	R_{42}	<i>If</i> probabilidade é <u>provável</u> <i>and</i> impacto é <u>marginal</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>médio</u> .
1.15	R_{43}	<i>If</i> probabilidade é <u>provável</u> <i>and</i> impacto é <u>substancial</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>alto</u> .
1.16	R_{44}	<i>If</i> probabilidade é <u>provável</u> <i>and</i> impacto é <u>crítico</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>alto</u> .
1.17	R_{51}	<i>If</i> probabilidade é <u>frequente</u> <i>and</i> impacto é <u>insignificante</u> <i>then</i> nível de risco primário é <u>baixo</u> .

- 1.18 R_{52} *If probabilidade é frequente and impacto é marginal then nível de risco primário é médio.*
- 1.19 R_{53} *If probabilidade é frequente and impacto é substancial then nível de risco primário é alto.*
- 1.20 R_{54} *If probabilidade é frequente and impacto é crítico then nível de risco primário é alto.*

Regras de inferência – SID2

- 2.1 NR_{11} *If nível de risco primário é baixo and detecção/controlo é reduzido then nível de risco integrado é médio.*
- 2.2 NR_{12} *If nível de risco primário é baixo and detecção/controlo é razoável then nível de risco integrado é baixo.*
- 2.3 NR_{13} *If nível de risco primário é baixo and detecção/controlo é elevado then nível de risco integrado é baixo.*
- 2.4 NR_{21} *If nível de risco primário é médio and detecção/controlo é reduzido then nível de risco integrado é alto.*
- 2.5 NR_{22} *If nível de risco primário é médio and detecção/controlo é razoável then nível de risco integrado é médio.*
- 2.6 NR_{23} *If nível de risco primário é médio and detecção/controlo é elevado then nível de risco integrado é baixo.*
- 2.7 NR_{31} *If nível de risco primário é alto and detecção/controlo é reduzido then nível de risco integrado é alto.*
- 2.8 NR_{32} *If nível de risco primário é alto and detecção/controlo é razoável then nível de risco integrado é alto.*
- 2.9 NR_{33} *If nível de risco primário é alto and detecção/controlo é elevado then nível de risco integrado é médio.*
-

ANEXO III

Implementação de SID1

```
[System]
Name='SID-AR_1'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=20
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='P'
Range=[0 1]
NumMFs=5
MF1='P1': 'trimf', [0 0 0.25]
MF2='P2': 'trimf', [0 0.25 0.5]
MF3='P3': 'trimf', [0.25 0.5 0.75]
MF4='P4': 'trimf', [0.5 0.75 1]
MF5='P5': 'trimf', [0.75 1 1]

[Input2]
Name='I'
Range=[0 10]
NumMFs=4
MF1='I1': 'trimf', [0 0 3.333333333333333]
MF2='I2': 'trimf', [0 3.333 6.667]
MF3='I3': 'trimf', [3.333 6.667 10]
MF4='I4': 'trimf', [6.667 10 10]

[Output1]
Name='R'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='B': 'trimf', [0 0 5]
MF2='M': 'trimf', [0 5 10]
MF3='A': 'trimf', [5 10 10]

[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 3, 1 (1) : 1
1 4, 2 (1) : 1
2 1, 1 (1) : 1
2 2, 1 (1) : 1
```

```
2 3, 2 (1) : 1
2 4, 2 (1) : 1
3 1, 1 (1) : 1
3 2, 2 (1) : 1
3 3, 2 (1) : 1
3 4, 3 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1
4 2, 2 (1) : 1
4 3, 3 (1) : 1
4 4, 3 (1) : 1
5 1, 1 (1) : 1
5 2, 2 (1) : 1
5 3, 3 (1) : 1
5 4, 3 (1) : 1
```

Implementação de SID2

```
[System]
Name='SID-AR_2'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='R'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='B': 'trimf', [0 0 5]
MF2='M': 'trimf', [0 5 10]
MF3='A': 'trimf', [5 10 10]

[Input2]
Name='DC'
Range=[0 100]
NumMFs=3
MF1='DC1': 'trimf', [0 0 50]
MF2='DC2': 'trimf', [0 50 100]
MF3='DC3': 'trimf', [50 100 100]

[Output1]
Name='NR'
Range=[0 10]
NumMFs=3
MF1='B': 'trimf', [0 0 5]
MF2='M': 'trimf', [0 5 10]
```

```
MF3='A':'trimf',[5 10 10]
```

```
[Rules]
```

```
1 1, 2 (1) : 1  
1 2, 1 (1) : 1  
1 3, 1 (1) : 1  
2 1, 3 (1) : 1  
2 2, 2 (1) : 1  
2 3, 1 (1) : 1  
3 1, 3 (1) : 1  
3 2, 3 (1) : 1  
3 3, 2 (1) : 1
```