



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica



**Avaliação do impacto dos riscos associados a projetos
na competitividade da organização. Caso de estudo.**

Adriana Narciso Mendes

(Licenciada em Engenharia Química e Biológica – Ramo de Química)

**Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial**

Orientadores:

Professor Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Professor Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Prista do Vale Cardoso Igreja

Vogal: Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes Gaspar

Vogal: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Fevereiro de 2022



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Avaliação do impacto dos riscos associados a projetos na competitividade da organização. Caso de estudo.

Adriana Narciso Mendes

(Licenciada em Engenharia Química e Biológica – Ramo de Química)

**Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial**

Orientadores:

Professor Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Professor Doutor Vítor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor José Manuel Prista do Vale Cardoso Igreja

Vogal: Doutor Daniel Augusto Estácio Marques Mendes Gaspar

Vogal: Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu

Fevereiro de 2022

“Shōda mo tsumoreba taiboku wo taosu”

“Ame futte ji katamaru”

“Senri no michi mo ippo kara”

(provérbios japoneses)

DEDICATÓRIA

Ao meu querido pai, por sempre ter acreditado em mim.

À avó Amélia e ao avô Luís. Em vossa memória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à instituição onde cresci pessoal e profissionalmente e onde aprendi o que é trabalhar em equipa, ser-se exigente e metódica. Agradecer a todos os docentes com quem cruzei durante o meu percurso académico – em especial ao Departamento de Engenharia Química e ao Departamento de Engenharia Mecânica -, obrigado pela paciência, compreensão e por todo o suporte que me deram para que conquistasse os meus objetivos com sucesso.

Obrigado a todos os colegas de curso, ao pessoal não docente desta instituição por me acolherem como família e por todo o carinho com que sempre me trataram. Aos meus colegas de residência pelos incentivos ao longo destes anos, pela amizade, por serem a minha família e o meu suporte nas horas mais difíceis. Aos meus amigos da Benedita, em especial à Raquel pelo carinho e afeto. Levo-vos a todos vós no meu coração.

Um especial obrigado ao meu orientador, o Doutor António Abreu, por toda a paciência, disponibilidade e ajuda para que pudesse concluir este presente trabalho segundo as diretrizes que tinha delineado. Obrigado pela sua exigência com o avançar do mestrado.

Ao Doutor Vitor Anes pelos ensinamentos partilhados na unidade de Gestão de Risco que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para a escolha do tema.

À Teijin Automotive Plastics Portugal por toda compreensão durante o mestrado e pela oportunidade de crescer profissionalmente.

Aos meus queridos pais por todo o suporte ao longo destes anos, pela oportunidade de me formar, pelas palavras sábias, pela força dominante e inspiradora. É por vocês que trabalho todos os dias para ser melhor. São a força de esperança sempre que penso em desistir. Com o vosso exemplo superei-me. Acredito que estejam orgulhosos de mim e de todas as minhas conquistas. Amo-vos os eternamente.

Ao meu melhor amigo com quem aprendi a ser forte e nunca desistir dos meus objetivos. Pelo afeto, pelo apoio incondicional. Pai, a ti dedico este trabalho e conquista. Quero acreditar que estejas muito orgulhoso da tua menina.

Ao meu querido Pedro pela sua compreensão, paciência, por me incentivar todos os momentos em que desistir era o caminho mais fácil e por me dar todo o apoio que precisei, tornou-se o meu companheiro da vida – a pessoa que acredita em mim sempre e em todos os desafios. Obrigado por estares presente nas fases mais importantes.

A todos aqueles que se cruzaram no um caminho e não mencionei. A verdade é que se não tivessem aparecido na minha vida nada teria acontecido da mesma forma. Obrigado pelo que me

ensinaram. Levaram um pouco de mim, deixaram um pouco de vós. Um muito obrigado a todos!

RESUMO

Perante uma dinâmica entre mercados e a indústria cada vez mais desafiante, competitiva e globalizado, as organizações têm trabalhado em prol de se tornarem mais flexíveis e inovadoras a fim de alcançar uma vantagem competitiva e diferenciadora face aos seus concorrentes, com a colocação de novos produtos no mercado.

O desenvolvimento de novos produtos para além de ser complexo, exige recursos e competências às organizações, apresentando-se como riscos que podem colocar em causa a sustentabilidade das mesmas. Para se ser competitivo, inovador e diferenciador é necessário colocar em prática a estratégia delineada pelo *Project Manager*, implementada através de projetos e assim alcançar os objetivos com sucesso. A gestão de um projeto tem a si associados riscos desde a definição de âmbito, tempo, orçamentos, alocação de recursos, entre outros.

O Processo de Gestão de Risco permite a identificação e avaliação do risco e respetiva a monitorização, permitindo a gestão de incertezas, identificando as oportunidades e ameaças em termos dos seus impactos e probabilidade de ocorrência, contribuindo para a minimização dos efeitos negativos.

A presente dissertação pretende desenvolver um modelo de avaliação dos potenciais modos de falha associados a projetos na indústria automotiva, de forma a priorizar o tratamento de eventos que apresentam um índice de risco superior e maior probabilidade de ocorrerem. Com o objetivo de a organização gerir e detetar quais apresentam impacto negativo sobre a sua competitividade, o modelo apresentado é suportado em duas metodologias, FMEA e *Fuzzy Logic*, concluindo qual o projeto que apresenta uma taxa de risco considerada aceitável pela organização, permitindo a conquista da competitividade através dos seus produtos e, conseqüentemente, de quota de mercado.

Palavras-chave: Inovação, Gestão de Projeto, Gestão de Risco, Competitividade, Lógica Difusa, FMEA, Indústria Automóvel

ABSTRACT

Facing an increasingly challenging, competitive and globalised dynamic between markets and industry, organisations have been working towards becoming more flexible and innovative in order to achieve a competitive and differentiating advantage in relation to their competitors, by placing new products on the market.

The development of new products, besides being complex, requires resources and skills from organisations, presenting themselves as risks that may jeopardise their sustainability. To be competitive, innovative and differentiating it is necessary to put into practice the strategy outlined by the Project Manager, implemented through projects and thus successfully achieve the objectives. The management of a project is associated with risks from the definition of scope, time, budgets, allocation of resources, among others.

The Risk Management Process allows the identification and evaluation of risk and respective monitoring, enabling uncertainty management, identifying opportunities and threats in terms of their impacts and probability of occurrence, contributing to the minimisation of negative effects.

The present dissertation pretend to develop a model to evaluate the potential failure modes associated with projects in the automotive industry, in order to prioritize the treatment of events that present a higher risk index and greater probability of occurring. In order for the organization to manage and detect which ones have a negative impact on its competitiveness, the model presented is supported by two methodologies, FMEA and Fuzzy Logic, concluding which project presents a risk rate considered acceptable by the organization, allowing the achievement competitiveness through its products and, consequently, market share.

Key Words: Innovation, Project Management, Risk Management, Competitiveness, Fuzzy Logic, FMEA, Automotive Industry

GLOSSÁRIO

SIF Sistema de Inferência Fuzzy

FMEA Failure Mode and Effect Analyses

RPN Risk Priority Number

PMBOK Project Management Body of Knowledge

ISO International Standard Organization

CVP Ciclo de Vida do Projeto

PMI Project Management Institute

CMVM Comissão de Mercado Valores Imobiliários

PGP Processos de Gestão de Projetos

GRP Gestão de Riscos de Projeto

OCDE Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico

GRC Gestão de Riscos Corporativa

HAZOP Hazard & Operability Studies

TCF Teoria dos Conjuntos Fuzzy

S Severidade

O Ocorrência

D Detetabilidade

S_A Severidade (Âmbito)

S_C Severidade (Custo)

S_Q Severidade (Qualidade)

S_T Severidade (Tempo)

BEV *Battery Electric Vehicles*

VE Veículo Elétrico

VCI Veículo Combustão Interna

IEA International Energy Agency

HEV Hybrid Electric Vehicles

PHEV Plug-in Hybrid Electric Vehicles

GEE Gases Efeito Estufa

I&D Investigação & Desenvolvimento

PDCA Plan-Do-Check-Act

IR Índice de Risco

MF Modo de Falha

COG Center of Gravity

MPI Matriz Probabilidade Impacto

FCEV Fuel Cell Electrical Vehicles

ACAP Associação Automóvel de Portugal

COSO Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission

ROI Return Over Investment

ÍNDICE

Agradecimentos	IV
Resumo	VI
<i>Abstract</i>	VIII
Glossário.....	X
Índice de Figuras.....	XV
Índice de Tabelas.....	XVIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodologia de Investigação	2
1.4. Estrutura	3
2. GESTÃO DE RISCO EM PROJETOS COM IMPACTO NAS ORGANIZAÇÕES	5
2.1 Gestão de Projetos.....	6
2.1.1 Gestão de Projetos e Gestor de Projetos.....	9
2.2. Competitividade <i>versus</i> Estratégia	10
2.2.1. Estratégia Empresarial.....	10
2.2.2. Competitividade e Vantagem Competitiva	14
2.2.3. Inovação em Projetos Tecnológicos.....	16
2.2.4. Sucesso Empresarial.....	19
2.3. Gestão de Risco.....	20
2.3.1 Importância da Gestão do Risco.....	23
2.3.2. Gestão de Risco em Projetos em organizações	24
2.4. Processo de Gestão do Risco.....	27
2.5. Técnicas de Gestão do Risco.....	36
3. FMEA E <i>FUZZY LOGIC</i>	39
3.1. FMEA.....	39
3.1.1. Enquadramento Histórico.....	39
3.1.2. Áreas de Aplicações	40

3.1.3.	Processo de Implementação da FMEA	42
3.1.4.	Cálculo do <i>Risk Priority Number</i>	43
3.1.5.	Determinação da Severidade (S)	44
3.1.6.	Determinação da Ocorrência (O)	45
3.1.7.	Determinação da Detetabilidade (D)	47
3.2.	<i>FUZZY LOGIC</i>	51
3.2.1.	Enquadramento Histórico.....	51
3.2.2.	Conceito – Teoria dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>	52
3.2.3.	<i>Fuzzy Logic</i> – Definição	53
3.2.4.	Variáveis Linguísticas	55
3.2.5.	Conjuntos Difusos e Funções de Pertença	56
3.2.6.	Regras de Inferência.....	57
3.2.7.	Sistemas de Inferência Difusa (SID)	59
4.	<i>FUZZY LOGIC</i> – FMEA.....	65
4.1.	Caracterização <i>FUZZY-FMEA</i>	65
4.2.	Aplicação da Metodologia <i>FUZZY-FMEA</i>	67
4.3.	Descrição das Variáveis	71
4.3.1.	Variáveis de Entrada	74
4.3.2.	Descrição das Variáveis de Saída.....	76
4.4.	Processo.....	77
4.5.	Recolha de Informação.....	78
4.6.	Inferência Difusa.....	78
5.	CASO DE ESTUDO	93
5.1.	Caracterização do Setor dos Carros Elétricos	95
5.2.	Principais Características dos Carros Elétricos	101
5.3.	Riscos em Projetos Automotivos de Veículos Alternativos.....	105
6.	Conclusões e Propostas de Melhoria.....	119
6.1.	Proposta de Melhorias – Resultados	121
6.2.	Proposta de Melhorias – Modelo	122

7. BIBLIOGRAFIA.....	123
Anexo I.....	130
Anexo II.....	135
Anexo III.....	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Tarefas específicas na definição de projetos (Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (Chapman & Ward, 2003)).....	7
Figura 2 - Estrutura genérica do CVP (Fonte: (PMI, 2017)).....	8
Figura 3 - Fases, etapas e passos do Ciclo de Vida do Projeto (CVP) (fonte: elaboração própria, Adaptado de (Chapman & Ward, 2003))	9
Figura 4 - Estratégias genéricas de Michael Porter (fonte: elaboração própria).	12
Figura 5 - Divisão por categorias dos estudos sobre a competitividade (fonte: elaboração própria, Adaptado (Fórum para a Competitividade, 1995)).	13
Figura 6 - Estratégias genéricas de Michael Porte (fonte: elaboração própria).....	14
Figura 7 - Base da estratégia competitiva (Fonte: elaboração própria).....	15
Figura 8 - Definição de inovação por Schumpeter (Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (Scumpeter, 1934)).....	18
Figura 9 - Áreas de conhecimento em Gestão de Projetos. (Fonte: (PMSURVEY, 2014)).....	21
Figura 10 - Divisão da abordagem à gestão de risco (fonte: elaboração própria).	23
Figura 11 - Roda dos Riscos de inovação num sistema colaborativo (fonte: (Abreu & Calado, 2017)).	30
Figura 12 - Processo de tomada de decisão perante um risco (fonte: elaboração própria).	33
Figura 13 - Áreas de aplicação da FMEA (Fonte: (Antunes, 2020))	40
Figura 14 - Esquema simplista representativo da FMEA (Fonte: elaboração própria).	41
Figura 15 - Processo de implementação da FMEA (Fonte: elaboração própria).	43
Figura 16 - Matriz FMEA (fonte: (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005)).	48
Figura 17 - Representação da Lógica Booleana e da Lógica Multi-Valor (fonte: (Abul-Haggag & Barakat, 2013)).....	52
Figura 18 - Representação gráfica: diferença entre Lógica booleana e Lógica difusa. (Fonte: (Abul-Haggag & Barakat, 2013)).....	53
Figura 19 - Representação esquemática de um Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) (Fonte: elaboração própria).....	54
Figura 20 - Representação gráfica de três funções de pertinência para a variável temperatura (fonte: (Ross T. J., 2009)).....	55
Figura 21 - Representação esquemática do Processo de Inferência Fuzzy. (fonte: elaboração própria).....	60
Figura 22 – Inferência (fonte: (Tah & Carr, 2000)).	62
Figura 23 - Representação da estrutura organizacional do Brainstorming (fonte: elaboração própria).	67
Figura 24 - Representação do Impacto dos riscos (fonte: elaboração própria).	69

Figura 25 - Esquema elementar do modelo Fuzzy-FMEA (fonte: elaboração própria).....	70
Figura 26 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Severidade (S) (fonte: elaboração própria).....	82
Figura 27 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria).....	82
Figura 28 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Risco (R) (fonte: elaboração própria).....	82
Figura 29 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria).....	83
Figura 30 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Risk Priority Number (RPN) (fonte: elaboração própria).....	83
Figura 31 - Sistema de Inferência 1: Risco (fonte: elaboração própria).....	85
Figura 32 - Sistema de Inferência 2: RPN (fonte: elaboração própria).....	86
Figura 33 - Representação das FP de Severidade (S) (fonte: elaboração própria).....	86
Figura 34 - Representação das FP de RPN (fonte: elaboração própria).....	87
Figura 35 - Introdução das Regras de Inferência: Modelo 1 (fonte: elaboração própria).....	87
Figura 36 - Introdução das Regras de Inferência: Modelo 2 (fonte: elaboração própria).....	88
Figura 37 - Superfície Risco_1Modelo (fonte: elaboração própria).....	88
Figura 38 - Superfície RPN_Modelo (fonte: elaboração própria).....	89
Figura 39 - Introdução dos inputs obtidos através da FMEA no Rule Viewer (fonte: elaboração própria).....	89
Figura 40 - Representação do processo de avaliação do risco (fonte: elaboração própria).....	91
Figura 41 - Esquematização do modelo desenvolvido (fonte: elaboração própria).....	92
Figura 42 - Perspetiva de eletrificação dos diferentes países até 2050 (fonte: (IEA, 2021)).....	94
Figura 43 - Representação gráfica do número de carros ligeiros matriculados em dezembro de 2020 em Portugal classificados pela sua topologia (fonte: AutoInforma).....	96
Figura 44 - Representação gráfica do número de carros ligeiros matriculados em dezembro de 2021 em Portugal classificados pela sua topologia (fonte: AutoInforma).....	96
Figura 45 - Representação gráfica da distribuição da tipologia de veículo por país (fonte: IEA).....	97
Figura 46 - Representação das expectativas de vendas de VE (fonte: (Global, 2022)).....	98
Figura 47 - Evolução por ano da quantidade de estações públicas de carregamento entre 2015 e 2020 (fonte: (IEA, 2021)).....	99
Figura 48 - Perspetiva de crescimento em modelos de VE das principais marcas a atuar no mercado (fonte: (IEA, 2021)).....	99
Figura 49 - Perspetiva de crescimento em modelos entre 2021 e 2025 (fonte: (IEA, 2021))..	100

Figura 50 - Principais barreiras identificadas pelas empresas na aquisição de VE (fonte: (IEA, 2021)).	101
Figura 51 - Estratégias Genéricas para VE (fonte: elaboração própria, Adaptado de (Alam, 2019)).	102
Figura 52 - Introdução dos valores de S e O no Rule Viewer: obtenção do risco para produtos/materiais (fonte: elaboração própria).	109
Figura 53 - Introdução dos valores de Risco e D no Rule Viewer: obtenção do RPN para produtos/materiais (fonte: elaboração própria).	110
Figura 54 - Distribuição do impacto por categorias de risco de cada projeto (fonte: elaboração própria).	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Divisão do Processo de Gestão de Risco segundo o PMBOK e a ISO 31000 (fonte: elaboração própria).....	28
Tabela 2 - Eventos de risco típicos durante o CVP (fonte: (Kerzner, 2002)).....	31
Tabela 3 - Matriz Probabilidade Impacto (MPI) (fonte: elaboração própria).	32
Tabela 4 - Técnicas de Avaliação do Risco (fonte: (ISO 31010:2009)).	36
Tabela 5 - Benefícios da implementação da FMEA (fonte: IEC 60812).	41
Tabela 6 - Critérios de classificação para o Índice de Severidade (S) (Fonte: (Stamatis, 1995))	44
Tabela 7 - Critérios de classificação para o Índice da Ocorrência (O). (Fonte: (Stamatis, 1995)).	46
Tabela 8 - Critérios de classificação para o Índice de Detetabilidade (D). (Fonte: (Stamatis, 1995))	47
Tabela 9 - Classificação da ação consoante o valor de RPN obtido (fonte: (Stamatis, 1995)). ..	48
Tabela 10 - Exemplos de aplicação da Fuzzy-FMEA (fonte: elaboração própria).	66
Tabela 11 - Impacto sobre as categorias em estudo: âmbito, tempo, custo e qualidade (fonte: elaboração própria).....	69
Tabela 12 - Variáveis elementares para cada risco/modo de falha (fonte: elaboração própria)..	71
Tabela 13 - Descrição da variável de entrada para Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria). 74	
Tabela 14 - Descrição da variável de entrada para Severidade (S) (fonte: elaboração própria). 74	
Tabela 15 - Descrição da variável de entrada Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria). ..	75
Tabela 16 - Descrição das variáveis de saída Risco e RPN (fonte: elaboração própria).....	76
Tabela 17 - Definição das variáveis do processo (fonte: elaboração própria).	79
Tabela 18 - Definição das funções de pertença para a variável Severidade (S) (fonte: elaboração própria).....	80
Tabela 19 – Definição das funções de pertença para a variável Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria).....	80
Tabela 20 - Definição das funções de pertença para a variável Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria).....	81
Tabela 21 - Definição das funções de pertença para a variável Risco (R) – Modelo 1 (fonte: elaboração própria).....	81
Tabela 22 - Definição das funções de pertença para a variável RPN (RPN) – Modelo 2 (fonte: elaboração própria).....	81
Tabela 23 - Matriz Probabilidade-Risco entre Ocorrência e Severidade (fonte: elaboração própria).....	84

Tabela 24 - Matriz Probabilidade-Risco entre Risco e Detetabilidade (fonte: elaboração própria).	84
Tabela 25 - Análise SWOT (fonte: elaboração própria).	103
Tabela 26 - Distinção entre risco operacional e risco organizacional aos modos de falha identificados (fonte: elaboração própria).	106
Tabela 27 - Cálculo do RPN FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	106
Tabela 28 - Matriz de Ação Prioritárias FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).	107
Tabela 29 - Inputs para os modelos em Matlab: Produto/Materiais (fonte: elaboração própria).	108
Tabela 30 - Cálculo do Risco Fuzzy-FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	109
Tabela 31 - Cálculo do RPN Fuzzy-FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	110
Tabela 32 - Matriz de Ação Prioritárias Risco Fuzzy-FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).....	111
Tabela 33 - Matriz de Ação Prioritárias RPN Fuzzy-FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).	111
Tabela 34 - Cálculo do RPN FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	113
Tabela 35 - Matriz de Ação Prioritárias FMEA – Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).....	114
Tabela 36 - Cálculo do Risco Fuzzy-FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	114
Tabela 37 - Cálculo do RPN Fuzzy-FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).....	115
Tabela 38 - Matriz de Ação Prioritárias Fuzzy-FMEA - Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).....	115
Tabela 39 - Matriz de Ação Prioritárias Fuzzy-FMEA - Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).....	116
Tabela 40 - Risco médio para projetos de carros elétricos e a hidrogénio (fonte: elaboração própria).....	116
Tabela 41 - Matriz de Ação Prioritárias Fuzzy-FMEA com base no valor de Risco Primário - Veículos Elétricos (fonte: elaboração própria).....	118

1. INTRODUÇÃO

A potencialização de oportunidades pode ser vista como um elemento diferenciador capaz de captar vantagem competitiva para as organizações. Com o surgimento de novos concorrentes no mercado, com as alterações tecnológicas, com a consciencialização dos consumidores cada vez mais informados e exigentes, as empresas têm como missão apresentar produtos inovadores, amigos do ambiente, aos quais os consumidores reconhecem valor, culminando na diminuição de custos empregados pelos investidores e no aumento de lucros e de quota de mercado.

Para que seja possível compreender o impacto que uma atividade de risco tem sobre a empresa deve ser feito um acompanhamento atual do mercado e da organização, com o objetivo de definir uma estratégia que permita à empresa aumentar a sua quota de mercado, ser competitiva e atingir ou superar os objetivos definidos na fase de planeamento, minimizando o impacto de possíveis eventos de risco negativo.

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas a indústria tem vindo a enfrentar um ambiente cada vez mais competitivo em virtude do desenvolvimento tecnológico e das exigências dos consumidores. O aumento dos concorrentes no mercado força a que as empresas procurem a melhoria contínua dos seus processos. Aliado à exigência do mercado, os consumidores procuram produtos capazes de satisfazer as suas necessidades de consumo e que apresentem qualidade. Desta forma, as organizações devem alinhar as suas estratégias e objetivos em prol de produtos capazes de satisfazer, ou até mesmo superar, os requisitos do seu público-alvo.

A indústria automóvel apresenta-se como um dos setores com maior investimento e uma das áreas mais competitivas, não só pela existência de uma ampla oferta de mercado - seja de modelos, marcas mas, também, fontes de energia. O nível de qualidade que o produto apresenta, o grau de inovação da engenharia e a aposta na melhoria contínua de processos e na valorização dos Recursos Humanos contribui para o sucesso das organizações do setor.

Contudo, é, também esta, uma área pautada por riscos de elevado impacto que podem colocar em causa os objetivos, estratégias e a sustentabilidade da própria organização. É essencial minimizar os riscos que apresentam impacto negativo seja do ponto de vista operacional e/ou organizacional, garantindo o bom desempenho do produto final e da própria organização – de forma que é investida a quantia de dinheiro necessária capaz de suportar o processo de investigação e desenvolvimento, sejam evitadas situações que podem originar desperdícios, produtos não conformes, além de alocarem recursos desnecessários.

1.2. Objetivos

O objetivo da presente dissertação consiste em desenvolver uma metodologia que permite apoiar o processo de tomada de decisão com base na experiência e no conhecimento de especialistas, a fim de determinar quais os modos de falha prioritários que colocam em causa o projeto e, conseqüentemente, a organização. Para tal, vão ser utilizadas duas metodologias: FMEA e *Fuzzy-FMEA*. A finalidade de utilizar dois métodos de avaliação do risco consiste em validar as vantagens que a *Fuzzy Logic* tem sobre a FMEA na identificação e eliminação das causas raiz associadas aos modos de falha que representam maior criticidade para a empresa.

Pretende-se concluir de que forma um sistema *Fuzzy Logic* pode tratar a informação relativa à análise FMEA. Ou seja, como podemos transpor o conhecimento e a experiência dos especialistas no processo de tomada de decisão. Além disso, é necessário compreender qual a melhor estratégia a adotar se se verificar a ocorrência de um evento com impacto negativo sobre a organização.

Face à situação acima exposta, pretende-se:

- Identificar quais os potenciais modos de falha associados aos projetos na indústria automóvel que apresentam maior impacto sobre os objetivos organizacionais e na competitividade da organização – independentemente da fonte de energia/combustível.
- Desenvolver um sistema *Fuzzy-FMEA*, baseado nos parâmetros obtidos na análise FMEA, representativa da realidade e segundo o conhecimento e a experiência dos especialistas no assunto em estudo.
- Comparação dos resultados obtidos segundo a metodologia FMEA e *Fuzzy-FMEA*
- Avaliação do impacto do modo de falha sobre a competitividade da organização
- Sugestão de melhorias no controlo e deteção dos eventos de risco prioritários com maior impacto sobre os objetivos organizacionais.

1.3. Metodologia de Investigação

Esta dissertação procura contribuir para a compreensão da *Fuzzy Logic* como mais-valia na modelação de Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) que procura modelar a gestão do risco, associado a modos de falha detetados em projetos na indústria automóvel.

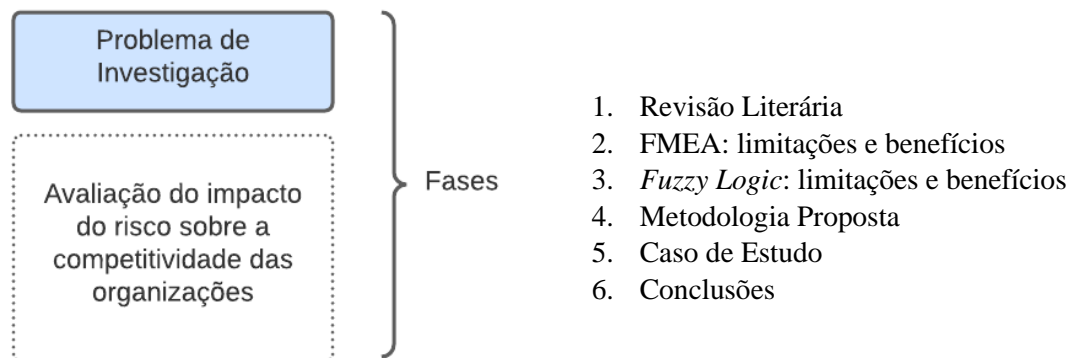
Para atingir os objetivos estabelecidos é realizada numa primeira fase da dissertação uma revisão da literatura com base em artigos científicos. A revisão literária permitirá realizar um enquadramento teórico capaz de suportar o trabalho da presente dissertação. Posteriormente, é feita uma análise sobre a FMEA e a *Fuzzy Logic* para obter informações que auxiliem na resposta a questões, tais como:

- Em que contextos foram utilizadas estas metodologias e quais os resultados obtidos?
- Quais as vantagens que advêm da utilização conjunta da FMEA com a *Fuzzy Logic*?

A fase de desenvolvimento do modelo *Fuzzy*-FMEA resulta do contributo de especialistas das mais diversas áreas para a definição quer das regras de inferência quer das funções de pertença. O modelo será desenvolvido através do *Matlab*, mais concretamente da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* – trata-se de uma ferramenta intuitiva, capaz de simplificar o processo e evitar erros de cálculo. O desenvolvimento deste modelo consiste na identificação das variáveis, na definição dos conjuntos *fuzzy*, das funções de pertença assim como das regras de inferência *fuzzy*.

1.4. Estrutura

A estrutura da presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos segundo a ordem como o estudo foi desenvolvido, facilitando a compreensão ao leitor e transmitindo de uma forma clara o raciocínio aplicado – tal como apresentado na figura abaixo.



O primeiro capítulo diz respeito à temática do trabalho, o seu contexto, objetivos e metodologia utilizada no seu desenvolvimento.

No segundo capítulo são apresentados os conceitos chave através da informação retirada da revisão literária relativa ao tema de Gestão do Risco em Projetos, indo ao encontro dos objetivos da presente dissertação: a construção de um modelo que permite avaliar o impacto associado a potenciais modos de falha na competitividade de uma organização.

No terceiro capítulo procede-se à abordagem do conceito FMEA e *Fuzzy Logic*, apresentando conceitos chave, áreas de aplicação, critérios de classificação para os diferentes parâmetros, bem como vantagens e limitações associadas a cada uma das ferramentas.

O quarto capítulo consiste no desenvolvimento de um modelo com recursos à ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox* do *software Matlab*, com objetivo de avaliar o impacto de eventos de risco sobre o sucesso do projeto e na competitividade da organização.

O quinto capítulo consiste na caracterização do caso de estudo e aplicação do modelo desenvolvido no capítulo anterior. São apresentados os resultados da análise ao setor dos veículos alternativos, em particular aos carros elétricos e movidos a hidrogénio, para avaliar o risco associado ao projeto e para a organização e o impacto sobre a competitividade do produto.

Por fim, no sexto capítulo, e último, são feitas as considerações finais onde se expõe as principais conclusões e se apresentadas melhorias ao modelo desenvolvido e aos resultados obtidos.

Faz, também, parte deste documento três anexos de matérias relevantes para a compreensão do presente trabalho e do modelo desenvolvido – referentes à FMEA, código *Matlab* e às Regras de Inferência.

2. GESTÃO DE RISCO EM PROJETOS COM IMPACTO NAS ORGANIZAÇÕES

Com o atual cenário de competição entre empresas a nível global, o mundo empresarial é caracterizado como um espaço dinâmico na qual a inovação tecnológica e facilidade na obtenção de capital permite às organizações encurtar a distância com o mercado. Esta realidade traduz-se em desafios para as novas empresas e, para que estas garantam a sua sobrevivência, na procura de vantagens competitivas e na diferenciação dos seus produtos.

Ao termo organização deve ser incluído todas as variáveis que condicionam fortemente a qualidade dos produtos desenvolvidos; a inovação dos processos produtivos, produtos/serviços; espírito empreendedor dos gestores de projeto e respetiva equipa; da qualidade dos recursos humanos da empresa; das relações estabelecidas entre empresas, entidades públicas e clientes; a antecipação das necessidades futuras de mercado por vias de *marketing*; preocupações sociais e ambientais; tecnologia, e internacionalização. São estas algumas das variáveis com crescente relevância no desenvolvimento empresarial, criando fatores de competitividade, permitindo à organização obter um desempenho superior aos concorrentes, num ambiente de grande rivalidade (Chiavenato, 1982).

Um elemento-chave num desempenho superior é a empresa considerar-se como um organismo de evolução admitindo a mudança como um conjunto de oportunidades no momento de aprendizagem (Chiavenato, 1982).

Chiavenato (1982) considera que as empresas de hoje são diferentes das de ontem e, provavelmente, amanhã e no futuro distante apresentarão diferenças ainda maiores. A empresa de hoje tende a ser vista como um organismo vivo, necessariamente como um sistema aberto, complexo e adaptativo, interactuante com o meio envolvente, que se socorre de vários mecanismos para otimizar e racionalizar a aplicação de recursos na produção de bens e serviços de forma a satisfazer as necessidades da sociedade e os seus objetivos (Chiavenato, 1982).

Desta forma, as organizações são desafiadas nos vários projetos que têm, impulsionando à mudança, ocorrendo uma deslocalização entre o estado atual para um estado futuro (PMI, 2017), com vista a atingir um dado objetivo. *Kerzner* (2002) constata que a gestão de projetos nas organizações sofreu diversas alterações nos últimos 50 anos. Para o autor, estamos atualmente na Era Moderna de Gestão de Projetos – relacionada com a migração da disciplina para todas as áreas de negócio da empresa, tornando-a orientada a projetos (Kerzner, 2002).

2.1 Gestão de Projetos

Segundo *Kerzner* (2002) antes de se entender o que se trata de gestão de projetos importa conhecer algumas particularidades associadas a projeto. *Lewis* (1999) afirma que o incorreto levantamento das necessidades e das particularidades de um projeto pode induzir ao seu fracasso e que todo e qualquer projeto a si associado uma data de início e conclusão, um objetivo estabelecido ou uma atividade com vista a ser realizada, um orçamento definido previamente para além de uma equipa temporária direcionada ao seu desenvolvimento.

Para *Turner* (2005) projetos implicam significativo empreendimento de recursos humanos, materiais e financeiros organizados de uma forma inovadora para realizar um objetivo de trabalho único, envolvendo grandes equipas dedicadas e, na maioria das vezes, em colaboração com várias organizações. *Kerzner* (2002) afirma, ainda, que um projeto para além de ter um objeto identificável e consumir recursos, é implementado sob pressão, prazos, custos e qualidade.

Segundo o *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)* pode ser definido como “esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” (PMI, 2017). Diz-se que o fim de um projeto foi alcançado quando os objetivos do projeto foram atingidos ou quando o projeto é encerrado porque os seus objetivos não serão ou não podem ser concretizados, ou a sua necessidade deixa de existir” (PMI, 2017).

A complexidade na prossecução dos projetos e a crescente competição existente no mercado global conduziu a um maior foco por parte das empresas de gestão de projeto. *Oisen* (1971) define este conceito como a aplicação de um conjunto de ferramentas e técnicas para utilizar os recursos com vista a obter – desde a conceção à conclusão – uma tarefa complexa e única dentro das limitações de tempo, custo e qualidade. Recentemente, *Zandhuise Stellingwerf* (2013) na *International Standard Organization (ISO) 21500* define como aplicação de métodos, ferramentas, técnicas e competências de um projeto através de um processo que inclui as várias etapas do Ciclo de Vida do Projeto (CVP).

O cumprimento dos objetivos do projeto pode produzir uma ou mais das seguintes entregas (PMI, 2017):

1. Um produto único que pode ser componente de um outro item, uma melhoria ou correção de um item ou de um novo item
2. Um serviço único ou uma capacidade de realizar um serviço
3. Um resultado único, como um produto ou documento
4. Uma combinação única de um ou mais produtos, serviços ou resultados.

Chapman, C. e Ward, S. (2003) caracterizam a fase de definição de um projeto segundo a seguinte estrutura de tarefas (fig. 1):

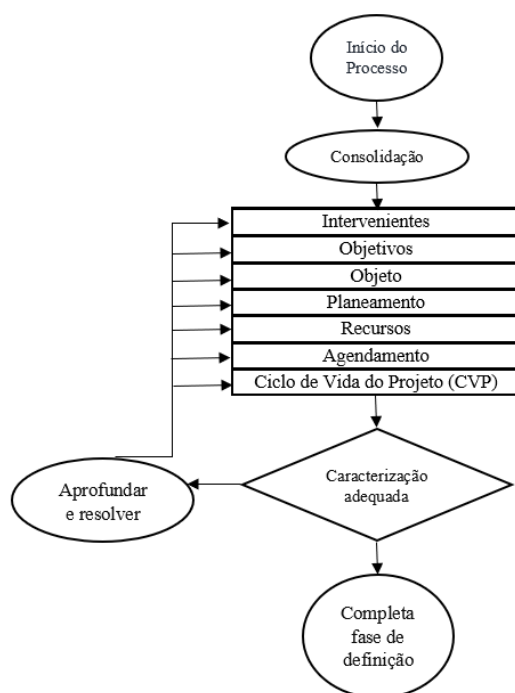


Figura 1 - Tarefas específicas na definição de projetos (Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (Chapman & Ward, 2003))

Um projeto resulta do encadeamento de sete passos para a sua definição. Os seis primeiros passos dizem respeito aos intervenientes, aos objetivos, ao objeto, ao planeamento, aos recursos, ao agendamento. Já o sétimo e último passo é referente ao Ciclo de Vida do Projeto.

Para Vargas (1998) os projetos encontram-se divididos em várias etapas de desenvolvimento interligadas entre si, sendo o conjunto de todas essas etapas o CVP. O conhecimento das fases do CVP gera benefícios independentemente do projeto e, para o autor, permite a avaliação da progressão do projeto e a verificação do estado atual.

Designa-se de CVP à sequência de atividades e decisões que vão desde o surgimento da ideia de um novo produto/serviço até à comercialização da mesma – tangível ou não. O CVP não deve ser confundido como o Ciclo de Vida do Produto, até porque cabe ao projeto a responsabilidade de definir o produto. O primeiro ponto a ser considerado na análise do CVP é o nível de interesse na realização do projeto, cujo início ocorre no instante zero, cresce até atingir um ponto máximo e, após esse ponto, é registado um decréscimo abrupto até atingir valores nulos (PMI, 2017).

Para o *Project Management Institute (PMI)* (2013) o CVP consiste numa série de fases pelas quais um projeto passa desde a data de início à data de término, sendo estas etapas limitadas

pelo tempo e caracterizadas por inputs e outputs bem definidos. Embora existam diversas teorias sobre a constituição do CVP, importa especificar a importância da divisão do projeto em etapas para planejar, executar e controlar, segundo uma ordem lógica e representativa da realidade (Project Management Institute, 2013).

As distintas fases que constituem um projeto devem ser articuladas de forma coerente empregando em cada momento os recursos adequados. Ou seja, uma nova fase não foi prevista pelo planejamento, que não tenha em sua posse os recursos mínimos à sua concretização, compromete os objetivos do projeto, implica maiores custos e à alocação de uma maior quantidade de recursos, além de exigir mais tempo (PMI, 2017).

Os projetos tendem a variar de acordo com o seu tamanho e variedade. Segundo o *PMBOK* existe uma estrutura genérica do CVP (fig. 2) que possibilita a comparação entre projetos, independentemente das suas características e apesar de não apresentarem natureza semelhante (PMI, 2017).

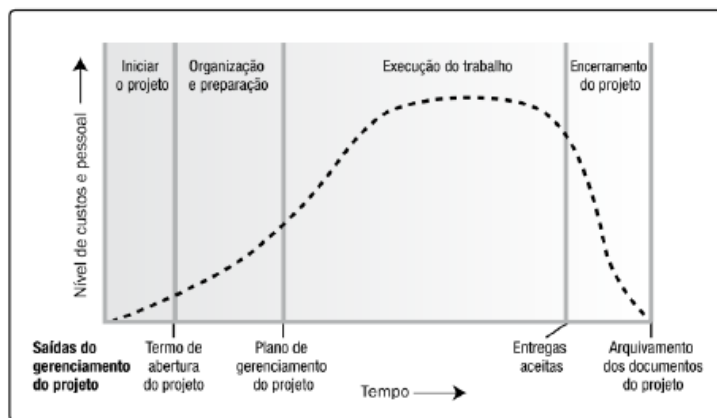


Figura 2 - Estrutura genérica do CVP (Fonte: (PMI, 2017)).

De acordo com a figura acima regista-se um aumento dos riscos com o avançar do CVP, atingindo o máximo na fase de “Execução do trabalho”

As fases representadas na estrutura genérica do CVP são coincidentes com as fases referenciadas por *Chapman e Ward* (2003): Contextualização, Planejamento, Execução e Conclusão. Pertencentes às quatro fases identificadas por estes autores tem-se um conjunto de quatro etapas divididas entre início do projeto; organização e preparação; execução do trabalho; e gestão do projeto (fig. 3).

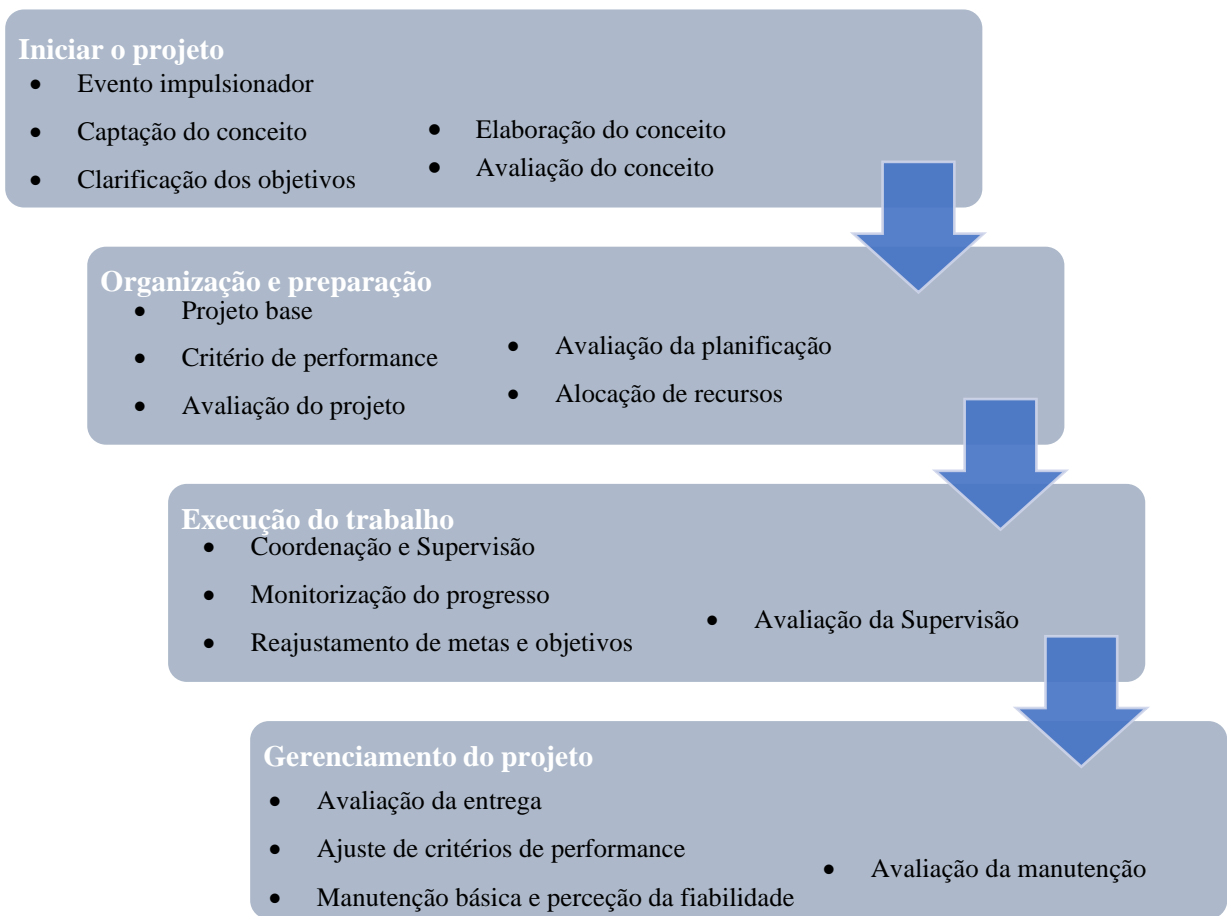


Figura 3 - Fases, etapas e passos do Ciclo de Vida do Projeto (CVP) (fonte: elaboração própria, Adaptado de (Chapman & Ward, 2003))

2.1.1 Gestão de Projetos e Gestor de Projetos

Gerir um projeto parte da identificação dos requisitos, da adaptação de diversas necessidades e preocupações bem como expectativas dos *stakeholders* (PMI, 2017) desde o momento de delineamento do projeto até à sua conclusão. Tratando-se de um processo bastante dinâmico, seja por alterações de cronograma, diminuições de orçamento e/ou divergência de ideias das partes interessadas no projeto, existem riscos aos quais a equipa de gestão de projeto deve responder de forma assertiva através da utilização de ferramentas e técnicas, que permitem a avaliação de diferentes cenários, não comprometendo os objetivos organizacionais e a fim de alcançar o sucesso do projeto (PMI, 2017).

Todas as atividades que ocorrem no conjunto de processos de gestão de projetos são da responsabilidade de um indivíduo: o gestor de projetos. Este é eleito pela organização para liderar a equipa responsável pelo alcance dos objetivos do projeto (Brand, 2001). Para tal, além das habilidades técnicas específicas necessárias para o projeto, deve possuir um conhecimento sobre gestão de projetos, ambiente de negócio, aspetos técnicos e outras informações necessárias para

gerir o projeto com eficácia (PMI, 2017). O gestor tem sucesso quando os objetivos do projeto são alcançados, ou satisfeitas as partes interessadas, através da adaptação da abordagem do projeto, do CVP e do processo de gestão do projeto para cumprir os requisitos do produto e do projeto (Chapman & Ward, 2003).

Define-se sucesso do projeto como a seleção de processos apropriados necessários à concretização dos objetivos, à utilização de uma abordagem capaz de atender as necessidades e expectativas dos *stakeholders* (Maximiano, 2002), obtendo um equilíbrio entre áreas, tais como: âmbito, tempo, custo, qualidade, recursos e risco -, para gerar um produto, serviço ou resultado específico (Kwak, 2005).

2.2. Competitividade *versus* Estratégia

2.2.1. Estratégia Empresarial

O processo de identificar, avaliar e gerir o risco requer uma visão estratégica que implica o conhecimento do estado do mercado, do ambiente social, político e cultural onde a organização se insere e que pode afetar a capacidade desta em concretizar os seus objetivos (Frigo, 2011).

Isto para afirmar que, qualquer sistema de gestão não deve estar desligado da estratégia da organização. Até porque a performance de uma organização depende de um grande conjunto de fatores, contribuindo para a concretização dos objetivos estratégicos. Se um risco se trata do não alcance de um objetivo, recensear riscos equivale, portanto, a recensear objetivos (Courtney, 2000).

O desdobramento da estratégia em objetivos estratégicos e operacionais, atribuindo responsabilidades na gestão de riscos por toda a organização sustenta a responsabilização e a avaliação do desempenho, promove a eficiência em todos os níveis da organização através de um balanceamento entre os objetivos e metas definidos e os riscos a estes associados (Fraser, 2010). A análise das relações causa-efeito entre os riscos identificados e os objetivos definidos pela organização permite chegar às principais alavancas de risco que permite monitorizar ou cujo domínio será necessário assegurar. Ou seja, apenas contribui para o desempenho de uma organização aquilo que contribui para atingir os objetivos estratégicos sendo os indicadores de riscos ajustados aos objetivos traçados (Lorino, 2000).

Se se verificar que o risco constitui uma oportunidade, a empresa deve procurar canalizar as suas estratégias ao encontro do objetivo formulando um plano que vise o seu aproveitamento (PMI, 2017).

A política tecnológica de uma organização está relacionada como estratégia adotada (Ettlie, Environmental Uncertainty and Organization Technology Policy, 1982), abrangendo

processos, produtos e tecnologias de suporte, dependendo da interpretação do meio envolvente e das necessidades dos consumidores (Adler, 1989). A formulação diferenciada da tecnologia a utilizar e da estratégia inovadora promove a criação ou manutenção da vantagem competitiva da organização e, conseqüentemente, do seu sucesso.

Segundo *Ettlie e Bridges* (1987) define-se como a estratégia da empresa de longo prazo relacionada com a adoção de novos processos e materiais inovadores assim como a orientação de novos produtos ou serviços inovadores, estando enquadrada com os objetivos da empresa.

A tecnologia é considerada um dos fatores que mais determina as regras de competição, contribuindo para a competitividade das empresas e assume-se como o principal determinante do desenvolvimento económico, industrial e da performance económica, para além de ser um elemento diferenciador (Lefebvre, 1997).

Mas, o que se entende por competitividade? Na literatura, o termo competitividade é tratado do ponto de vista macro e meso-económico. Isto é, do ponto de vista da economia do país como um todo e de setores específicos. A vertente mais relevante para o estudo prende-se com fatores microeconómicos ao nível da empresa, da indústria e da sua inserção territorial à qual se inclui a competitividade empresarial (Castells, 2000).

A competitividade da organização num dado país é influenciada pelo nível de vida dos seus habitantes. A competitividade é, portanto, um conceito complexo que resulta da convergência de uma variedade de fatores, uns independentes outros interligados (Fórum para a Competitividade, 1995).

Do ponto de vista microeconómico, o conceito de competitividade apresenta uma definição clara, reportando à capacidade concorrencial das empresas, com o objetivo de aumento da produtividade, otimização da rentabilidade e no aumento da quota de mercado. Ao nível macroeconómico, o conceito prende-se no crescimento sustentado do nível de vida dos cidadãos (Fórum para a Competitividade, 1995).

A noção de competitividade abrange um conjunto de variáveis como recursos, organizações, processos, tecnologia, mercado, interações entre as organizações e o meio envolvente, bem como da dependência das tendências evolutivas em que as empresas estão inseridas.

A competitividade reflete, direta ou indiretamente, a influência da globalização. Ou seja, implica a mutação constante do contexto envolvente e exige competências que reforcem a competitividade empresarial de modo a permitirem uma adaptação eficiente e eficaz que crie e mantenha vantagens competitivas sustentadas face aos principais concorrentes.

Nos anos 80 do século XX a competitividade baseava-se na vantagem comparativa, isto é, um bom desempenho empresarial resultava num baixo custo de produção. Atualmente, no novo paradigma competitivo, esta baseia-se na globalização e na economia da procura, com as necessidades do consumidor a reger a oferta. É crucial para a sobrevivência das organizações produzir melhor, mais rápido e ao mais baixo custo, minimizando os recursos em prol de maximizar as receitas (Fórum para a Competitividade, 1995).

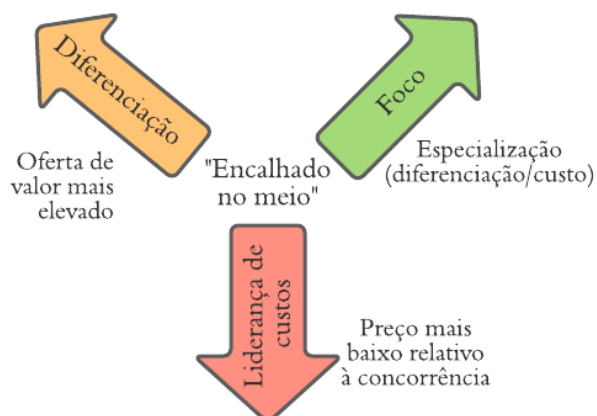


Figura 4 - Estratégias genéricas de Michael Porter (fonte: elaboração própria).

A capacidade de uma empresa se tornar, ou manter, competitiva depende da conjuntura do meio envolvente, da produtividade, dos seus investimentos, da capacidade de adaptação à mudança e da eficiência com a qual entrega os seus recursos para produzir bens ou serviços que satisfaçam as necessidades dos consumidores. Já o seu desempenho competitivo é influenciado pelo contexto político, económico, social e tecnológico onde se desenvolve atividade (Fórum para a Competitividade, 1995).

A definição mais abrangente e, por isso com maior grau de adaptação, utilizada pela Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico (OCDE) no âmbito da competitividade e citado no Fórum para a competitividade em 1995, define competitividade como a “capacidade de empresas, indústrias, regiões, nações ou regiões supranacionais gerarem, de uma forma sustentada e enquanto expostas à concorrência internacional, rendimentos de fatores e níveis de emprego relativamente elevados” (Fórum para a Competitividade, 1995)

Para aplicação da definição de competitividade apresentada pela OCDE implica que a empresa mais dinâmica seja a que consegue garantir no decorrer da sua evolução, a longo prazo, a manutenção dos postos de trabalho, a valorização das competências e qualificações e remuneração dos fatores produtivos.

A OCDE, citada pelo Fórum para a Competitividade, clarifica os diferentes estudos existentes sobre a competitividade em quatro grupos (fig. 5), de acordo com os seus objetivos e métodos (Fórum para a Competitividade, 1995):

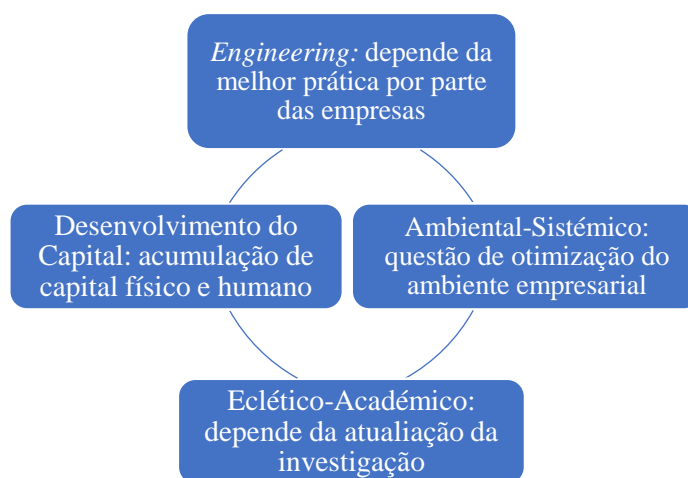


Figura 5 - Divisão por categorias dos estudos sobre a competitividade (fonte: elaboração própria, Adaptado (Fórum para a Competitividade, 1995)).

Para Vet (1993) existem três atributos importantes da competitividade. O primeiro, no sentido microeconómico, refere-se à capacidade de uma empresa em aumentar as suas quotas de mercado e os seus proveitos, e expandir-se. Uma empresa pode adotar estratégias quando tem por objetivo ser competitiva. Estas estratégias baseiam-se, por norma, na competição pelos custos, pelos recursos, pelas economias de escala¹, pela diferenciação ou numa competição mista e podem ser objetivos que podem ser mais ambiciosos para umas empresas do que para outras.

O segundo atributo diz respeito ao papel da tecnologia impulsionada pela inovação. As empresas têm de inovar constantemente para competir com sucesso. A renovação e modernização sucessiva dos produtos e serviços existentes auxiliadas por melhorias e reorganização na linha produtiva imperam como ferramentas de grande importância para sobreviver num ambiente competitivo. A inovação deve, por isso, ser vista como um ponto crucial para a obtenção da competitividade e como um resultado isolado de I&D mas sim um processo complexo que se constrói através das relações com os consumidores, fornecedores, trabalhadores e até mesmo com potenciais competidores pela análise de mercado ou através de acordos estabelecidos (Vet, 1993).

A competitividade da empresa depende não apenas da sua própria força competitiva, mas também do suporte que ela recebe do meio externo em que desenvolve a sua atividade, o que

¹ Economia de Escala: organização do processo produtivo de forma a alcançar a máxima utilização dos recursos produtivos envolvidos no processo, procurando baixos custos de produção e incremento de bens e serviços (Wikipédia, 2021)

reforça a importância do papel dos governos na esfera empresarial ao fazerem políticas comerciais, industriais, científicas e tecnológicas que influenciam a competição (Vet, 1993).

Para *Porter* (1999) existem três princípios básicos de estratégias competitivas genéricas divididos em: liderança de custo, a empresa oferece ao mercado benefícios similares aos seus concorrentes mas a preços significativamente inferiores; diferenciação, a empresa proporcionada benefícios superiores aos clientes a preços superiores e mais compensadores do ponto de vista do cliente; estratégias de foco, em que a empresa opta por uma das políticas anteriores aplicando a um segmento específico do mercado (fig. 6).

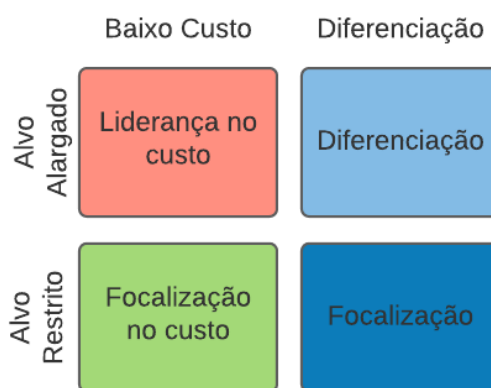


Figura 6 - Estratégias genéricas de Michael Porter (fonte: elaboração própria).

2.2.2. Competitividade e Vantagem Competitiva

Para melhor compreensão do conceito "competitividade" importa conhecer a definição de vantagem competitiva. *Porter* (1993) argumenta que uma nação pode não ser competitiva em todos os tipos de indústria. Na visão de *Porter* (1993), a vantagem competitiva de uma indústria advém da presença de determinados fatores essenciais: capacidade local de trabalho especializado, tecnologia e infraestruturas; uma base sofisticada de procura de consumidores locais; um número vigoroso de competidores locais; e de uma rede de indústrias de suporte e correlacionadas, como produtores especializados e fornecedores de serviços.

Desta forma, o contexto envolvente no qual a empresa se encontra inserida influencia a sua estratégia e, conseqüentemente, a sua competitividade. A disponibilidade dos recursos, das infraestruturas económicas, da base cultural ou o nível de educação da população são algumas das variáveis que afetam a competitividade das empresas de um determinado país.

Porter (1993) ao pronunciar-se sobre o sucesso empresarial e industrial relaciona-se com um determinado grau de aglomeração geográfica, que implica que os determinantes de vantagem

competitiva dependem da presença local de um *cluster*² de empresas e instituições relacionadas sectorialmente.

Catrola (2002) argumentou que a capacidade competitiva das empresas resulta de duas variáveis agregadas fundamentais, como a qualidade do ambiente externo e das estratégias empresariais competitivas, investimentos em fatores de competitividade mais avançados e no setor produtivo, reforço das estratégias de diferenciação e especialização, inovação, internacionalização e reforço da capacidade de exportação, e desenvolvimento das capacidades e iniciativa empresarial (fig. 7).

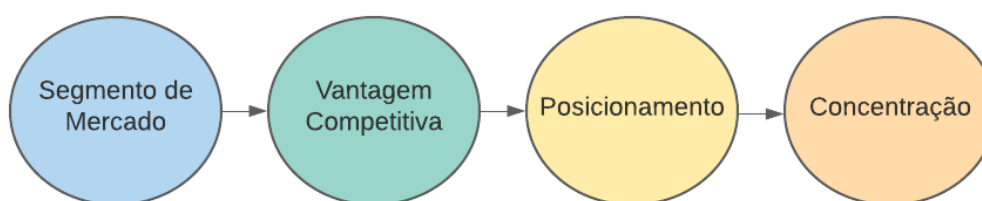


Figura 7 - Base da estratégia competitiva (Fonte: elaboração própria).

A expansão da produtividade implica que as empresas estabeleçam uma boa relação com a sua envolvente e concebam e implementam estratégias concorrenciais adequadas, otimizando os recursos materiais, humanos e financeiros, em parte, pela sua aplicação em segmentos de mercado cada vez mais sofisticados e, também, através da entrada noutras indústrias/setores de atividade económica e em novos mercados (Porter M. E., 1993).

A inovação, o investimento e o empreendedorismo apresentam-se como fatores relevantes da garantia de vantagens competitivas num ambiente cada vez mais concorrencial, mesmo face a concorrentes que baseiam a sua competitividade em economias de escala (Freire, 2002).

A inovação surge, portanto, como forma de as empresas se diferenciarem da concorrência num mercado cada vez mais exigente, através de uma oferta distintiva. Grandes empresas são, por regra, ativas numa gama largada de tecnologias e onde apenas algumas delas conseguem atingir uma posição diferenciadora a nível mundial (Tidd *et al.*, 2003).

Associada à diferenciação está a qualidade, especialmente quando se fala de mercados maduros, clientes exigentes, elevada concorrência. Quando uma empresa consegue uma

² *Cluster*: empresas que estão ligadas através de relações empresariais numa determinada região, com relações entre si do tipo vertical ou horizontal (Wikipédia, 2021).

combinação de diferenciação e de elevada qualidade relativa percebida, o retorno no investimento é em geral o dobro daquele em que não se regista diferenciação dos produtos (Tidd *et al.*, 2003).

Em termos de competitividade industrial, a produtividade deve ser entendida no sentido lato, relação entre *inputs* e *outputs*, não como exclusividade de produtividade industrial clássica, devido à crescente importância das atividades I&D, dos serviços, do marketing e de outras atividades intangíveis (Melo & Duarte, 2001).

Alguns fatores de competitividade empresarial dependem do objeto de aplicação como, por exemplo, das características intrínsecas das empresas e do estado em que estas se encontram no seu ciclo de vida; da evolução da economia. Aplicando o tema da presente dissertação, nos últimos anos tem-se verificado um crescimento no setor automóvel movidos a energias alternativas, suportados por incentivos governamentais e pela consciencialização do mercado face ao impacto da atividade humana sobre o meio ambiente (Vet, 1993).

2.2.3. Inovação em Projetos Tecnológicos

A visão estratégica torna-se um dos pontos fulcrais para a adaptação da empresa e, conseqüentemente, da sua sobrevivência. Esta visão resulta da criatividade e espírito de iniciativa dos gestores e dirigentes, com que empreendem, analisam e percebem do ambiente externo e interno da empresa. A forma distinta como os dirigentes e gestores interpretam o mesmo ambiente externo, leva à formulação de políticas e de ações inovadoras diferenciadas refletindo na performance organizacional (Lefebvre, 1997).

Vários atributos, característicos de cada empresa, podem gerar performances superiores a médio e longo prazo, o que torna possível que algumas empresas – pertencentes a uma dada indústria -, obtenham desempenhos superiores baseados em diferentes vantagens competitivas, sendo a vantagem competitiva uma construção multidimensional de vários contribuidores que determinam ou condicionam a competitividade empresarial (Lippman & Rumelt, 1982).

O carácter contingencial da empresa estabelece uma relação direta com o meio envolvente externo e interno. O que faz depender a eficácia organizacional da capacidade constante de adaptação dos fatores de competitividade, pela formulação de competências sustentadas e de novos produtos e serviços que criem sistematicamente vantagens competitivas orientadas para liderar a complexidade e a dinâmica do mercado atual e futuro, acabando por influenciar a competitividade da empresa e da indústria (Lippman & Rumelt, 1982).

O desenvolvimento tecnológico e a adoção de novas tecnologias permitem melhorar a competitividade empresarial e obter vantagens competitivas relacionadas com a elevada qualidade dos produtos, baixos custos de produção ou aumento da diversidade, traduzindo-se

numa melhoria de performance da empresa. *Schilling* (2002) relaciona, ainda, o desenvolvimento tecnológico com a renovação da aprendizagem organizacional, com a melhoria das competências internas e da capacidade de assimilar e utilizar nova informação.

Ligado à tecnologia tem-se a inovação e os esforços despendidos em I&D. *Schumpeter* (1934) foi o primeiro a associar criação de valor à inovação e quem, ao mesmo tempo, sublinhou a importância dos empreendedores individuais para o dinamismo empresarial. Argumentou, ainda, que a inovação tecnológica gera destruição criativa, a qual questiona as formas tradicionais de criação de valor e gera contrapartidas, sob a forma de rendimentos, aos empreendedores responsáveis pela sua introdução. Estes rendimentos tendem a diminuir à medida que as inovações se transformam em práticas estabelecidas e a imitação da concorrência aumenta, uma vez que, vêm no seguimento de iniciativas que incorporam algum risco e de decisões empresariais tomadas em contexto de incerteza e complexidade.

Para *Drucker* (1998), inovação consiste numa função específica do empreendedorismo, seja numa empresa, instituição ou num novo empreendimento. É a forma que possibilita a criação de novos recursos capazes de gerar riqueza ou melhorar recursos já existentes, de modo a potencializar a criação de valor.

Segundo *Drucker* (1998) existem inovações que surgem de ideias momentâneas e geniais. A maioria das inovações, no entanto, especialmente as bem-sucedidas, resultam a partir de uma busca intencional e consistente de oportunidades de inovação, que se encontram em algumas situações”. Dentro de uma organização temos quatro áreas de oportunidade: ocorrências inesperadas, incongruências, necessidade de processo e mudanças na indústria e no mercado. No contexto externo, temos três fontes de oportunidades adicionais: mudanças geográficas, mudança de percepções e novos conhecimentos.

Para *Kaplan e Norton* (1996), mais do que inovar tendo em conta a sustentação do presente, importa garantir o futuro, sendo que os ciclos de vida de um produto são cada vez mais diminutos. A vantagem competitiva de liderança de um ciclo de vida de um produto pode não assegurar essa liderança num ciclo tecnológico seguinte. A previsão das necessidades futuras de clientes, com a criação e a oferta de produtos e serviços inovadores, terá de ser uma competência central das organizações que estão em setores de rápida inovação tecnológica. Desta forma, as novas tecnologias devem ser incorporadas rapidamente, para que os processos operacionais sejam eficientes. No que toca a empresas com ciclos de vida mais alargados, a melhoria contínua dos processos é crucial no sucesso a longo prazo.

Para *Dantas e Moreira* (2011), a inovação é um processo a partir de uma ideia, intervenção ou reconhecimento de uma oportunidade, através do qual se desenvolve um produto, serviço ou um modelo de negócio a ser comercializado/validado pelo mercado. Segundo estes

autores, inovação está relacionada com competitividade porque quando um novo produto é inovador, tem sucesso no mercado para o qual é um produto competitivo oferecendo fiabilidade, leveza, consumo, qualidade, conforto, entre outras, possam pesar na diferenciação junto do cliente e da sua perceção.

Schumpeter (1934) sintetiza a definição de inovação como qualquer forma de fazer as coisas de modo diferentes, segmentada em cinco tipos:



Figura 8 - Definição de inovação por Schumpeter (Fonte: Elaboração Própria, adaptado de (Scumpeter, 1934)).

Inovação pode ser dividida em produto/serviço ou processo/operações. Isto é, quando feita para produtos/serviços são orientadas para o mercado enquanto as de processo/operações são aplicadas dentro da organização induzindo a práticas internas de gestão quer na oferta no mercado, otimizando a satisfação dos consumidores, aumentando o bem-estar e o excedente económico destes. Ambas as inovações têm o princípio de reforçar a competitividade da empresa e para a adaptação à mudança em certos ambientes organizacionais, caracterizados por elevados níveis de competição global e de rápido desenvolvimento tecnológico, que colocam desafios as organizações perante desafios nunca antes colocados (Damanpour & Evan, 1984).

A inovação é, portanto, um importante fator de competitividade, decisivo no crescimento e desenvolvimento económico de um país, com início na maximização das vendas e, posteriormente, na minimização dos custos, contribuindo para o crescimento dos mercados. Já a inovação associada a processos produtivos diz respeito a economias de escala e na eficiência do

processo, constituindo dois fatores relevantes para a competição entre produtores (Scumpeter, 1934).

As teorias de inovativas baseiam-se na relação entre o ambiente envolvente, a organização e os processos organizacionais, pelo que a inovação – enquanto variável geradora de competitividade –, incide essencialmente sobre o produto e o serviço (Den Hon & Stratopoulos, 2003).

2.2.4. Sucesso Empresarial

Uma questão muito associada à competitividade e à inovação prende-se ao sucesso organizacional. Os critérios de sucesso organizacional podem estar relacionados com os resultados obtidos, medidas de performance financeira e não financeira, otimização de custos, qualidade da organização, do produto e do serviço, inovação, imagem, posição superior, satisfação e perceção de sucesso dos vários *stakeholders* – as suas perceções são, geralmente, baseadas num número de variáveis de mudam com o tempo (PMI, 2017).

Para Kay (1993) não existem estratégias gerais sobre o sucesso ou fracasso empresarial uma vez que, caso estas fossem adotadas, ocorreria a eliminação da qualquer vantagem competitiva dela resultante. A base do sucesso empresarial ocorre quando há vantagem competitiva baseada em competências distintas, derivadas de características específicas e únicas de cada empresa e das relações com *stakeholders*, permitindo identificar características e relações e, posteriormente, aplicá-las nos mercados através de uma estratégia adaptativa, oportunista, racional, analítica e calculada.

Segundo Simon (1970) o sucesso empresarial depende, na sua maioria, do nível de aspirações e expectativas dos seus dirigentes, pois é a estes a quem cabe a responsabilidade de decidir sobre os seus recursos que as empresas afetam na produção de *output*.

Para Porter, (1999) uma empresa de sucesso é aquela que assume uma posição competitiva atrativa, dependendo o sucesso ou fracasso da posse de vantagem competitiva em relação aos melhores competidores.

Contudo, Kay (1993) defende que uma empresa de sucesso é aquela que consegue criar um carácter distinto em termos de relações que estabelece com os vários *stakeholders* – colaboradores, consumidores, fornecedores, investidores, *shareholders*³ – de forma a maximizar o valor acrescentado desta distinção no meio onde opera, através da seleção e gestão das variáveis do meio envolvente de acordo com as suas competências. Este autor defende que o sucesso empresarial depende da qualidade das relações estabelecidas pela empresa, nas quais se insere a cooperação e coordenação, e de um conjunto de capacidades distintas desta tais como: estrutura

³ *Shareholders* – acionistas.

da empresa, reputação, inovação e ativos estratégicos -, que permitem a obtenção de vantagens competitivas e a sua maximização face aos potenciais competidores.

Importa compreender como pode ser obtido e mantido o sucesso. Seguindo os pensamentos de *Kay* (1993) o sucesso depende das competências distintas da empresa, agrupados em estrutura, reputação e inovação, que auxiliam no êxito para a criação e exploração de ativos estratégicos cruciais para a obtenção de vantagens competitivas apropriadas e sustentadas. Existe uma série de fatores suscetíveis de sucesso, designados de indicadores de sucesso: dimensão da empresa, quota de mercado, seleção do mercado, posicionamento no mercado, rentabilidade acima da média que persiste de ano para ano e economias de escala crescentes. *Kay* (1993) ressalva que as causas de sucesso não devem ser confundidas como indicadores de sucesso.

Porter (1993) destaca que o meio envolvente é determinante para o sucesso competitivo das empresas. A criação e manutenção da vantagem competitiva é grandemente influenciada pela localização geográfica, em que diferenças nas estruturas económicas, custos, procura, valores, culturas e instituições contribuem profundamente para o sucesso competitivo. As empresas bem sucedidas têm tendência em concentrar-se em ambientes propícios ao desenvolvimento da atividade e políticas governamentais e locais favoráveis.

O sucesso resulta, portanto, da manutenção de um equilíbrio adaptativo com o meio interno e externo, com a criação e manutenção de vantagens competitivas e do incremento do desempenho organizacional de forma continuada, seguindo um processo dinâmico e integrado.

A gestão de projetos pode ser realizada através da aplicação e integração de 47 processos logicamente agrupados, constituídos por cinco grupos de processos de gestão de projetos: Iniciação, Planeamento, Execução, Monitorização e Controlo, e Encerramento. A ciência da Gestão de Projetos contempla dez áreas de conhecimento, sendo estas: prazo, custo, risco, âmbito, integração, comunicação, *stakeholders*, recursos humanos, qualidade e aquisição (PMI, 2017).

2.3. Gestão de Risco

O fenómeno da industrialização e as diferenças registadas no estilo de vida da sociedade potenciaram a uma crescente e nunca vista revolução tecnológica com repercussões em vários aspetos da vida humana.

Risco é uma das áreas que apresenta maior relevância quando o assunto é Gestão de Projetos, pois todo e qualquer projeto está sujeito a perturbações/variações que induzem a mudanças e, conseqüentemente, a alteração de cenários (PMI, 2017).

De pesquisas realizadas pelo *PMSURVEY* (2014) as áreas de conhecimento que apresentam maior importância na metodologia da gestão de projeto são lideradas por âmbito (94,1%), custo (84,0%), qualidade (67,5%) e riscos (66,3%) (fig. 9). Baseado no estudo desenvolvido por *Paiva et al*, existe uma ordem de importância para o sucesso de um projeto, sendo que os gestores assumem um papel decisivo de o término do projeto ser de acordo com os requisitos especificados (Paiva, 2011).



Figura 9 - Áreas de conhecimento em Gestão de Projetos. (Fonte: (PMSURVEY, 2014)).

Tendo em conta o tema da presente dissertação, realça-se a gestão de risco como uma das áreas mais relevantes na gestão de projetos

O gestor – figura máxima -, deve adotar uma postura de resolução de conflitos, realizar uma preparação prévia para evitar riscos de ocorrência (Brand, 2001). Uma vez que as decisões são tomadas com base em informação, esta deve ser a mais clara, fidedigna e atempada, para que o gestor tome uma atitude imediata que visa a diminuir as repercussões dos riscos, minimizando os possíveis impactos (Brown, 1993).

O termo risco é, na maioria das vezes, associado a perigo ou perda. Segundo o dicionário da Língua Portuguesa (2013) define-se risco como a “possibilidade de inconveniente ou fatalidade” Segundo *Bernstrein* (1997), por detrás deste termo sabe-se que risco é inerente à natureza humana, que a aceitabilidade de risco é própria do *homo economicus*⁴ e que a aversão de risco por parte do homem é o que diferencia dos restantes animais.

Para *Bernstrein* (1997), a Teoria das Probabilidades e a ferramenta da Lei das Probabilidades tiveram um papel fundamental no processo de quantificação dos riscos. Segundo *Miller e Lessard*

⁴ *homo economicus*: perfil que toma decisões financeiras e económicas racionais e acertadas (Wikipédia, Wikipédia, 2022).

(2001) risco é a probabilidade de ocorrência de eventos, assim como os seus impactos e interações dinâmicas se revelarem diferentes das anteriormente antecipadas.

Para *Frame* (2003) uma situação arriscada pode ser vista de duas perspectivas distintas: na qual é possível ganhar, mas também perder. Quanto mais arriscado for um investimento, mais benefícios podem ser extraídos. Mas, caso não ocorra como planeado, os prejuízos a acarretar serão, também estes, mais avultados (*Frame*, 2003).

O PMI (2013) define risco como um evento ou condição de incerteza que, se ocorrer, terá um efeito positivo ou negativo sobre pelo menos um objetivo do projeto como tempo, custo ou qualidade.

No entanto, o risco e os seus impactos podem não significar, necessariamente, perigo, perda ou mesmo algo negativo (PMI, 2017). De facto, risco trata-se de uma condição ou evento incerto que, se ocorrer, poderá ter um impacto – positivo ou negativo -, sobre um ou vários objetivos da organização. Resulta, portanto, num potencial imprevisível para a organização, determinado pela sua probabilidade e impacto (COSO, 2007).

Daqui decorre que a incerteza é distinta do risco. O risco refere-se a acontecimentos que têm uma probabilidade de ocorrência que pode ser determinada. Contrariamente, a incerteza refere-se a acontecimentos cuja probabilidade de ocorrência não é determinável e para o qual dados históricos pouco ou nada servem (*Smith*, 2003).

A ISO 31000:2013 define risco como sendo o efeito da incerteza nos objetivos. Ou seja, o risco é uma consequência que deriva da definição e alcance dos objetivos em contexto de incerteza. A incerteza derivada de fatores internos e externos que não estão sobre o controlo dos decisores, mas que podem ser determinantes para que a organização não atinja os seus objetivos, demore mais tempo a atingi-los ou os atinja antes do tempo definido. Risco é uma estimativa de grau de incerteza que se tem com respeito à realização de resultados futuros desejados (*Andrade*, 2000) ou não existe risco se existiu incerteza, porém pode existir incerteza sem existir risco (*Morgan*, 1990). A incerteza é o estado parcial de falta de informação relacionada com a compreensão ou conhecimento de um acontecimento, as suas consequências ou a sua probabilidade (ISO, 2012)

Assim, um risco pode ter um efeito negativo ou positivo, dependendo se o seu resultado culmina num prejuízo ou benefício para a organização. A ênfase deve estar nos efeitos e não na possibilidade de ocorrência de um determinado evento.

Do ponto de vista financeiro, risco é definido como a possibilidade de que determinado fluxo financeiro não venha a ocorrer ou venha a ocorrer em dimensão menor do que é esperada.

2.3.1 Importância da Gestão do Risco

A gestão de risco deve ser encarada como o conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização (Moreira, 1997) no que respeita ao risco através da identificação, a análise, a avaliação, o tratamento (controlo), a monitorização, a avaliação e a comunicação dos riscos (ISO, 2013) . Ou seja, a gestão do risco além de apoiar a implementação de procedimentos de conformidade e auditoria, visa a antecipação de eventos com uma orientação pró-ativa, considerando a estratégia e o planeamento adotados (Oliveira J. , 2011) na tentativa de atingir os seus objetivos.

O fraco conhecimento dos riscos associados às decisões tomadas no âmbito de uma organização, ou à sua ineficiente gestão, podem gerar resultados potencialmente negativos: um risco não identificado é um risco não tratado. Gerir uma organização implica uma dinâmica que, pela sua natureza, tem a si subjacentes riscos, podendo resultar em prejuízos ou benefícios (Government, Queensland, 2011). Qualquer decisão de um gestor tem um impacto que vai além da sua responsabilidade direta pelo que há que definir um equilíbrio de acordo com o perfil de risco de cada organização (Government, Queensland, 2011).

A abordagem à gestão de risco encontra-se dividida em dois formatos (Courtney, 2000):

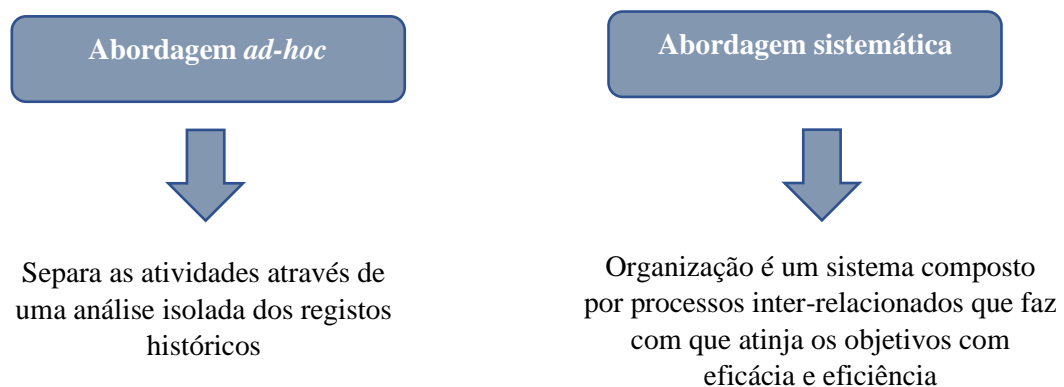


Figura 10 - Divisão da abordagem à gestão de risco (fonte: elaboração própria).

A seleção e implementação de um sistema de gestão de risco implica que os administradores, gestores e decisores reflitam sobre o balanceamento entre aproveitar oportunidades que resultem num crescimento e retornos que podem ser obtidos incorrendo determinados riscos e os potenciais prejuízos que podem resultar desses riscos. Apesar da abordagem ao risco ser muito diferente de organização para organização, o seu objetivo é similar: fornecer uma base sólida para a tomada de decisão sobre se um determinado risco é aceitável e se necessário obter informação de confiança em como lidar com ele (Prudy, 2010).

Todas as organizações são diferentes e, neste contexto, as metodologias e os indicadores de risco também irão variar não existindo um *standard* universal. Existem sim vários modelos e várias metodologias de gestão de risco (Fraser, 2010).

Com o passar do tempo a gestão de risco evolui no seu âmbito: para além de garantir a diminuição de erros e falhas e de função na área dos seguros e transações financeiras, passou a ser encarado como um conceito mais amplo e interligado com a governação e o atingir dos objetivos de uma organização (Woods, 2008).

De facto, a gestão do risco deve ser parte integrante do processo de planeamento e tomada de decisão, fazendo parte da governação da organização, responsabilidade da administração ao nível da sua definição e supervisão. Mas, para ser efetivo, o processo deve ser adaptado ao contexto, ao ambiente de controlo e à cultura organizacional de cada organização, assumindo uma abordagem integrada de identificação e gestão de risco (Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission , 1994).

Quanto maior e mais complexa for a organização, maior é o potencial de problemas de coordenação, exigindo uma delegação da autoridade. As organizações alteram a sua estrutura por forma a dotarem-se de uma maior flexibilidade e autonomia.

Com o objetivo de contribuir para a otimização do desempenho das empresas, a Comissão de Mercado de Valores Imobiliários (CMVM) publicou diversas recomendações às entidades que desenvolvem sistemas internos de controlo e de gestão de risco que consideram as seguintes componentes (CMVM, 2010):

- Fixação dos objetivos estratégicos da sociedade em matéria de assunção de risco.
- Identificação dos principais riscos ligados à atividade.
- Análise do impacto e da probabilidade de ocorrência de riscos.
- Alinhamento dos riscos efetivamente incorridos com a opção estratégica da sociedade.
- Introdução dos mecanismos de controlo da execução das medidas de gestão de risco adotadas e sua eficácia.
- Adoção de mecanismos internos de informação e comunicação.
- Avaliação periódica do sistema.

2.3.2. Gestão de Risco em Projetos em organizações

Nas últimas décadas tem sido crescente o interesse no risco e na sua gestão, pois risco é inerente a qualquer atividade e negócio (Froot, 1994). Apesar de essencial o controlo e a gestão de riscos em épocas de crise, os gestores também devem estar atentos aos sinais de risco quando

o ciclo económico é positivo (Simons, 1999)- no sentido em que a sua gestão deve ser utilizada como antecipação e não como reação. E, por isso, deve ser uma prática de gestão global, permanente e sistemática. As organizações devem ajustar constantemente a sua gestão à natureza das ameaças e oportunidades que enfrentam (Kaplan R. S., 2009).

O estabelecimento da competência e capacidade de identificar, compreender e gerir desafios complexos e oportunidades é um ponto crucial da gestão do risco. A gestão de risco é assim encarada como uma aproximação para realizar e implementar melhores decisões, num processo de melhoria contínua (Stulz, 2001).

Como uma organização se trata de um sistema organizado por um conjunto de processos que se realizam para a obtenção de um determinado objetivo, a existência de falhas deve-se a vários fatores inter-relacionados tais como: a falha da organização em explicar a política e a estratégia de risco no momento de formulação da sua estratégia e a falha na monitorização e gestão dos riscos que identificaram (Kaplan R. S., 2009).

Inicialmente, *Kaplan e Norton* (2009) concluíram que 85% dos gestores de topo discutiam a estratégia da organização apenas uma hora por mês e despendiam menos tempo a analisar questões relacionadas com o risco. Para estes a gestão de risco limitava o cumprimento das conformidades e o tipo de abordagem a adotar dependia fortemente do responsável pelo projeto.

Aquando da definição do plano estratégico e das políticas gerais devem ser identificados, definidos e limitados os riscos que a mesma está disposta a suportar – designado como perfil de risco -, principalmente quanto aos impactos negativos que podem advir face a eventos sobre os quais tem um controlo parcial ou nulo. Existe a necessidade de interligar a estratégia e a gestão de risco e a capacidade de identificar e gerir os riscos face a um ambiente de incerteza (Frigo, 2011).

A definição clara dos objetivos e metas é decisiva para a identificação, avaliação e gestão das variáveis que podem ameaçar o sucesso da estratégia definida de acordo com a missão e os valores da organização (Fraser, 2010). Desta forma, a gestão de risco deve ser contínua e ligada à estratégia e à sua implementação, contribuindo para aumentar a probabilidade da organização atingir os seus objetivos, gerindo os riscos segundo o perfil de riscos previamente definido, não só protegendo a organização mas, também, criando valor para as partes interessadas (Oliveira J. , 2011).

Todos os projetos apresentam riscos, pois tratam-se de empreendimentos únicos com vários graus de complexidade que visam proporcionar benefícios (ISO, 2013). Para tal, ocorrem num contexto de restrições e premissas respondendo, ao mesmo tempo, às expectativas das partes

interessadas que possam ser conflitantes. As organizações devem correr riscos de uma forma controlada e intencional a fim de criar valor e, ao mesmo tempo, equilibrar riscos e recompensas. A gestão dos riscos do projeto tem como objetivo de identificar e gerir os riscos não considerados pelos restantes Processo de Gestão de Projetos (PGP). Uma vez que estes podem impedir o projeto de alcançar os objetivos definidos.

De acordo com a ISO 31000:2013, a gestão do risco deve assegurar que todas as organizações apresentam uma resposta adequada aos riscos que as afetam, contribuindo para uma gestão eficiente dos recursos devendo esta ser parte da organização, da filosofia da gestão de topo, das políticas da empresa e da cultura desta (ISO, 2013).

Gerir os riscos é parte integrante da boa gestão e fundamental no alcance de bons resultados nos negócios e sucesso nos projetos. A sua inexistência produz efeitos negativos sob os projetos e a organização dado que, um processo de gestão do risco, faculta aos gestores e decisores uma forma estruturada de avaliar e gerir incertezas futuras (ISO, 2013).

Segundo a ISO 31000 existem onze princípios fundamentais para a adoção de um processo de gestão do risco, sendo que a Gestão do Risco (ISO, 2013):

1. Cria valor;
2. É parte integrante dos processos organizacionais;
3. É parte do processo de tomada de decisão;
4. Aborda explicitamente a incerteza
5. É sistemática, estruturada e oportuna;
6. É baseada na melhor informação disponível
7. É feita à medida;
8. Tem em conta os fatores humanos e culturais;
9. É transparente e inclusiva;
10. É dinâmica, interativa e adaptável à mudança;
11. Facilita a melhoria continua da organização;

Gerir riscos implica a existência da capacidade de identificar eventos em potencial, capazes de afetar a organização (COSO, 2007). A gestão dos riscos permite aos gestores tratar com eficácia as incertezas, os riscos e as oportunidades associados de forma a aprimorar a capacidade de geração de valor (ISO, 2013).

O valor é maximizado quando a administração estabelece uma estratégia e objetivos a fim de alcançar um ponto de equilíbrio ideal entre as metas de crescimento e de retorno, bem como dos riscos a ela relacionados, além de explorar os recursos com eficácia e eficiência para atingir os objetivos da organização. Eventos com impacto positivo podem contrabalançar os de impacto

negativo ou representar oportunidades. Uma oportunidade é a possibilidade de ocorrer um evento que irá influenciar favoravelmente a realização dos objetivos (COSO, 2007).

2.4. Processo de Gestão do Risco

A gestão de projetos deve obedecer a um planejamento estruturado de atividades que serão colocadas em prática com vista ao sucesso do projeto. Para que a gestão de projetos apresente resultados positivos, é significativo considerar a probabilidade de ocorrência de riscos durante a execução de todo o projeto, pois não há projeto que não sofra algum grau de incerteza seja ele de baixo ou alto impacto (ISO, 2013).

As organizações enfrentam um desafio constante: mitigar os riscos associados às atividades de um projeto. E, neste âmbito, a gestão de riscos é um processo muito importante para um bom desempenho na gestão de projetos permitindo identificar, analisar e avaliar, tratar e monitorizar os riscos durante o ciclo de vida do projeto (PMI, 2017).

A dinâmica de mercados onde as empresas estão atualmente inseridas, obrigam a que estas sejam inovadoras e flexíveis a fim de atingir vantagem competitiva face aos concorrentes. Uma empresa alcança vantagem competitiva quando os projetos alcançam com sucessos os objetivos delineados pela estratégia da gestão de topo (PMI, 2017).

A Gestão de Risco surge como um processo de identificação e avaliação do risco, monitorização, permitindo a gestão de incertezas pela organização, prevenindo ameaças e, ao mesmo tempo, identificando oportunidades através da análise dos riscos envolvidos, em termos de impacto e probabilidade de ocorrência (PMI, 2017).

A Gestão de Projetos tem alcançado grande notoriedade nas últimas décadas por ser uma área de aplicação de conhecimentos, competências, técnicas e ferramentas capazes de satisfazer as exigências causadas pela imprevisibilidade de cada projeto tendo a imprevisibilidade tendência a aumentar com a complexidade dos projetos (PMI, 2017).

A Gestão de Riscos do projeto é considerado, atualmente, um dos principais fatores de sucesso. Quanto maior a sua eficácia, maior a probabilidade de sucesso do projeto. A Gestão de Riscos Corporativa (GRC) centra-se no desempenho global da organização como um todo, através da criação, preservação e realização de valor com a integração de domínios, identificando e abordando riscos que tem impacto sobre os objetivos estratégicos definidos pela organização. A GRP não deve ser praticada independentemente da GRC uma vez que os riscos associados a projetos podem condicionar o desempenho da organização. Existem várias técnicas e ferramentas utilizadas para identificar o risco. Mas, fazer uma relação entre um risco corporativo e risco em projetos não foi exaustivamente explorado na literatura existente (Abreu & Martins, 2018).

Um projeto bem-sucedido é aquele que está alinhado com o âmbito, custos, cronograma e satisfação do cliente, dependendo exclusivamente de como os riscos são tratados. O processo de gestão de risco rege-se por modelos e normas internacionais como a ISO 31000 ou o *PMBOK*, desenvolvido pelo *PMI*.

Importa que a administração da organização se comprometa a sustentar e a assumir a gestão de riscos, respetivo planeamento e eficácia através de (ISO, 2013):

- Definição e aprovação a cultura de gestão de riscos.
- Alinhamento da política de Gestão do Risco segundo a cultura organizacional.
- Definição dos indicadores de desempenho.
- Comprometimento da alocação dos recursos necessários.
- Comunicação a todos os interessados dos benefícios da gestão dos riscos;

O Processo de Gestão de Risco sugerida no *PMBOK* é distinta da ISO 31000 (tab. 1):

Tabela 1 - Divisão do Processo de Gestão de Risco segundo o PMBOK e a ISO 31000 (fonte: elaboração própria).

Processo – PMBOK	Processo – ISO 31000
1. Planeamento e Gestão do Risco	1. Contextualização
2. Identificação do Risco	2. Avaliação dos Riscos: Identificação dos riscos
3. Análise Qualitativa do Risco	3. Análise do Risco: Estimativa de Riscos
4. Análise Quantitativa do Risco	4. Tratamento de Riscos
5. Planeamento da Resposta ao Risco	5. Monitorização e Revisão
6. Controlo do Risco	

Cruzando os processos deste dois modelos resulta um só, dividido em 5 fases:

Fase 1: Planeamento e Gestão do Risco

Na primeira fase é estabelecido o contexto na qual são delineados objetivos, estratégias da organização e são definidos parâmetros internos e externos que tem impacto sobre os riscos do projeto, estabelecimento do âmbito e o conjunto de critérios a ter em conta. Segundo o *PMBOK* (*PMI*, 2017) através de um planeamento cuidadoso e explícito há um aumento da probabilidade de sucesso nos restantes processos de gestão do risco. Este primeiro processo deve ser iniciado na conceção de um projeto, com respetivos objetivos, cronograma e custos definidos, pois estas informações servirão de base na gestão dos riscos.

Segundo o *PMI* (2013), o objetivo deste processo consiste na definição das decisões (ferramentas e técnicas) de gestão de riscos a serem executadas durante o ciclo de vida do projeto, com estas informações a serem registadas no plano de gestão dos riscos – documento que explicita

a metodologia adotada, os papéis e a responsabilidade dos membros da equipa de gestão dos riscos, os recursos suficientes para as atividades, prazos, frequências.

Fase 2: Identificação dos Riscos

Segundo a ISO 31000 (2013) trata-se de um processo global na qual estão presentes as etapas de identificação, análise e avaliação dos riscos. Cabe à organização identificar as fontes, impactos e eventos e respetivas causas e potenciais consequências. Este modelo refere, ainda, que o objetivo pela geração de uma lista de riscos que possam criar, aumentar, evitar, reduzir, acelerar ou atrasar a realização dos objetivos.

O PMBOK (Project Management Institute, 2013) refere que após o estabelecimento do plano de gestão dos riscos, há a necessidade de identificar as ações necessárias durante o ciclo de vida do projeto. Segundo este identificar os riscos é um processo de determinação dos riscos que possam afetar o projeto e as suas características, ou seja, todos os eventos de riscos que possam ter impacto sobre os objetivos do projeto deverão ser identificados.

Enquadrando o tipo de riscos existente com o tema da presente dissertação, importa abordar dois tipos de risco que colocam em causa o sucesso das organizações e, posteriormente, a sua competitividade. Da figura abaixo, destacar o risco operacional e o risco organizacional (fig. 11).

Doering (2003) definiu risco operacional relacionado com o risco do projeto de inovação como risco de impactos adversos no negócio quando levado a cabo de forma imprópria ou inadequada e pode resultar de fatores externos. Para *Beja* (2004) são riscos associados à probabilidade de ocorrência de perdas em termos de desempenho operacional (de produção, ativos, clientes, receitas) resultantes de falhas, deficiências ou inadequação de processos internos, pessoas e sistemas. Para *Kaplan* (2009) este tipo de risco tem o potencial de impedir a execução com sucesso de atividades com recursos e competências disponíveis e estratégias.

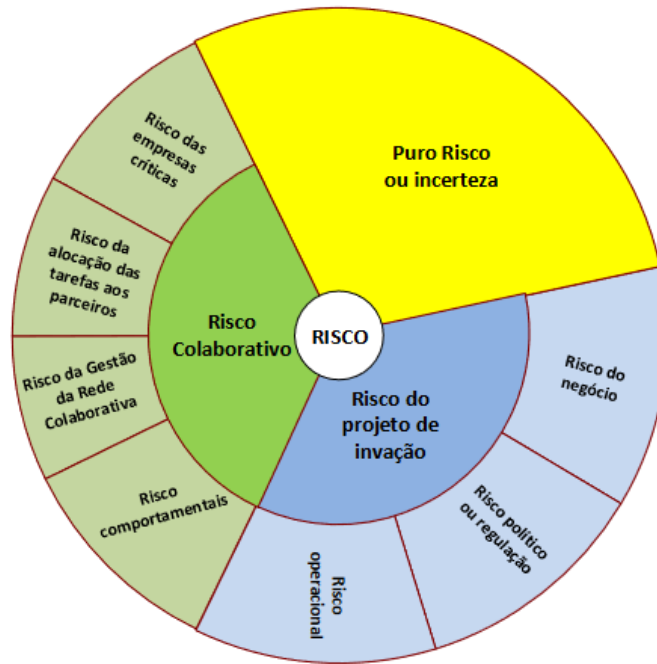


Figura 11 - Roda dos Riscos de inovação num sistema colaborativo (fonte: (Abreu & Calado, 2017)).

Alguns dos métodos possíveis de serem aplicados neste processo podem ser:

- Métodos baseados em factos, como as *check list* ou baseados em eventos ocorridos anteriormente.
- Abordagem processual, em que os especialistas seguem um processo sistémico de identificação dos riscos por meio de guias estruturados.
- Técnicas de raciocínio intuitivo como a HAZOP.⁵

O PMI refere que a identificação dos riscos deve reunir as suas principais características como causa(s) e efeito(s) através de ferramentas como *Brainstorming*, Análise SWOT⁶, entre outras.

Importa definir os riscos associados a cada uma das fases do CVP. Segundo Kerzner (2002) estes podem ser divididos nos seguintes eventos:

⁵ HAZOP – Hazard & Operability Studies

⁶ SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats

Tabela 2 - Eventos de risco típicos durante o CVP (fonte: (Kerzner, 2002)).

Conceptualização	Planeamento	Execução	Conclusão
<ul style="list-style-type: none"> • Indisponibilidade de especialistas sobre o assunto • Fraca definição do problema • Inexistência de estudos 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 • Alterações 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>

Fase 3: Avaliação dos Riscos

Segundo Kerzner (2002) a avaliação do risco é um processo sistemático para estimar o nível de riscos para os eventos 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.

O tema do presente trabalho envolve parâmetros de avaliação do risco que tem em consideração os resultados de várias ferramentas, mas, também, da percepção dos intervenientes do projeto nomeadamente o gestor, a quem cabe a responsabilidade de antevisão e/ou resposta de mitigação do impacto do risco.

A decisão do melhor método a aplicar depende da informação disponível no período temporal, dos objetivos delineados na fase do planeamento, das capacidades e conhecimentos do gestor, ou por decisão dos *stakeholders*.

Uma abordagem qualitativa é um processo de priorização dos riscos, atribuindo a cada situação uma classificação indicativa da importância potencial do risco. Esta classificação depende do contexto do projeto, sendo feita por (PMI, 2017):

- **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.

A decisão de proceder a uma avaliação qualitativa ou quantitativa deve-se a vários aspetos da gestão do risco, como a exigência do projeto ou os recursos implicados na gestão de projeto. Esta “bipolaridade” de avaliação do risco torna-se, muitas vezes, complementar. Uma avaliação qualitativa pode ser parte integrante de uma avaliação quantitativa, como passo de priorização dos vários riscos. As técnicas de avaliação qualitativa são aplicadas como o objetivo de atribuírem níveis de prioridade aos riscos que estão a ser objeto de uma avaliação quantitativa (PMI, 2017).

Tabela 3 - Matriz Probabilidade Impacto (MPI) (fonte: elaboração própria).

	Impossível	Baixo	Médio	Alto	Crítico
Crítico	M	M	H	H	H
Alto	L	M	M	H	H
Médio	L	L	M	M	H
Baixo	L	L	L	M	M
Impossível	L	L	L	L	M

L – Light, M – Medium, H - High

Uma avaliação detalhada e atempada traz à organização a capacidade de tomar as melhores decisões perante o risco, nomeadamente (PMI, 2017):

- Se o projeto deve ou não ser realizado.
- Como maximizar as oportunidades e/ou minimizar as ameaças ao projeto.
- Se os riscos devem ser tratados.
- Escolha entre alternativas com diferentes riscos.
- Seleção das estratégias de tratamento do risco que trarão riscos adversos para um nível tolerável.

Fase 4: Análise Qualitativa e Quantitativa

A análise dos riscos envolve a compreensão, apreciação das causas e fontes dos riscos, possíveis consequências - positivas e negativas -, probabilidade destas consequências ocorrerem, previsão de ações de contingências, estratégia a adotar e quais os métodos de tratamento mais adequados. Este tipo de análise é designado por qualitativo. Esta análise poderá atribuir uma classificação de alto, médio e baixo de forma que os riscos sejam priorizados e pré-selecionados, permitindo a “concentração de mais esforços nos riscos que apresentam um maior peso, ou seja, riscos com maior potencial de causar danos no projeto” (PMI, 2017).

Após a priorização dos riscos, estes serão avaliados qualitativamente através de uma classificação numérica associada a cada um dos riscos, com “a finalidade de analisar o efeito dos eventos dos riscos individualmente ou avaliar o efeito agregado de todos os riscos afetos ao projeto”. A probabilidade é dada sobre um valor percentual, enquanto o impacto pode ser mensurado sobre a forma de custo ou dias de atraso em relação ao cronograma. O processo de qualificação e quantificação dos riscos pode ser feito sob um formato individual ou em conjunto.

Após priorizados os riscos são avaliados segundo a probabilidade de ocorrência e de impacto, tendo os gestores de projeto e respetivos *stakeholders* a responsabilidade de definir a estratégia de tratamento dos riscos.

Segundo o PMBOK (2017), o “planeamento das respostas aos riscos é um processo de desenvolvimento de opções e ações para aumentar oportunidades e reduzir ameaças aos objetivos do projeto”. Ou seja, este processo tem a finalidade de elaborar um plano de ações para responder aos riscos identificados, promovendo a redução das ameaças e a maximização das oportunidades (PMI, 2017).

As respostas planeadas devem ser adequadas à relevância dos riscos e com maior probabilidade de ser eficaz. Para este processo o *PMBOK* (2017) propõe várias estratégias possíveis de resposta aos riscos (fig. 12).

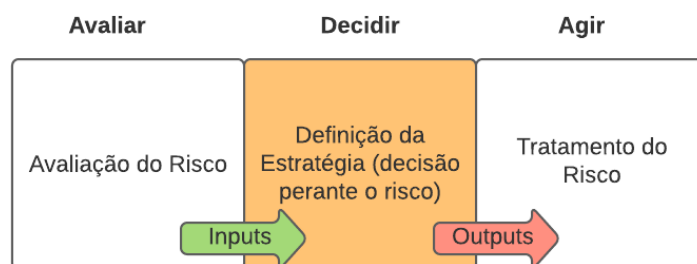


Figura 12 - Processo de tomada de decisão perante um risco (fonte: elaboração própria).

Após a escolha da estratégia a ser adotada, segue-se o desenvolvimento do plano de ação e posterior aplicação, caso o evento de risco ocorra. Segundo o *PMBOK* (2017) os eventos acionam a resposta de contingência, como marcos intermediários, devem ser acompanhados e definidos, de forma que as “respostas aos riscos identificados usando essas técnicas são designadas de planos de contingência. O plano adotado em caso de ameaças será: Prevenir, Mitigar, Transferir, Aceitar; enquanto, perante uma oportunidade o plano a seguir passa por Prevenir, Maximizar, Transferir, Aceitar (PMI, 2017).

Tendo em conta o contexto da presente dissertação, importa abordar o processo de gestão de risco do ponto de vista negativo, como possível ameaça aos objetivos do projeto.

A estratégia a adotar quando perante riscos negativos (PMI, 2017):

1. **Prevenir:** a prevenção tem início quando a equipa do projeto atua no sentido de eliminar a ameaça ou proteger o projeto do seu impacto. Pode envolver alterações a nível do planeamento do projeto ou alterar o objetivo em perigo para eliminar inteiramente a ameaça, reduzindo a sua probabilidade de ocorrência para zero. O responsável pelo risco pode agir de forma a isolar os objetivos do impacto do risco. Exemplos de ação de prevenção passam por remover a causa de uma ameaça, prorrogar o cronograma, mudar a estratégia do projeto ou reduzir o âmbito. Alguns riscos podem ser evitados com o esclarecimento dos requisitos, obtenção de informação, melhoria da comunicação ou aquisição de conhecimentos especializados.
2. **Mitigar:** a ação consiste em reduzir a probabilidade de ocorrência e/ou o impacto de uma ameaça. Quando antecipada a mitigação, esta é mais efetiva do que tentar reparar o dano depois da ameaça ocorrer. A adoção de processos menos complexos, a realização de mais testes ou a escolha de vendedores mais estáveis, podem ser exemplos de ações de mitigação. Outro exemplo de mitigação passa pelo desenvolvimento de um protótipo para reduzir o risco de implementação de um processo/produto. Quando não é possível reduzir a probabilidade, a resposta de mitigação pode reduzir o impacto pela concentração em fatores que determinam a sua severidade.
3. **Transferir:** a transferência do risco envolve a passagem da responsabilidade de uma ameaça a terceiros para gestão do risco e suporte do impacto, caso a ameaça ocorra, envolvendo um pagamento. A transferência pode ocorrer por uma série de ações como uso de seguros, bónus de desempenho, garantias, cauções, etc. Importa que a seleção de um novo responsável capacitado a capturar oportunidade, para benefício do projeto. Exemplo de ações partilhadas incluem estabelecer parcerias, equipas, empresas com um propósito específico ou joint-ventures para partilhar o risco.

4. **Aceitar:** a aceitação de um risco reconhece a existência de uma ameaça sem que nenhuma ação proativa seja tomada. Esta estratégia pode ser correta para ameaças de baixa prioridade e pode ser adotada quando não é possível, do ponto de vista económico, resolver a ameaça de qualquer forma. A aceitação pode ser ativa, quando é comum estabelecer uma reserva de contingência, incluindo valores para tempo, dinheiro ou recursos para cuidar da ameaça caso esta ocorra; ou passiva, quando não envolve ação proativa além da revisão periódica da ameaça para garantir que não haja mudança significativa. Esta estratégia é adotada quando não é possível, ou viável, abordar um risco específico de qualquer forma. Ou seja, indica que a equipa de projeto decidiu não alterar o planeamento da gestão de projeto para lidar com um risco, ou é incapaz de identificar qualquer outra estratégia de resposta adequada.

Fase 5: Tratamento do Risco

Na ISO 31000:2013 o tratamento do risco consiste no processo de modificação dos riscos e implementação de ações, quer para aumentar a probabilidade e o impacto dos riscos positivos e/ou ações para minimizar a probabilidade de riscos negativos. Mediante a estratégia definida, estas ações devem implicar colocar os riscos adversos a um nível tolerável.

Este processo será selecionado e documentado com o intuito de ser monitorizado e analisado criticamente e, quando apropriado, será feito um tratamento adicional. Os planos de ação para o tratamento podem ser:

- Evitar o risco ao se decidir não iniciar ou descontinuar a atividade que dá origem ao risco.
- Remoção da fonte de risco.
- Alteração da probabilidade e das consequências.
- Redução da probabilidade de ocorrer.

Fase 6: Monitorização e Controlo dos Riscos

A Monitorização garante que os controlos são eficientes e eficazes, de forma a detetar mudanças no contexto interno e externo, incluindo alterações nos critérios de riscos para aplicar ações de controlo.

Segundo o PMBOK (2017) o controlo de risco consiste no processo de acompanhamento dos riscos já identificados anteriormente, dos riscos residuais ou de novos riscos, para além de avaliar a eficácia do processo de gestão de riscos durante o projeto.

O controlo dos riscos envolve uma revisão e avaliação regular se um determinado risco ocorreu ou não, sendo este controlo executado durante o ciclo de vida do projeto, neste período todo o trabalho deve ser continuamente monitorizado.

Apesar do âmbito da ISO 31000:2013 ser semelhante ao do PMBOK, estas exibem conteúdos/nomenclaturas diferentes entre elas. Enquanto a ISO estabelece um processo de tratamento de risco não exclusivo a projetos, o guia PMBOK utiliza um processo especificamente aplicável em projetos. Por outro lado, a ISO é aplicável a análises qualitativas, semiquantitativa e quantitativa; enquanto o PMBOK somente é aplicável a análise qualitativa e quantitativa. Uma característica comum a estes dois modelos é a utilização da ferramenta de controlo e melhoria continua do processo de qualidade: Ciclo *Plan – Do – Check – Act* (PDCA).

2.5. Técnicas de Gestão do Risco

Através das referências literárias para o contexto desta dissertação sabe-se o conjunto de ferramentas existentes para o auxílio na avaliação do risco. Da pesquisa e análise a vários documentos de referência no contexto de 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. Tratando-se de uma norma genérica, aplicável a diversos contextos, as técnicas apresentadas são aplicáveis no âmbito da gestão de projetos. As 31 técnicas encontram-se listadas na tabela 4 (ISO 31010:2009).

Tabela 4 - Técnicas de Avaliação do Risco (fonte: (ISO 31010:2009)).

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-list</i>	20. <i>Human reliability analysis</i>
5. <i>Primary hazard analysis</i>	21. <i>Bowtie 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>

Das definições anteriormente apresentadas deduz-se que o risco existe porque há incerteza pois o processo de definição de estratégia envolve sempre algum grau de incerteza. Ainda que seja mais relevante a análise dos efeitos potenciais e não na possibilidade de ocorrência de determinado evento, os decisores recorrem às mais variadas ferramentas analíticas que ajudam a prever o futuro que se consiga delinear um caminho que permita atingir os objetivos que se pretende diminuir o nível de incerteza. No entanto, este processo obriga a que subestime a incerteza.

Estas ferramentas foram desenvolvidas de forma a contribuírem para a resolução estruturada dos mais variados problemas, permitindo a melhoria continua no desempenho das organizações, independentemente da sua dimensão e setor de atividade. Devem ser utilizadas diariamente, na identificação de oportunidades de negócio, na eliminação de atividades que não agregam valor e na redução da variabilidade dos processos.

Síntese do Capítulo

Independentemente do tamanho, área de atuação ou setor de negócios, é crucial para as organizações incorporar a gestão de risco no seio da sua cultura. Com a pressão de mercado e com uma concorrência cada vez mais aguerrida, as empresas são obrigadas a ser cada vez mais eficientes e a tomar decisões mais acertadas, pelo que a gestão de risco apresenta uma relevância crescente na tomada de decisão.

Face à forte concorrência de mercado, a empresa tem a necessidade de apresentarem produtos/serviços inovadores, diferenciados, aos quais o mercado lhe reconheça valor e, desta forma, aumente os lucros da empresa, quota de mercado e lhes traga vantagem competitiva.

No terceiro capítulo serão exploradas duas ferramentas de suporte ao processo de tomada de decisão:

- A *FMEA* consiste numa ferramenta que agrega a opinião de um conjunto de especialistas com experiência e conhecimento, embora seja caracterizada por alguma ambiguidade e subjetividade.
- A *Fuzzy Logic* é uma das ferramentas mais eficientes na descrição de informações incertas e imprecisas, características do raciocínio humano. Além disso, consiste numa aplicação matemática à incerteza que, por sua vez, está diretamente relacionada ao risco.

- De forma que os resultados obtidos sejam os mais parecidos com a realidade, à FMEA vai ser incluída a *Fuzzy Logic*. Ou seja, os dados recolhidos na FMEA serão utilizados como funções de pertença (*inputs*) e serão definidas regras de inferência que regem o funcionamento do modelo e, por consequente, os *outputs* do processo de *desfuzzificação*.
- O modelo será desenvolvido com recurso ao *Matlab* de forma que este seja flexível, representativo da realidade e facilmente adaptável a vários tipos de projetos dentro do setor automóvel.
- A utilização conjunta destas ferramentas permite a recolha de informação sobre a forma de variáveis linguísticas que facilitam o raciocínio humano e a recolha de informação
- As regras de inferência que regem o funcionamento do modelo a desenvolver são formuladas seguindo a lógica da Matriz Probabilidade Impacto (MPI), construída por base do raciocínio lógico e da opinião dos especialistas
- Os valores dos *outputs desfuzzificados* permitem a construção da Matriz de Ação Prioritária (MAP) bastante útil no processo de tomada de decisão e na etapa de Tratamentos dos Riscos. Ou seja, os eventos que apresentam maior Índice de Risco constituem como fortes ameaças para o projeto, colocando em risco a sua concretização e, posteriormente, a competitividade da organização e dos seus produtos.

3. FMEA E FUZZY LOGIC

3.1. FMEA

A gestão de riscos é parte fundamental na estratégia das organizações, na qual abordam os riscos associados aos processos com o objetivo de atingir os benefícios sustentáveis dentro das atividades que incorporam. O principal objetivo da GR é adicionar o máximo valor sustentável a todas as suas atividades, através do aumento da probabilidade de sucesso destas e da redução da probabilidade de falha e incerteza em relação ao cumprimento ou não dos objetivos. Uma das principais ferramentas utilizadas na gestão de risco é a Análise dos Modos de Falha e Efeitos.

O *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) é uma ferramenta de análise de risco indutivo, que permite avaliar, a partir de um determinado modo de falha, as respectivas causas e sequência de efeitos, assim como os meios de detecção e prevenção dos modos de falha e de mitigação dos seus efeitos (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005). Adicionando o C à sigla, FMECA diz-nos que a análise de modo de falha, é realizado numa análise de criticidade do mesmo. Este método permite caracterizar a importância no funcionamento do sistema, de cada um dos modos de falha, o impacto que estes têm sobre a sua fiabilidade e a dimensão das respectivas consequências (Benbow, Berger, Elshennawy, & Walker, 2002).

3.1.1. Enquadramento Histórico

O FMEA surgiu através de um procedimento militar US MILP-1629 designado de *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Critically Analysis*, desenvolvido pelo exército americano no ano de 1949. Esta ferramenta era usada na determinação dos efeitos das falhas de sistemas e equipamentos, sendo cada evento classificado segundo o seu impacto sobre o sucesso da missão (Santos, 2011).

A primeira aplicação do FMEA no meio industrial foi em 1963 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) pelos seus requisitos de confiabilidade, com o intuito de propor uma metodologia de projeto que atendesse às necessidades de segurança durante o programa APOLLO⁷ (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005).

Nos anos 70, a FMEA passa a ser usada na indústria e por agências aeroespaciais, culminando com a *Ford Motor Company* que fez uso generalizado desta técnica, internamente – avançando em várias áreas de projeto como manufatura -, quer externamente, através do fomento do seu uso por parte dos fornecedores (Pentti & Atte, 2002).

⁷ O programa APOLLO consiste num conjunto de missões sob a coordenação da NASA entre nos anos 60 e 70, com o intuito de o Homem viajar até à lua (Wikipédia, 2021)

Nos anos 80, *Chrysler Corporation* – pertencente ao grupo *Ford Motor Company* e da *General Motors Corporation* -, desenvolveu a norma QS 9000 que define que o sistema de qualidade exigido a fornecedores internos e externos (Hoyle, 2015).

3.1.2. Áreas de Aplicações

Nos dias de hoje, a FMEA está presente nos mais diversos setores industriais: automotiva, aeroespacial e eletrônica, pois pode ser usado em diferentes fases e aos mais variados níveis da empresa (fig.13), desde a fase inicial ao desenvolvimento do projeto para otimizar e melhorar as características do produto ou a concepção de produtos/sistemas inovadores antes da fase de produção ou, até mesmo, durante a fase de execução do projeto para reduzir falhas e otimizar resultados.

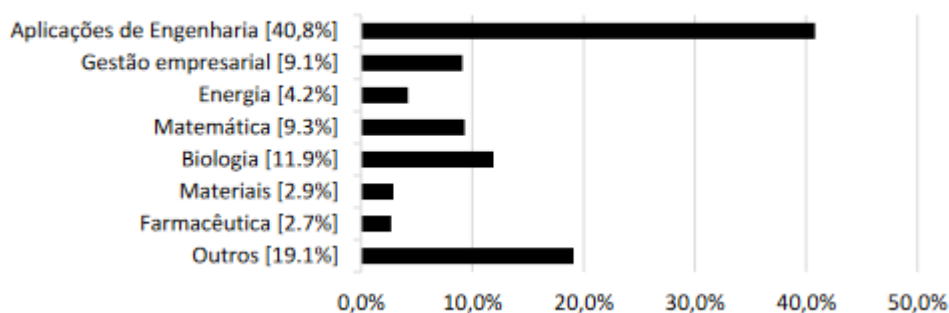


Figura 13 - Áreas de aplicação da FMEA (Fonte: (Antunes, 2020))

Uma causa potencial de falha consiste numa deficiência do sistema que irá provocar um modo de falha e, por essa razão, deve ser algo a ser corrigido ou controlado. É necessário identificar para cada modo de falha potencial a(s) suas(s) causa(s). Um modo potencial de falha é descrito pelo modo como se produz uma falha de um produto ou componente. Para cada função do produto é necessário identificar todos os modos de falha possíveis – que devem ser descritos em termos físicos ou técnicos e não como um sintoma perceptível pelo cliente. O efeito potencial de falha é definido como o efeito ou consequência no produto, ou componente da ocorrência do modo de falha (Júlio, 2016).

Consiste numa metodologia usada para identificar e analisar os modos de falha potenciais de um produto ou processo, muito usada em situações onde a quantificação do risco é insuficiente sendo fundamental a identificação das causas-raiz, bem como dois meios de mitigação. É uma técnica essencialmente preventiva que tem o objetivo de alinhar os riscos, tanto quanto possível. Por outro lado, trata-se de uma metodologia da engenharia que permite uma análise *bottom-up*

(de baixo para cima). Permite a determinação da causa raiz do risco e a seleção dos meios de detecção da ocorrência de uma falha específica e/ou encontrar soluções para a evitar ou atenuar os seus efeitos (fig.14) (Lipol & Haq, 2011).

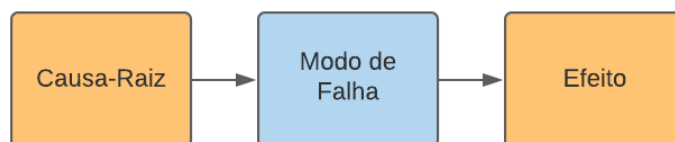


Figura 14 - Esquema simplista representativo da FMEA (Fonte: elaboração própria).

Daí a importância de o gestor de projetos ter uma resposta atempada, ativa e que atue prontamente assim que detetado erros. Na tabela 5 são apresentadas algumas razões, retiradas da Norma IEC 60812, para implementação da FMEA (UNE-EN IEC 60812, 2018).

Tabela 5 - Benefícios da implementação da FMEA (fonte: IEC 60812).

Argumentos	Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar as falhas e os seus efeitos indesejados que impeçam a qualidade e a segurança da operação do sistema; • Satisfazer os requisitos impostos em cadernos de encargos do cliente, conforme seja aplicável; • Melhoria global do sistema (alterações de projeto, reajuste do plano de produção, etc); • Permite melhorar a manutibilidade do sistema, independentemente da complexidade do mesmo; 	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar os efeitos indesejados dentro dos limites definidos do sistema segundo uma hierarquia funcional; • Determinar a criticidade a fim de dar prioridade a determinados eventos e desencadear ações de melhoria para mitigá-los; • Suporte de apoio ao planeamento de rotinas de manutenção a fim de reduzir quebras de produtividade; • Melhorar fatores de desempenho do sistema, visando a satisfação do cliente;

A FMEA trata-se de uma forma sistemática de catalogar informações sobre as falhas de produtos/processos; melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos; ações de melhoria no produto/processo, baseadas em dados (melhoria contínua); a empresa assume uma atitude de prevenção de falhas, cooperação e trabalho em equipa e preocupação com a satisfação dos clientes (Pereira & Requeijo, 2010).

3.1.3. Processo de Implementação da FMEA

A implementação da FMEA é realizada a partir de técnicas qualitativas (*Brainstorming*) e quantitativas (FMEA). A primeira fase do processo depende das capacidades individuais das equipas. Ou seja, a qualidade dos resultados está relacionada com a habilidade e competências dos membros das equipas de identificação das causas que levam à ocorrência dos efeitos (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005). A segunda fase é pautada pela determinação do RPN a fim de priorização das ações de correção necessárias (Pereira & Requeijo, 2010).

Tipicamente, as fases de desenvolvimento do método de análise são as seguintes:

1. Definição da equipa responsável pela execução
2. Recolha e análise da informação do processo ou produto para cada uma das partes
3. Identificação e listagem dos potenciais modos de falha
4. Identificação dos efeitos que levam aos modos de falha em análise
5. Determinação das causas dos modos de falha
6. Determinação da gravidade dos efeitos (pior consequência potencial): cálculo do Índice de “S”
7. Determinação da frequência de ocorrência dos modos de falha: cálculo do Índice de “O”
8. Determinação da probabilidade de deteção da falha: cálculo do Índice de “D”
9. Cálculo do RPN para cada efeito
10. Classificação das falhas de acordo com o RPN
11. Elaboração de um plano de ações corretivas para eliminar as causas da falha. As ações podem ser compensatórias – para minimizar a perda em caso de ocorrência de falha; ou preventiva – para evitar uma situação de falha
12. Desenvolvimento de recomendações para melhorar o desempenho do sistema
13. Preparação do Relatório FMEA assumindo a análise em formato matricial

Representando esquematicamente as fases acima mencionadas, é possível construir o fluxograma do processo (fig. 15):

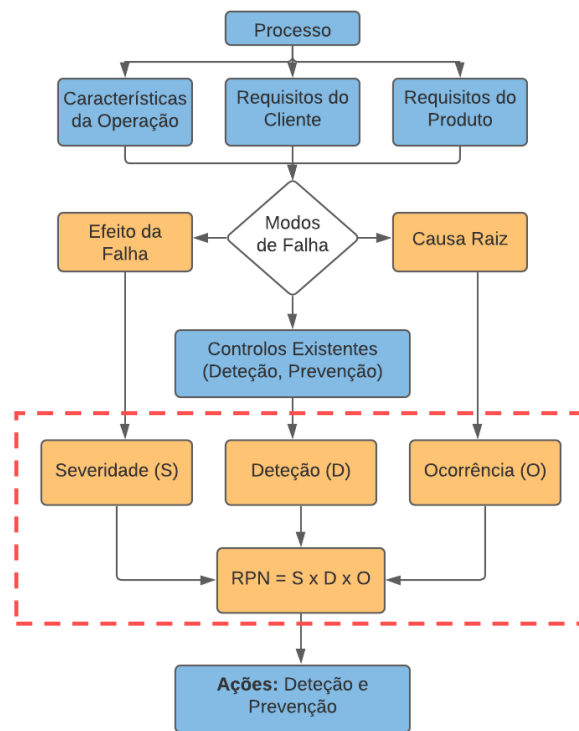


Figura 15 - Processo de implementação da FMEA (Fonte: elaboração própria).

3.1.4. Cálculo do Risk Priority Number

O principal objetivo da FMEA é reduzir o risco associado aos modos de falha potenciais e existentes, para que não apresentem consequências para o cliente. Este risco é avaliado através do Número de Prioridade de Riscos (RPN). O RPN consiste num indicador de avaliação da falha que permite hierarquizar prioridades de ação, identificar as características críticas do sistema, avaliar a eficácia das ações tomadas para mitigar as causas, reduzir a gravidade e melhorar a capacidade de detecção (Junior, 1996). Para calcular o RPN é usada a expressão 1, resultando no produto de três parâmetros que variam entre 1 e 10 cada um destes, segundo um conjunto de critérios estabelecidos (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005).

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

O conjunto de parâmetros utilizados para definir o RPN são:

- **Severidade (S):** gravidade dos efeitos de falha. Este é o indicador referente ao impacto do efeito que o modo de falha terá sob o cliente e na qualidade do produto, caso a falha ocorra. Para análise deste índice é utilizada a tabela 6.
- **Ocorrência (O):** frequência da ocorrência da falha. É utilizada para identificar a frequência com que uma falha ocorre para cada uma das causas. Na tabela 7 é possível encontrar a caracterização deste índice para cada um dos graus definidos.

- **Deteção (D):** probabilidade de falha não ser detetada. Representa a capacidade dos mecanismos de inspeção existentes em detetar os modos de falha e em remover os defeitos. Na tabela 8 é descrita para este índice a probabilidade do sistema em detetar a falha.

O valor de RPN varia num intervalo entre [1; 1000] – ou seja, quando menor for o RPN melhor, pois o risco é de menor impacto. Por outro lado, se o RPN estiver próximo de 1000, deve ter prioridade de ação de mitigação das causas. Na tabela 9 são apresentadas algumas conclusões face ao valor de RPN obtidos (Pereira & Requeijo, 2010).

Apresentando alguns aspetos com especial impacto na avaliação dos riscos tem-se a disponibilidade da informação e a experiência de utilização do próprio elemento. Aplicando ao tema do presente trabalho, para sistemas recentes é exigido um maior detalhe e uma maior pormenorização dos dados para aumentar a fiabilidade.

Na perspetiva técnico e económica, avaliando todos os fatores de interesse para o processo de tomada de decisão, o aumento de custos ou alterações no cronograma podem suscitar o atraso/adiamento na entrega do produto final ou fases intermediárias.

3.1.5. Determinação da Severidade (S)

Define-se Severidade como a avaliação do impacto do efeito do modo de falha sobre o funcionamento do dispositivo que está a ser analisado. A classificação dos efeitos de gravidade tem em atenção inúmeros fatores como os efeitos sobre os utilizadores e meio envolvente, desempenho funcional do sistema ou do processo, cumprimento das exigências contratuais impostas pelo cliente e requisitos regulamentares ou de garantia (Stamatis, 1995).

A escala utilizada varia de 1 a 10 sendo que 1 corresponde a uma gravidade nula ou impercetível e 10 a pior possibilidade ao nível de consequências, podendo a segurança do utilizador estar em risco.

Na indústria automóvel, as falhas são avaliadas em termos do seu efeito no desempenho do sistema e, ainda, na satisfação do cliente, fator mais subjetivo (Stamatis, 1995). Para *Stamatis* (1995) a classificação da gravidade do efeito do modo falha é feita do seguinte modo:

Tabela 6 - Critérios de classificação para o Índice de Severidade (S) (Fonte: (Stamatis, 1995))

Índice	Critério	Gravidade
1	Nenhum efeito.	Nenhuma
2	Efeito muito pequeno no desempenho do sistema. A falha não foi percebida pelo cliente	Muito pequena

3	Efeito leve podendo causar algumas desconformidades nos requisitos de desempenho do sistema e afetar a qualidade do serviço. A falha foi percebida rapidamente pelo cliente	Pequena
4	Efeito pequeno podendo causar algumas desconformidades nos requisitos de desempenho do sistema e afetar a qualidade do serviço. A falha causou uma pequena perturbação no cliente.	Baixa
5	Efeito moderado podendo causar redução no desempenho do sistema. A falha causou alguma perturbação no cliente.	Moderada
6	O sistema causou falha parcial, o desempenho do sistema foi reduzido, gerando prejuízos para o sistema e afetando a qualidade do serviço. A falha causou perturbação no cliente.	Alta
7	Efeito grave afetando o desempenho do sistema e comprometendo a qualidade do serviço. O sistema foi danificado, reduzindo a sua usabilidade. A falha deixa o cliente insatisfeito com a qualidade do serviço e houve impacto na imagem da empresa.	Muito Alta
8	Efeito no qual a causa torna o sistema inoperável, porém seguro. Resulta em prejuízo para o sistema, ambiente e qualidade do serviço. A falha deixou o cliente muito insatisfeito e houve impacto na imagem da empresa.	Grave
9	Efeito de risco potencial capaz de parar o sistema sem causar acidente – falha dependente do tempo. A conformidade com o regulamento governamental está em risco.	Crítica
10	Efeito perigoso. Falha repentina – segurança comprometida. Não está em conformidade com o regulamento governamental.	Perigosa

3.1.6. Determinação da Ocorrência (O)

Esta variável é relativa à frequência ou probabilidade de cada modo de falha. A probabilidade associada ao(s) modo(s) de falha(s) é calculada pelas informações publicadas sobre as taxas de falhas, dados obtidos durante a vida do componente, base de dados, falhas ocorridas durante o período de teste/funcionamento do sistema ou falhas registradas em equipamentos de igual género (Stamatis, 1995).

Determinada a probabilidade de ocorrência, o FMEA deve indicar em que período temporal se localiza essa estimativa.

Podem ser tomadas ações de controle para detetar ou prevenir a ocorrência de um modo de falha, de forma a assegurar a concretização do projeto segundo os objetivos delineados. Genericamente, são consideradas três tipos de ações de controle (Stamatis, 1995):

1. Prevenção da ocorrência da causa ou modo/efeito de falha ou redução da taxa de ocorrência destes
2. Detecção da causa/mecanismo e implementação de ação corretiva
3. Detecção do modo de falha

Assim que detetada um potencial falha o primeiro passo a adotar está descrito no ponto 1 – devendo respeitar a ordem acima -, pois este pode baixar os índices de ocorrência e não ser necessário a adoção das ações 2 e 3.

Tabela 7 - Critérios de classificação para o Índice da Ocorrência (O). (Fonte: (Stamatis, 1995)).

Índice	Taxa de Falha	Critério (Ocorrência de Causa)	Ocorrência
1	<0.00058	Falha impossível de ocorrer. Histórico não apresenta falhas.	Quase Impossível
2	0.0068	Número raro de falhas.	Remota
3	0.0063	Muito poucas falhas.	Muito Pequena
4	0.46	Poucas falhas.	Pequena
5	2.7	Número ocasional de falhas.	Baixa
6	12.4	Número médio de falhas.	Média
7	46	Número moderadamente alto de falhas.	Moderadamente Alta
8	134	Número alto de falhas.	Alta
9	316	Número muito alto de falhas.	Muito Alta
10	>316	A falha é certa. Há histórico de falhas anteriores ou similares no sistema.	Quase Certa

Tal como explicito anteriormente, caso detetadas irregularidades no projeto o passo adotar é o discriminado no ponto 1. Até, porque, os pontos 2 e 3 servem de base ao índice de deteção caso o processo/projeto seja representativo do objetivo (Stamatis, 1995).

O principal benefício passa pela diminuição dos custos. Ou seja, por meio da prevenção da ocorrência de falhas é possível o reconhecimento atempado dos modos de falha no processo, implicando custos inferiores – ação antes de ocorrência -, menores custos de garantias,

contribuindo para a solidificação das propriedades do produto, crescimento de vendas e, conseqüentemente, à satisfação do cliente (Dunkle, 2005).

3.1.7. Determinação da Detetabilidade (D)

O terceiro critério é a medida do procedimento de controlo em não detetar a causa da falha ou o modo de falha, antes de chegar ao cliente. A probabilidade de defeito individual chegar ao cliente, na indústria automóvel, varia de 1 a 10, de probabilidade muito remota a probabilidade muito alta, respetivamente (Dunkle, 2005).

Este número encontra-se classificado numa ordem inversa aos dos restantes critérios, ou seja, quanto mais elevado é o valor de deteção, menor a probabilidade de deteção. O Manual de Referência FMEA destaca que o baixo índice de deteção não significa forçosamente um baixo índice de ocorrência, pelo que deve ser aplicada a capacidade dos controlos atuais do projeto em detetar a baixa frequência dos modos de falha. Por outro lado, as amostragens estatísticas são válidas como controlo de deteção ao invés das verificações aleatórias de qualidade do projeto, que não são eficazes na deteção de um efeito isolado e não devem exercer influência sobre este índice (Dunkle, 2005).

Tabela 8 - Critérios de classificação para o Índice de Detetabilidade (D). (Fonte: (Stamatis, 1995))

Índice	Probabilidade de Deteção	Critérios (Probabilidade de Deteção)
1	Quase Certa	Possui eficácia elevada para descobrir o modo de falha e respetiva causa.
2	Muito Alta	Possui uma eficácia muito alta para descobrir o modo de falha e respetiva causa.
3	Alta	Possui alta eficácia para descobrir o modo de falha e respetiva causa.
4	Moderadamente Alta	Possui uma eficácia moderadamente alta para descobrir o modo de falha e respetiva causa.
5	Média	Possui uma eficácia média para descobrir o modo de falha e a respetiva causa.
6	Baixa	Possui uma eficácia baixa para descobrir o modo de falha e respetiva causa.
7	Pequena	Possui uma eficácia pequena para descobrir o modo de falha e a respetiva causa.
8	Muito Pequena	Possui uma eficácia muito pequena para descobrir o modo de falha e a respetiva causa.
9	Remota	A eficácia é desconhecida, ou não foi comprovada, ou não é confiável.
10	Quase Impossível	Nenhuma técnica de controlo disponível ou conhecida para descobrir o modo de falha e a causa.

Através da classificação dos modos de falha pelo RPN devem ser propostas ações corretivas para os itens críticos e com altos índices de RPN. O objetivo das ações recomendadas

é reduzir o índice de Ocorrência, de Severidade e de Detecção. Deve ser promovida a implementação de ações corretivas, específicas, com resultados quantificáveis necessárias ao sucesso do projeto. Uma FMEA quando bem executada e desenvolvida não tem valor caso as ações corretivas não tenham sido instauradas (Dunkle, 2005).

Obtidos os valores numéricos de RPN importa classificar o tipo de ação a adotar:

Tabela 9 - Classificação da ação consoante o valor de RPN obtido (fonte: (Stamatis, 1995)).

Índice	Valor de RPN	Ação
1-3	Pequeno	Nenhuma ação é tomada
4-6	Moderado	Alguma ação pode ser tomada no local
7-8	Elevado	Uma ação definida deverá ser tomada (validação seletiva e avaliação podem ser requeridas)
9-10	Crítico	As ações definidas serão tomadas e as mudanças extensivas são requeridas no sistema/serviço.

Uma proposta de redução da probabilidade de ocorrência passa por revisões periódicas ao projeto, através de estudos estatísticos para a obtenção de informação mais detalhada, permitindo a atuação atempada na prevenção de defeitos e em prol da melhoria contínua do projeto. O único método de redução da severidade é através de alterações no projeto. Para aumentar a probabilidade de deteção devem ser implementadas revisões no processo e/ou projeto (Dunkle, 2005).

A FMEA deve ser atualizada sempre que ocorrerem alterações ao projeto, mesmo que já tenha sido iniciado a produção, em busca de melhoria contínua ao produto final (Dunkle, 2005).

Os treze passos de aplicação da FMEA (fig. 16) são preenchidos por especialistas através de um formulário (Anexo I). Este documento permite identificar, controlar e eliminar as falhas do produto/processo.

Etapa do processo	Entrada	Modos de Falha	Efeito	S	Causa	O	Detecção	D	RPN	Ações recomendadas
Fazer o bolo	Forno	Queima do bolo	Diminuição da qualidade do produto final	8	Falha no ajuste da temperatura do forno	5	Cheiro de queimado	5	200	Elaboração de um checklist de verificação dos componentes antes de ligar o forno para assar o bolo

Figura 16 - Matriz FMEA (fonte: (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005)).

A implantação da FMEA numa organização permite catalogar a informação sobre as falhas dos produtos/processo e servir de base em eventos futuros, melhorar o conhecimento dos problemas, ações de melhorias no produto/processo baseados em dados (melhoria contínua), além de incorporar na organização uma atitude de cooperação e trabalho em equipa em prol de um objetivo comum. Garantindo a entrega de um produto que cumpra os objetivos delineados, respeitando o cronograma definido inicialmente e a antecipação da capacidade de reconhecer os modos de falhas, exista uma menor implicação de custos na resolução de problemas, menor custo de garantia e crescimento das vendas devido à satisfação do cliente (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005).

Por último, é uma das ferramentas integradas na filosofia de Gestão *Lean*, diminuindo os desperdícios e operações que não adicionam valor. Uma maior competitividade, é conseguida através da boa imagem da empresa (Dunkle, 2005).

Por outro lado, esta não é a solução dos problemas. Esta ferramenta apresenta algumas desvantagens de deficiências por se tratar de um método empírico, baseado em cálculo de relação de três critérios avaliados pelo Homem – avaliação subjetiva -, depende da qualidade e experiência da equipa, implica o conhecimento aprofundado da temática, promove o debate entre os vários envolvidos no projeto, levando à demora do processo de avaliação. A incorreta interpretação dos dados leva à tomada de decisões erróneas, aumenta o risco de perda no projeto.

A somar a estes fatores, no produto RPN com diferentes características é possível a obtenção do mesmo resultado, ou seja, é dada a mesma importância aos três fatores. Porém, as consequências destes riscos ocultos podem ser dispare. Assumindo o valor 2,3,3 e 4,1,3 para S,O,D, respetivamente, apesar do RPN ser idêntico as consequências do segundo caso são mais negativas face ao primeiro (Kumar, Sharma, & Kumar, 2005).

A determinação dos três fatores pode não ser representativa da realidade porque muita interpretação é expressa no formato linguístico, além de que os três fatores são expressos em termos de segurança desprezando o parecer económico. Daí a necessidade de utilização de uma ferramenta complementar (Dunkle, 2005).

3.2. FUZZY LOGIC

A Lógica difusa e o raciocínio baseado em regras encontraram várias aplicações e implementações de sucesso no controlo de processos industriais, modelagem de sistemas complexos e no desenvolvimento de Sistema de Inferência *Fuzzy* (Lin & Chen, 2001). A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* é uma metodologia que permite modelar e analisar sistemas de decisão que qualitativamente e quantitativamente são vagos (Kahraman, 2006).

Devido à complexidade da informação armazenada em sistemas computacionais e a incerteza e imprecisão a esta associada, torna-se necessária a aplicação da Lógica Difusa e o raciocínio baseado em regras para controlar com sucesso processos industriais, modelagem de sistemas complexos – como sistemas de decisão -, e no desenvolvimento de Sistemas de Inferência *Fuzzy* (SIF).

3.2.1. Enquadramento Histórico

Os conjuntos *fuzzy* foram desenvolvidos em 1920 pelo filósofo *Jan Lukasiewicz* quando este desenvolveu um sistema onde era possível caracterizar uma afirmação não somente como certa ou errada podendo ser parcialmente certa ou errada. Em 1965, *Lotfi A. Zadeh*, professor do Departamento de Engenharia Elétrica e Ciência da Computação da Universidade da Califórnia, apresentou a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Zadeh conclui ser possível modelar sistemas com fronteiras mal definidas, segundo as abordagens matemáticas rígidas e precisas dos métodos clássicos (Tah & Carr, 2000).

Apesar de inicialmente se ter registado alguma rigidez na aceitação desta teoria, no Japão, e, 1972, surge as primeiras pesquisas em sistemas *fuzzy* coordenadas pelo professor Tochihiro Terano. Dois anos passados, E. Mamdani apresenta o primeiro controlador *fuzzy*, culminando num passo importante para o desenvolvimento de sistemas *fuzzy* (Zadeh L. A., 2002). Até à data, e após inúmeros insucessos, o professor *Mamdani* conseguiu aplicar o raciocínio *fuzzy*, ao controlar uma máquina a vapor (Melo D. C., 2009). A primeira aplicação industrial ocorreu em 1976, desenvolvida pela *Circle Cement* e SIRA, na Dinamarca, que consistia num controlador que incorporava o conhecimento e a experiência de fábrica dos operadores para controlar os fornos da unidade industrial. Porém, a metodologia atinge o auge com o lançamento da primeira máquina de lavar a roupa pela *Matsushita Electric Industrial Co.* em 1990 (Rodriguez Martins, 2001).

Nos dias de hoje, a *fuzzy logic* está presente em empresas como a *Siemens*, *Klockner.Moller*, *SGS-Thomson*, *Motorola* e *Hewlett-Packard*. Se inicialmente esta lógica era usada em indústrias no Japão, hoje em dia está presente num vasto leque de indústrias – Engenharia, Medicina,

Administração, como taxonomia, topologia, línguas, robótica, reconhecimento de padrões, apoio à decisão, recuperação de informação, planeamento, otimização.

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

3.2.2. Conceito – Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (TCF) consiste numa extensão da Teoria de Conjunto Clássica (*Crisp Set Theory*). Na Teoria Clássica se é verdade que um dado elemento pertence a um dado conjunto o valor lógico de verdade é 1, enquanto se for falso que um dado elemento pertença a um conjunto o valor lógico é 0 (eq. 2). Na TCF a pertença ou não de um elemento a um conjunto é indicada em vários graus intermédios compreendidos entre absolutamente verdadeiros e completamente falsos – sendo estas classificações extremas possíveis (Rodriguez Martins, 2001).

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \notin A \\ 0, & x \in A \end{cases} \quad (2)$$

A função $X_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$ é designada de função característica na Teoria Clássica dos conjuntos.

Na Teoria de Conjuntos *Fuzzy* um elemento pode pertencer parcialmente a vários conjuntos *fuzzy* dependendo do grau de pertença (fig. 17) (Melo D. C., 2009).

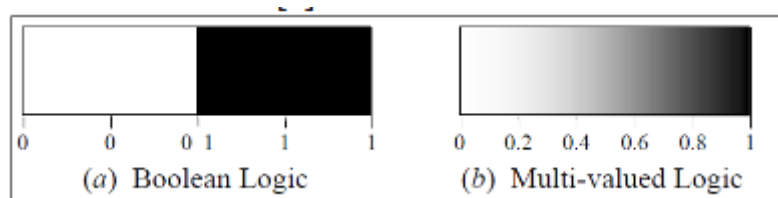


Figura 17 - Representação da Lógica Booleana e da Lógica Multi-Valor (fonte: (Abul-Haggag & Barakat, 2013)).

A teoria *Fuzzy* baseia-se no princípio que o pensamento humano é estruturado não em números mas em classes de objetos cuja transição entre pertencer ou não a um conjunto é gradual (fig. 18). Desta forma, enquanto as fronteiras dos conjuntos clássicos sejam bem definidas, o mesmo não ocorre nos conjuntos *fuzzy* na qual se tenta aproximar das imprecisões do raciocínio humano. Por exemplo, no sistema de controlo de temperatura de água não existe apenas duas condições – água fria (0) ou quente (1), mas também o intervalo de valores entre estes dois extremos (Abul-Haggag & Barakat, 2013).

Existem três características que definem a teoria *fuzzy*. A primeira diz respeito ao uso de variáveis no lugar ou em adição a variáveis numéricas. A segunda resulta na caracterização das relações simples entre variáveis por expressões condicionais. E, por último, na caracterização das relações complexas por algoritmos *fuzzy* (Melo D. C., 2009).



Figura 18 - Representação gráfica: diferença entre Lógica booleana e Lógica difusa. (Fonte: (Abul-Haggag & Barakat, 2013))

3.2.3. Fuzzy Logic – Definição

Em geral palavras são menos precisas que os números. As variáveis linguísticas representam as características dos fenômenos complexos de um modo aproximado. Designa-se de variáveis linguísticas às variáveis que “funcionam como identificadores e que podem assumir um de entre vários valores”, num conjunto de termos linguísticos (Zadeh L. A., 2002).

A *Fuzzy Logic* permite imitar o processo de raciocínio humano e tomar decisões com base em dados vagos ou imprecisos. Para Zadeh a Lógica *Fuzzy* é idêntica à Computação com palavras. Cada termo linguístico pode ser expresso por um conjunto *fuzzy*, pois os termos linguísticos podem representar melhor o conhecimento, a experiência e o ponto de vista subjetivo de quem toma a decisão, de maneira mais intuitiva e em formato de linguagem natural (Assadi & Haji, 2009).

Atualmente, a lógica difusa integra uma área de conhecimento bastante consolidada, tratando-se de um conjunto de métodos e operações *fuzzy* de modelação de sistemas de forma realista e flexível, capaz de capturar, em modelos matemáticos, conceitos intuitivos (Oliveira H. A., 1999). Contrariamente aos sistemas lógicos convencionais, a Lógica difusa tem o objetivo de modelar o raciocínio impreciso – característico dos seres humanos -, essencial no processo de tomada de decisão de uma forma racional face ao ambiente de incerteza e imprecisão (fig. 19) (Haji & Assadi, 2009).

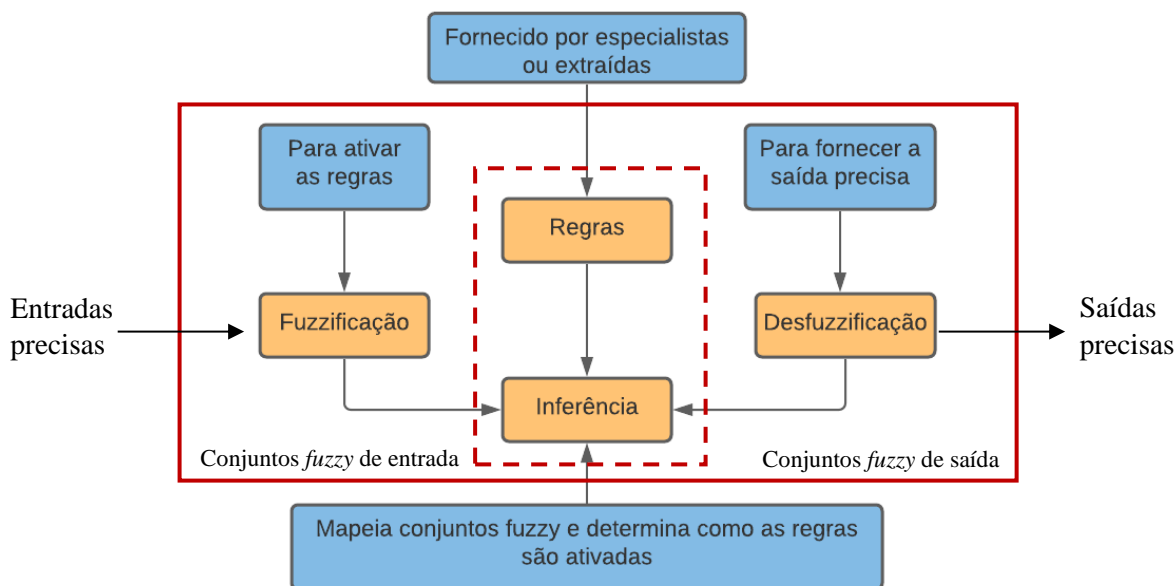


Figura 19 - Representação esquemática de um Sistema de Inferência Fuzzy (FIS)
(Fonte: elaboração própria).

A Lógica Difusa é uma teoria matemática, também designada como nebulosidade que tem em conta a incerteza.

No artigo *Fuzzy Sets Theory and its Applications*, o Professor Zimmermann afirma que a *Fuzzy Logic* pode ser empregada na solução de problemas reais, principalmente no domínio da análise de decisões (Zimmermann, 1996). A extensão da lógica tradicional para a lógica *fuzzy* foi efetuada através da simples substituição das funções características da primeira em funções de pertinência *fuzzy*. Assim, quando afirmamos que x é A então y é B tem uma função de pertinência que mede o grau de verdade da relação de implicação entre x e y (Nunes I. L., 2003).

A inferência *fuzzy* possui um algoritmo que pode ser desdobrado nas seguintes fases (Kumru & Kumru, 2013):

1. Definição das variáveis linguísticas e os termos (parametrização)
2. Construir as funções de pertença (parametrização)
3. Contruir a base de regras (parametrização)
4. Converter os dados de entrada *crisp*⁸ em valores *fuzzy* usando as funções de pertença (*fuzzificação*)
5. Construir a base de regras (inferência)
6. Combinar os resultados de cada regra (agregação)
7. Converter os dados de saída em valores inteiros (*desfuzzificação*)

⁸ *Crisp* – um número real, par de números reais ou n-upla de número reais (Wikipédia, 2021).

3.2.4. Variáveis Linguísticas

Às variáveis de entrada e saída denominam-se de variáveis linguísticas uma vez que os seus valores são palavras ou frases em linguagem corrente que expressam conceitos vagos. Em muitas áreas são a forma mais importante e muitas vezes única de quantificar dados ou informações. Um exemplo do quotidiano é a temperatura da água do duche, definida como quente, fria ou morna - ao invés de dizer a temperatura a que se encontra a água. Isto porque o valor das variáveis no discurso humano é expresso por palavras ao invés de números. As variáveis tomam termos linguísticos como, por exemplo, baixa, média e alta; podendo ter a si associadas conectores como muito, pouco e extremamente (Melo D. C., 2009).

Geralmente, as palavras apresentam uma precisão inferior aos números. Os conceitos de variável linguística propõem-se a fornecer os meios adequados para a caracterização aproximada de fenómenos complexos ou mal definidos. Estas variáveis poder ter modificadores que alteram o seu valor, como “muito”, “pouco”, “não muito”, “mais ou menos” convertendo a variável altura em “não muito alto” e “não muito baixo”. Se tiverem conectivos aplicados a estas variáveis “e” e “ou”, estes conectores dizem respeito a operações de reunião e intersecção de conjuntos, podendo um valor ser “não muito alto” e “não muito baixo”.

As variáveis linguísticas aplicadas a sistemas difusos são usadas em regras difusas. Estas regras deduzem informações sobre uma variável contida na sua conclusão, através de informação proveniente de outra variável contida na sua premissa. Os termos para a variável linguística temperatura.

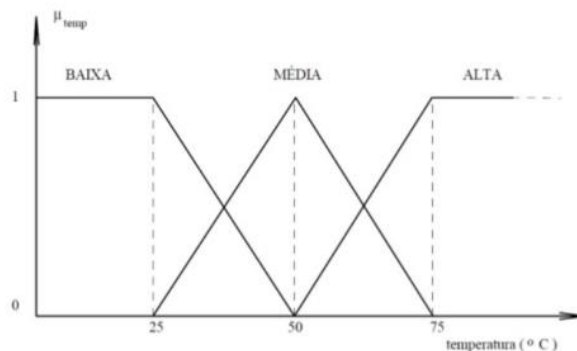


Figura 20 - Representação gráfica de três funções de pertinência para a variável temperatura (fonte: (Ross T. J., 2009)).

$$\text{Temperatura} = \{\text{baixa, média, alta}\} \quad (2)$$

3.2.5. Conjuntos Difusos e Funções de Pertença

O conjunto que contem todos os elementos possíveis é chamado de universo do discurso e define-se por U . Um conjunto *fuzzy* A , definido em U , caracterizado por uma função de pertença que associa a cada elemento x de U (eq. 3), um número real no intervalo compreendido entre zero e um.

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \} \quad (3)$$

Cada função de pertença define um conjunto *fuzzy*, A , do conjunto universal, U , através da atribuição de um grau de pertença entre 0 e 1, para cada elemento x de U . O grau como o qual x pertence a A é definido pela equação 4.

$$\mu_A(x): U \rightarrow [0, 1], \text{ em que } x \in U \quad (4)$$

Assim, o grau de pertença deve ser definido pelo nível de compatibilidade de um elemento pertencente ao conjunto com o conceito do conjunto, permitindo uma transição gradual entre verdade e falso (eq. 5) (Zadeh L. , 1996).

$$\mu_A(x): x \rightarrow [0, 1], \begin{cases} \mu_A(x) = 0 \\ 0 < \mu_A(x) < 1 \\ \mu_A(x) = 1 \end{cases} \quad (5)$$

As funções de pertença são importantes na *fuzzificação* e *defuzzificação* do sistema de modo a transformar os valores de entrada *crisp* em termos linguísticos e os termos linguísticos em valores de saída.

Existe uma grande variedade de funções de pertença, divididas entre lineares, gaussianas, sigmoide ou polinomial. As mais utilizadas são as funções de pertença lineares do tipo triangular devido à sua simplicidade e necessidade de pouca informação (Paixão, 2010).

Para o estudo deste presente trabalho, serão consideradas funções triangulares devido à sua simplicidade e por serem as que melhor se ajustam e representam o contexto de aplicação e a variação do caso de estudo.

A teoria dos conjuntos difusos visa substituir a teoria da lógica binária – verdadeiro/falso – dos conjuntos clássicos, também designada por álgebra de *Boole*, por uma lógica em que o grau de verdade de uma afirmação pode assumir um valor entre 0 e 1, valores estes que definem o quanto algo é verdadeiro ou falso em relação a um conjunto (Ross T. J., 2009).

A criação de um conjunto difuso é uma tarefa subjetiva, pois basta que seja definida a função de pertença sobre o universo do discurso. A função de pertença deve satisfazer os itens de

forma a ser uma função admissível, ou seja, deve representar o comportamento dos elementos, ser consistente com as especificações dos conjuntos e organizar os elementos com graus de pertença no intervalo entre [0, 1].

Um conceito fundamental, útil na compreensão dos conjuntos difusos, é a definição de função de pertença. Na representação de um conjunto difuso é necessário definir as funções de pertença a si associadas, sendo o conjunto difuso caracterizado pelas funções de pertença que mapeiam os elementos no intervalo compreendido entre zero e um, ficando cada elemento com um valor que lhe confere um grau de pertença ao respetivo conjunto.

Definidos os conjuntos difusos e as respetiva funções de pertença fica concluído o processo de *fuzzificação*.

3.2.6. Regras de Inferência

Num Sistema de Inferência *Fuzzy* as regras são definidas por especialistas e constituem um aspeto crucial no desempenho do sistema. Um controlador *fuzzy* para que tenha um bom desempenho depende das consistências das regras que definem a estratégia de controlo.

As regras são representadas sob a forma *IF-THEN* e modelam a relação entre variáveis de entrada (*input*) e variáveis de saída (*output*), com uma relação matemática apropriada. As regras contem um conhecimento geral para o domínio do problema, ou seja, conectam antecedentes com consequências, premissas com conclusões, ou condições com ações. Os componentes básicos são a parte *IF* (antecedente) e a parte *THEN* (consequente).

$$IF \ x \ \acute{e} \ A \ THEN \ y \ \acute{e} \ B$$

O antecedente pode ser composto por uma única condição ou por um conjunto de condições combinadas por um operador de conjunção. Os operadores *fuzzy* permitem combinar os conjuntos *fuzzy* de diferentes modos para obter o que melhor se adequa numa determinada aplicação. Tal como verificada na Teoria de Conjuntos Clássica, também na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* “E” expressa a intersecção e “OU” a união (Nunes I. , 2016).

$$R1: \ SE \ x \ \acute{e} \ A_1 \ E \ A_2 \ E \ \dots \ ENT\tilde{A}O \ y \ \acute{e} \ B$$

$$\mu_{A_1} \cap \mu_{A_2} \cap \dots (x) = \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots), \text{ se interceção} \quad (6)$$

e

$$R1: \ SE \ x \ \acute{e} \ A_1 \ OU \ A_2 \ OU \ \dots \ ENT\tilde{A}O \ y \ \acute{e} \ B$$

$$\mu_{A_1} \cup \mu_{A_2} \cup \dots (x) = \max(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots), \text{ se uni\~{a}o} \quad (7)$$

As variáveis de entrada são expressas por A1 e A2, enquanto as variáveis de saída são expressas por B. As regras de inferência são resultado do conhecimento especializado sobre a temática e tentam reproduzir computacionalmente o raciocínio humano. Por essa razão, são denominadas por “calcanhar de Aquiles” dos sistemas *fuzzy*, pela dependência que o sucesso de projeto tem sobre estas – regras bem definidas resultam em sistemas inteligentes, regras com algumas deficiências resultam em sistemas menos inteligentes (Sivanandam, Sumathi, & Deepa, 2007).

Extraír regras de especialistas do tipo IF – THEN pode não ser uma tarefa fácil por mais conhecedores que estes sejam do problema. Alternativamente ao uso de especialistas para a definição da base de regras tem-se métodos de extração de regras de dados numéricos, bastante uteis em problemas de classificação e previsão de séries temporais. Posto isto, a inferência baseada em regras difusas pode ser compreendida como um elemento funcional que mapeia um conjunto de entradas de um sistema num conjunto de saídas (Zimmermann, 1996).

A diferença dos antecedentes de uma teoria *fuzzy* para uma teoria clássica está na condição flexível descrita pelos primeiros. Isto é, uma condição pode ser parcialmente satisfeita enquanto os últimos descrevem uma condição rígida (a regra não funciona caso os antecedentes não sejam completamente satisfeitos) (Nunes I. , 2016).

No estágio de inferência ocorrem operações com os conjuntos *fuzzy* como: combinação dos antecedentes das regras, implicação e *modus ponens*⁹ generalizado.

Após a construção das regras difusas a utilizar na “máquina de inferência” é obtida a resposta final. Existem vários métodos de inferência possíveis, cuja escolha depende do sistema que está a ser analisado.

Em suma, o desempenho de um sistema de inferência *fuzzy* depende da escolha de uma base de regras adequadas e do número e forma dos conjuntos atribuídos para cada variável.

As regras são processadas em paralelo, todas as regras são consideradas ao mesmo tempo e no final obtemos uma resposta que pode ser um valor numérico ou um conjunto difuso, a depender do tipo de consequente utilizado. Por vezes é necessário que a saída do sistema seja um valor numérico, o que é muito comum em controladores difusos, pois o sistema precisa de ser realimentado. Caso a saída do sistema seja um conjunto difuso faz-se o processo de colapsagem para se obter um número apropriado (Nunes I. , 2016).

⁹ *modus ponens* – definindo o limite

3.2.7. Sistemas de Inferência Difusa (SID)

A lógica por detrás de um SID é incorporar a experiência do operador humano no projeto do controlador: a (i) interface de *fuzzificação*; (ii) base de conhecimento; (iii) mecanismos de inferência composto de funções de implicação difusa; (iv) interface de *defuzzificação* (Araujo, 2009)

Verifica-se a existência de um mecanismo de mapeamento não linear dependente da base de regra (base de conhecimento), da estratégia empregada na inferência, estratégia de codificação (*fuzzificação*) e estratégia de decodificação (*defuzzificação*) (Araujo, 2009).

Sistemas difusos “apresentam uma interpolação entre as saídas discretas que através da sobreposição de regiões determinadas pelas funções de pertinência”, contribuindo para uma operação do sistema previsível e bem comportada e tornam a abordagem dos sistemas difusos robustos. Devido á sobreposição das funções de pertinência cada regra é influenciada pelas regras vizinhas e, conseqüentemente, cada ponto no espaço de estados é aproximado por um subconjunto de regras difusas.

A conceção de um modelo de lógica difusa pode ser encarada como um processo, em que existe uma entrada (*inputs*) para um espaço de saída (*outputs*). Os domínios de entrada e saída constituirão conjuntos difusos, caracterizados por funções de pertença (Araujo, 2009).

Resumindo, o algoritmo por detrás deste processo deve contempla 5 etapas essenciais, sendo estas:

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

Para ser perceptível a lógica associada à avaliação do risco, o esquema da figura 21 permite compreender o processo até à obtenção do resultado da avaliação de risco num projeto por parte de uma organização.

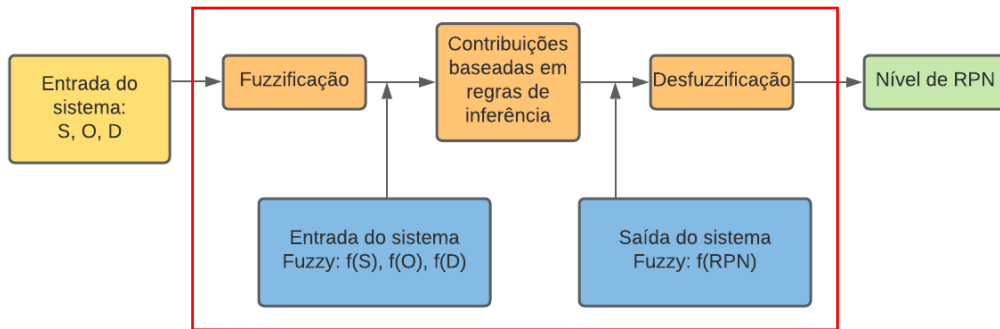


Figura 21 - Representação esquemática do Processo de Inferência Fuzzy. (fonte: elaboração própria)

Ao longo destas etapas são feitas operações de *fuzzificação*, em que são mapeadas variáveis numéricas de entrada em funções de pertinência difusa associadas aos elementos originais das variáveis de entrada, características dos conjuntos difusos de entrada. Esta etapa consiste na análise do problema, na definição de variáveis e na definição de funções de pertinência. Nesta etapa existe a necessidade do contributo de especialistas na matéria (Ross, Achari, & Fons, 2004).

O primeiro módulo de codificação – *fuzzificação* – é referente ao processo de conversão de informações precisas em termos linguísticos representados por conjuntos difusos. O segundo módulo representa o mecanismo de inferência, agregado à base de regras do tipo IF-THEN que expressam a relação difusa entre premissas e conclusões (Ross, Achari, & Fons, 2004).

As operações opostas, a *desfuzzificação*, podem ser usadas para mapear funções de pertinência difusas de saída, em variáveis de saída que poderão ser utilizadas para fins de tomada de decisão ou de controlo (Cox, 1994).

O número resultante de conjuntos *fuzzy* que definem a saída é igual ao número de regras de inferência usadas para definir as entradas (Paixão, 2010). Dependendo da área de aplicação são acrescentados diferentes sistemas *fuzzy*. Quatro métodos comuns de inferência dedutiva para sistemas *fuzzy*, abordados na literatura, são (Ross T. J., 2009):

- **Modelo de Mamdani:** quer o antecedente quer o consequente são proposições *fuzzy*;
- **Modelo Larsen:** quer o antecedente quer o consequente são proposições *fuzzy*;
- **Modelo Takagi-Sugeno:** o antecedente é uma proposição *fuzzy* e o consequente é uma função polinomial *crisp*.
- **Modelo Tsukamoto:** o antecedente é uma proposição *fuzzy* e o consequente é uma função monoatômica;

Mamdani propôs uma relação *fuzzy* para modelar matematicamente a base de regras, através do modelo de inferência *min-max*.

No processo de inferência *fuzzy* as conclusões da regra são calculadas com base nos valores de entrada do sistema. Os resultados desse processo é uma conclusão *fuzzy*. No método min-máx a aplicabilidade de uma regra é determinada da conjugação dos antecedentes da regra. Se uma saída *fuzzy* for consequência de mais do que uma regra, essa saída será configurada para o valor de verdade mais alto (máximo) de todas as regras que a incluem como consequência. O resultado da avaliação da regra é um conjunto de conclusões *fuzzy* que refletem os efeitos de todas as regras cujo valor de verdade é maior que zero (Chin, Chan, & Yang, 2008).

Nesta fase importa fazer uma divisão dos sistemas de inferências difusa em duas categorias: sistemas de raciocínio difuso e sistemas de controlo difuso. Esta categorização é feita segundo os objetivos e requisitos específicos do sistema difuso a projetar. As diferenças destes sistemas são visíveis na *desfuzzificação* e na natureza que se procura para os seus outputs.

Considerando um sistema com duas entradas não interativas A1 e A2 (antecedentes) e uma única saída B (consequente) descrito pela regra:

$$R1: SE x \text{ é } A_1 E A_2 ENTÃO B$$

Segundo *Mamdani*, a agregação da regra é dada por (Ross T. J., 2009):

$$\mu_{A_1} \cap \mu_{A_2} \cap \dots (x) = \min(\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots) \quad (8)$$

A força da regra é dada por:

$$\alpha_{R1} = \mu_{A_1} \cap \mu_{A_2} \cap \dots (x) = \min(\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2), \dots) \quad (9)$$

Para determinar a consequência da regra, efetua-se a combinação da força da regra com a distribuição de saída,

$$\mu_{R1}^{conseq}(y) = \min \{ \alpha_{R1}, \mu_B(y) \} \quad (10)$$

Para obter uma distribuição de saída, efetua-se a combinação das consequências de todas as regras numa única saída:

$$\mu_{conseq}(y) = \max \{ \mu_{R1}^{conseq}(y), \mu_{R2}^{conseq}(y), \dots \} \quad (11)$$

Após obtido o conjunto *fuzzy* de saída através do processo de inferência, no estágio de *desfuzzificação* é feita uma interpretação dessa informação. Quando aplicado na prática, são exigidas saídas precisas. No caso de um sistema de controlo baseado num sistema de inferência *fuzzy* este deve fornecer dados ou sinais precisos, uma vez que o *input* não tem significado algum.

Obtido o conjunto *fuzzy* de saída através do processo de inferência, na *desfuzzificação* é interpretada essa informação – uma vez que na prática são exigidas respostas precisas. No caso de sistemas de controle, o controle é feito por um sistema de inferência *fuzzy* este deve fornecer à planta dados ou sinais precisos.

O resultado da aplicação de uma regra difusa depende, portanto, de três fatores (Rodríguez Martins, 2001):

- Da negação da implicação *fuzzy* escolhida;
- Da negação da função de membro do conjunto difuso da proposta localizado na conclusão da regra *fuzzy*;
- Do grau de validade das proposições localizadas premissa;

Após a inferência, obtém-se um conjunto agregado *fuzzy* que será entrada do processo de *desfuzzificação*. Como agregado de um conjunto *fuzzy* abrange um intervalo de valores de saída que terá de ser *desfuzzificado* para obter um único valor.

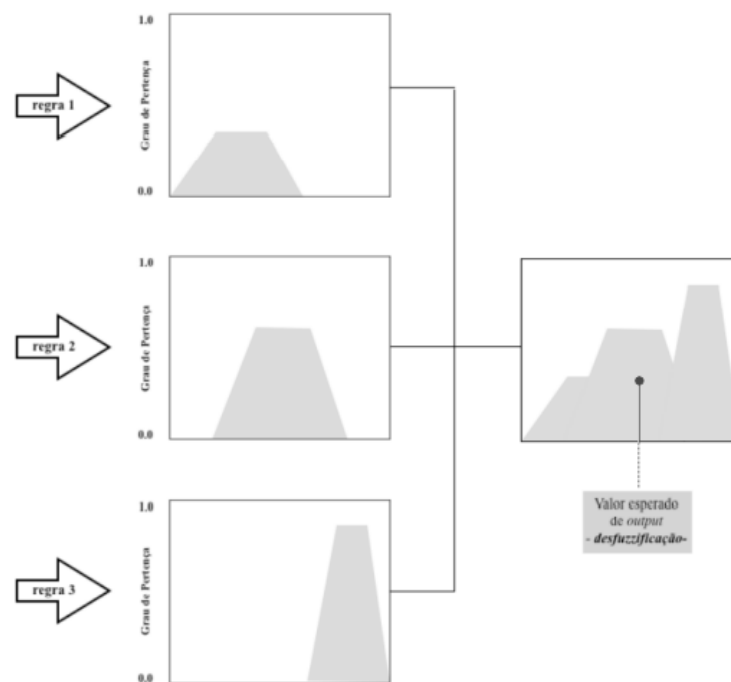


Figura 22 – Inferência (fonte: (Tah & Carr, 2000)).

Existem vários métodos de *desfuzzificação* – cuja escolha depende da aplicação e do gestor de projeto -, tais como: Máxima e derivados, Distribuição e derivados, e Áreas (Ross T. J., 2009).

-Método Máxima e Derivados: tem a propriedade de selecionar um elemento único do núcleo como valor de *desfuzzificação*. É aplicado em sistemas de raciocínio difuso como:

- *Random Choice of Maxima (RCOM)*
- *First of Maxima and last of Maxima (FOM, LOM)*
- *Middle of Maxima (MOM)*

-Método de Distribuição e Derivados: é o método mais utilizado. A expressão matemática deste método representa a influência de cada ponto do conjunto difuso a colapsar e é a média dos pontos de valor de pertença não nulos pesada a importância do respetivo valor de pertença. Torna-se o método mais vantajoso por ser rápido de calcular.

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

-Método de Área: este método baseia-se na área sob a função de pertença, com o intuito de agregar a informação sobre possíveis ações de controlo que são representadas pela função de pertença. Este método é aplicado, sobretudo, em sistemas de controlo difuso tais como:

- *Center of Area (COA)*
- *Extend Center of Area (ECO A)*

Não existe um algoritmo de *desfuzzificação* melhor e aplicável em todo e qualquer contexto. Contudo, e após uma revisão literária, o método mais utilizado é o *Center of Gravity (COG)*, pelas diversas vantagens face aos restantes métodos. A consistência, o equilíbrio e a sensibilidade ao longo da região *fuzzy* e as variâncias insignificativas no valor final expectável de saída são algumas das características que o tornam preferencial (Paixão, 2010). O COG é calculado através da média ponderada da região *fuzzy* que define a saída e corresponde ao ponto no eixo x que divide a região *fuzzy* em duas áreas equivalentes.

$$COG = \frac{\sum \mu_i(x) \times x_i}{\sum \mu_i(x)} \quad (12)$$

x_i : valor de suporte em que a função de pertença atinge o valor máximo

$\mu_i(x)$: grau de pertença da função

Salientar que o método adotado depende da estratégia do gestor de projeto. Resumindo, o desempenho do sistema de inferência *fuzzy* está dependente da escolha de uma base de regras adequada e do número e forma dos conjuntos atribuídos a cada variável.

4. FUZZY LOGIC – FMEA

Neste capítulo será explorada a metodologia *Fuzzy*-FMEA. Será apresentada uma revisão literária sobre um conjunto de artigos científicos considerados relevantes face ao tema da presente dissertação e as respectivas áreas de aplicação. No final, serão apresentados os benefícios da utilização conjunta destas duas ferramentas ao invés de isoladas.

4.1. Caracterização FUZZY-FMEA

A FMEA requer o conhecimento aprofundado do projeto, colocando a responsabilidade numa figura, a quem cabe interpretar a diversa informação que está ao seu alcance, tratando-se de uma metodologia empírica e numa avaliação subjetiva. Concluímos que nem sempre é fácil avaliar com precisão os diferentes critérios e, por vezes, podemos obter iguais valores de RPN com significados dispares, não representativos da realidade, levando a erros de tomada de decisão. Além disso, a avaliação é feita pelo Homem que, como bem sabemos, apresenta melhores avaliações através de variáveis linguísticas que com pontuações numéricas nítidas. Daí, a necessidade de utilização de uma ferramenta que auxilie na avaliação do risco.

A *Fuzzy Logic* avalia os riscos associados aos modos de falha num formato mais flexível e tendo em conta diversos fatores, embora seja da responsabilidade de um indivíduo, convertendo variáveis linguísticas em valores numéricos. Desta forma, calculando a criticidade através da Lógica Difusa a avaliação dos riscos associados a modos de falha é mais fácil.

O presente trabalho pretende avaliar a competitividade registada atualmente no mercado dos veículos movidos a energias alternativas e quantificar os riscos associados à inovação impactuam com os objetivos organizacionais.

Os projetos são essenciais para que as organizações possam colocar as suas estratégias em prática. No entanto, a ocorrência de eventos incertos pode comprometer o seu sucesso. Daí a importância da gestão de projetos no processo de tomada de decisão de como lidar com os riscos. Para tomada de decisão, os riscos devem ser priorizados por meio de matrizes de risco. Podendo estas não ser suficientes para a análise ou representativas da realidade, o uso da lógica difusa permite o tratamento de informação incerta e vaga através da modelação do conhecimento humano.

Nas mais diversas aplicações destas metodologias, os resultados alcançados revelaram vantagens em lidar com o risco associado a modos de falha. O primeiro passo consiste em priorizar os problemas associados ao desenvolvimento do projeto através de um sistema de Inferência *Fuzzy* FMEA.

A priorização de riscos na área de projetos é fulcral ao sucesso numa organização, até porque estão envolvidos recursos, custos, tempo, para além de afetar a competitividade da organização. A FMEA assume importância no intuito de identificar as causas e os efeitos das potenciais falhas. Porém, assimilar a FMEA com a *Fuzzy* permite uma avaliação mais flexível aos diferentes cenários, proporcionando uma captura da incerteza associada às variáveis (Kahraman, Kaya, & Senvar, Healthcare failure mode and effects analysis under fuzziness, 2013).

As variáveis de entrada (parâmetros da FMEA), foram obtidos através da experiência e do conhecimento dos especialistas na área. Foram definidos cinco termos linguísticos para cada um dos inputs (S, O, D) e funções de pertinência triangulares. Para o *output* (RPN) foram definidos quatro termos e, para as regras, foram estabelecidas um total de 64 regras do tipo *IF-THEN* e como método de inferência *Mamdani min-max* por ser o método conhecido por modelar o conhecimento do especialista. Quanto ao método de *desfuzzificação* foi usado o *Centroid de Yager*.

Na tabela abaixo estão representados alguns artigos científicos na qual a metodologia *Fuzzy-FMEA* contribuiu para a gestão do risco e na avaliação do impacto de eventos de risco sobre os objetivos da organização ou do projeto.

Tabela 10 - Exemplos de aplicação da Fuzzy-FMEA (fonte: elaboração própria).

Área de Aplicação	Autor e Ano
Processo de compra de um hospital público	Kumru & Kumru, 2013
Sistema Hidráulico de produção de papel	Sharma & Kumar, 2005
<i>A checklist for evaluating ergonomic risk associated with upper extremity cumulative trauma disorders</i>	Keyserling et al, 1993
<i>Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory</i>	Liu et al, 2011
<i>A Fuzzy Based Model to Assess the Influence of Project Risk on Corporate Behavior</i>	Ricardo Santos et al, 2020
<i>Water Quality management</i>	Rehana & Mujumdar, 2009
Processos de decisões de emergência	Chanamool & Naenna, 2016

Existem outros métodos para além da *Fuzzy Logic* que permitem melhorar a compreensão de problemas complexos. A *Fuzzy Logic* procura não só dar respostas às limitações associadas à FMEA como, também, permitir a avaliação do impacto de um evento de risco de forma consciente e racional (Kumru & Kumru, 2013).

4.2. Aplicação da Metodologia FUZZY-FMEA

O objetivo principal do modelo a desenvolver consiste na avaliação do impacto associado a um evento de risco tem sobre os objetivos, no sucesso dos projetos e na competitividade de uma organização. O risco é uma das áreas mais importantes na gestão de projetos e que maior impacto apresenta.

O modelo irá incidir em projetos inovadores na área da indústria automóvel, por se tratar de uma área em constante evolução, cada vez mais competitiva e na qual se tem verificado um aumento da oferta de produtos no mercado.

A caracterização dos eventos de riscos associados aos projetos do setor ficará à responsabilidade de um painel de especialistas com experiência e conhecimento no setor automóvel – de forma a aproximar o quanto possível o modelo à realidade. De salientar que os especialistas escolhidos são representantes das mais diversas áreas – Gestor de Projeto, Engenharia, Qualidade, Produção e Team Leaders, Processo, Logística, Compras, Finanças, Marketing (fig. 23)

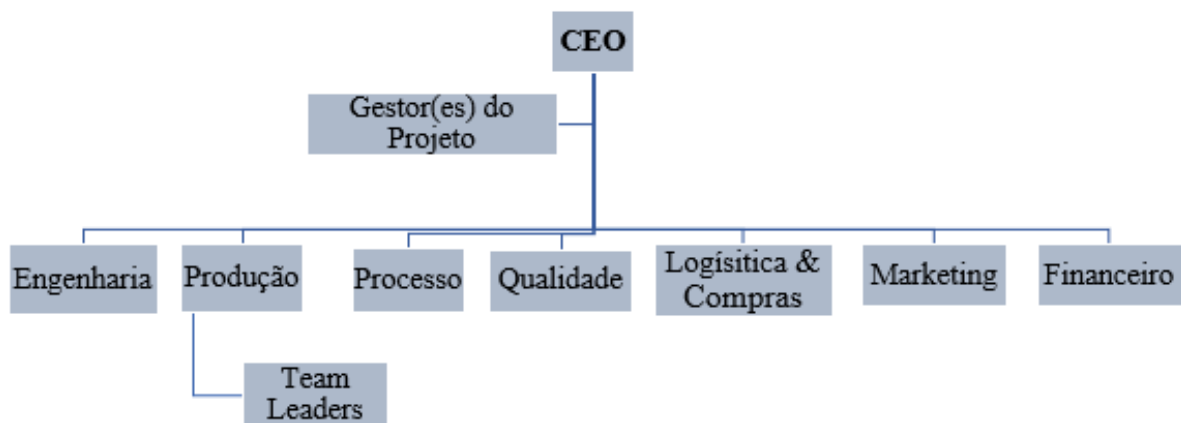


Figura 23 - Representação da estrutura organizacional do Brainstorming (fonte: elaboração própria).

Reunido o grupo, tem-se reunidas as condições para a realização de *Brainstorming* sobre a identificação de potenciais modos de falha com impacto sobre o sucesso de um projeto numa organização. A informação recolhida será agregada num suporte FMEA na qual se identificam as possíveis causas e efeitos associados aos modos de falha e os possíveis controlos de prevenção e deteção.

Antes de iniciar a construção da Matriz FMEA importa relembrar o conceito de risco e as áreas em que poderá ter maior impacto.

Kerzner (2002) definiu Índice de Risco (IR) como um “indicador e representa a relevância do risco” em relação ao conjunto de riscos identificados.

$$R_n = O_n \times S_n, \quad (13)$$

Onde, R: nível de risco

O: probabilidade de ocorrência

S: impacto do risco caso ocorra

O cálculo do Índice de Risco é feito quando os fatores são determinados de forma inequívoca, sendo seguro para as empresas a sua utilização. Relacionando as métricas definidas para Probabilidade (O) e Impacto (S) resulta uma matriz: a Matriz Probabilidade-Impacto.

A matriz de probabilidade deve ser construída durante a fase de planejamento do projeto e avaliação do seu CVP, de forma a concluir a tolerância aos riscos por parte dos *stakeholders*. Devem ser estabelecidos limites entre as regiões de aversão ao risco, relacionando-as com as definições de mapeamento das escalas de probabilidade e impacto previamente estabelecidas.

Sendo que o objetivo é aplicar o modelo a novos projetos, na qual a incerteza é elevada, mais do que avaliar a probabilidade de ocorrência de um modo de falha e o seu impacto, importa ter um controle e uma monitorização constante capaz de antever esse acontecimento e mitigar os possíveis impactos negativos.

Remetendo a pontos anteriores, risco foi definido como função de duas componentes primárias, probabilidade (O) e impacto (S). Porém, aplicado ao modelo apresentado a estas duas variáveis deve-se acrescentar uma outra: Detecção (D). A este método designamos de *Risk Priority Number* (RPN).

$$RPN_n = O_n \times S_n \times D_n = R_n \times D_n \quad (14)$$

onde, RPN: nível de risco integrado

D: Detetabilidade

Numa primeira fase do modelo será determinado o risco com base na Ocorrência (O) e na Severidade (S) e posteriormente, numa segunda fase, será determinada o RPN – juntando a Detetabilidade (D) aos parâmetros anteriores.

O impacto do risco é medido segundo o Âmbito (A), Tempo (T), Custo (C) e Qualidade (Q) do projeto em questão. Representando esquematicamente o impacto que um dado risco apresenta sobre o projeto com afetação da competitividade da organização tem-se:

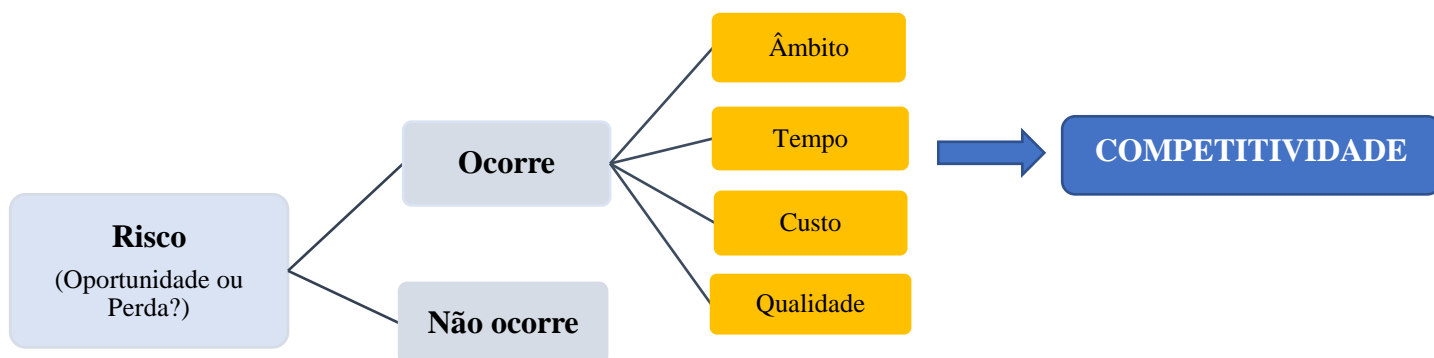


Figura 24 - Representação do Impacto dos riscos (fonte: elaboração própria).

Ou seja, o impacto que cada fonte de risco exerce é definida pelas seguintes categorias:

Tabela 11 - Impacto sobre as categorias em estudo: âmbito, tempo, custo e qualidade (fonte: elaboração própria).

Categoria de Impacto	Descrição
Âmbito (A)	Corresponde ao impacto que um potencial risco tem sobre as características e/ou funções específicas do produto, serviço ou resultado que o projeto apresenta como resultado final.
Tempo (T)	Corresponde ao impacto que poderá ocorrer sobre o cronograma definido no planejamento do projeto, sendo mais relevante o prazo de conclusão e/ou prazos intermédios considerados cruciais (<i>milestones</i> ¹⁰) pelos <i>stakeholders</i> .
Custo (C)	Corresponde ao potencial impacto sobre os custos do projeto.
Qualidade (Q)	Corresponde ao impacto que a correspondência dos resultados aos requisitos pré-estabelecidos pelos <i>stakeholders</i> , onde terá maior relevância aos requisitos do cliente final e/ou outros intervenientes cujo parecer seja fulcral para o sucesso do projeto.

O modelo da figura 25 é constituído por dois níveis, sendo que no primeiro nível será determinado o risco em função da Ocorrência (O) e do seu Impacto (S), estando repartido em quatro setores (âmbito, tempo, custo e qualidade). Ressalvar que o valor de “O” será constante para os quatro setores, uma vez que não está associado a estes mas sim à probabilidade de o modo de falha ocorrer.

¹⁰ *Milestones*: ponto ou evento com significado no projeto.

O nível de Risco (R) para qualquer risco n com probabilidade de ocorrência (O) para cada uma das categorias enunciadas acima, é calculado por:

$$RA_n = O_n \times SA_n \quad (15)$$

$$RT_n = O_n \times ST_n \quad (16)$$

$$RC_n = O_n \times SC_n \quad (17)$$

$$RQ_n = O_n \times SQ_n \quad (18)$$

Uma vez que modelo é restrito a acontecimentos com impacto negativo e não se pretende induzir a erros, pois estes podem afetar o processo de tomada de decisão e poderá ter repercussões sob o processo de tomada de decisão, não será calculado o risco médio nem atribuídas ponderações às diferentes variáveis. No modelo a desenvolver será selecionado o maior valor de risco que será representativo do modo de falha.

Após a determinação dos valores de R pretende-se avaliar a influencia que a variável de Detecção exerce sobre o RPN. Às expressões acima mencionadas será determinada o nível de RPN:

$$RPN_n = R_n \times D_n \quad (19)$$

O valor de RPN não resultará de valores médios nem de ponderações, mas do maior valor associado à perda relacionado com o Modo de Falha.

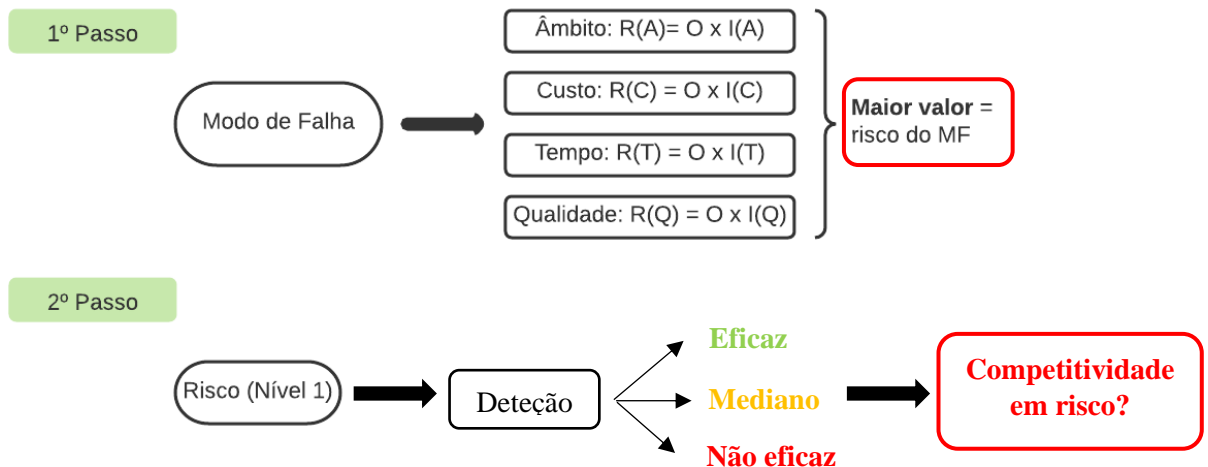


Figura 25 - Esquema elementar do modelo Fuzzy-FMEA (fonte: elaboração própria).

Ou seja, perante a presença de um evento de risco é determinado a probabilidade de ocorrência, seguido do cálculo da capacidade de deteção pelos intervenientes e, por fim, é estimado o Nível de Risco.

O método utilizado para agregar a opinião dos especialistas parte dos parâmetros usados na FMEA (S, O, D) que serão *fuzzificados* através de funções de pertença apropriadas para determinar o grau de pertença em cada classe de entrada.

As entradas *fuzzy* resultantes são avaliadas no FIS, segundo um conjunto de regras bem definidas que seguem o princípio *IF-THEN*, juntamente com operações da Lógica Difusa usadas para determinar o nível de risco da falha. Os valores *fuzzy* serão *desfuzzificados* de forma a obter o valor de RPN. Quanto maior for o valor de RPN obtido, maior será o risco, e, portanto, mais afetará a competitividade da organização.

Na tabela 12 estão representadas as quinze variáveis elementares associada a cada risco:

Tabela 12 - Variáveis elementares para cada risco/modo de falha (fonte: elaboração própria).

		<i>Inputs</i>		<i>Outputs</i>	
1º Passo	O	Ocorrência	R _A	Risco no Âmbito	
	S _A	Severidade no Âmbito	R _T	Risco no Tempo	
	S _T	Severidade no Tempo	R _C	Risco no Custo	
	S _C	Severidade no Custo	R _Q	Risco na Qualidade	
	S _Q	Severidade na Qualidade	R	Risco do Modo de Falha	
2º Passo	R	Risco do 1º Passo	RPN ₁	RPN – Detetabilidade não eficaz	
	D ₁	Detetabilidade não eficaz	RPN ₂	RPN – Detetabilidade eficaz	
	D ₂	Detetabilidade eficaz			

A estrutura base do modelo desenvolvido segue a estrutura da figura 41. Para cada modo de falha está associada um valor de risco que caracteriza o evento e constitui o *output* do modelo um, que permitirá avaliar o risco segundo o impacto que este terá e a probabilidade deste ocorrer. Este modelo servirá apenas para avaliar riscos negativos que constituem uma ameaça ao sucesso do projeto e à competitividade da organização.

4.3. Descrição das Variáveis

O primeiro passo consiste em identificar as variáveis que apresentam risco para o projeto. Ou seja, o ponto principal passa por conhecer as etapas de desenvolvimento de projeto na engenharia automotiva, identificar possíveis eventos de risco que comprometam o sucesso do projeto e a competitividade da organização. A identificação dos cenários de risco é feita com recursos a dados históricos, a elementos bibliográficos e com base na opinião de especialistas no desenvolvimento de projetos neste setor de atividade. Perfazidas estas etapas, é possível identificar o produto e os modos de falha a si associados.

Posteriormente à identificação das variáveis do projeto, importa que os dados sejam representativos da realidade e que sejam exatos e concisos face ao atual estado do mercado e setor. Através da definição das métricas é possível medir o progresso e estabelecer os objetivos.

O modelo a desenvolver incide em áreas como âmbito, tempo, qualidade, recursos humanos, custo e comunicação – tal como exploramos no ponto 2, uma estratégia competitiva é suportada por estes pontos.

Quanto à variável âmbito esta representa os objetivos a que se destina o projeto e engloba o planeamento do mesmo. Importa que este ponto não sofra alterações durante o ciclo de vida do projeto, uma vez que implica o aumento de mudanças, um aumento do tempo de produção, podendo afetar a qualidade do produto, tempo de entrega deste ao cliente e o aumento dos custos.

A variável custo é referente não só ao valor de investimento do projeto, bem como a custos de produção e, por consequente, ao custo de aquisição. Importa que o valor investimento do projeto não sofra alterações, uma vez que os acionistas podem responder negativamente a uma solicitação extra de dinheiro. Além disso, esta variável depende de outras, como tempo, âmbito ou qualidade, no sentido de que se o custo de produção for superior ao expectável, por consequente, incorre ao aumento do preço de venda, dependendo fortemente da intenção de compra do mercado, da oferta dos concorrentes diretos ou indiretos, colocando em risco os lucros da empresa caso o tempo de produção seja superior ao expectável ou se para a qualidade desejada tenha de ser empregues uma quantidade extra de recursos.

A variável qualidade deve procurar ir ao encontro das necessidades e das expectativas do mercado. Por se tratar de um produto novo e inovador, deve apresentar uma relação justa entre preço de venda e qualidade, maximizando a variável da qualidade e minimizando a de custo. Para tal, importa que o processo flua de forma contínua, não exista atrasos/falta de material, a tecnologia tenha a capacidade de satisfazer as necessidades de utilização do consumidor bem como as suas expectativas. Além disso, importa que o cliente reconheça valor ao produto final.

Sobre a variável tempo, esta é referente à resposta da organização sobre as necessidades de mercado. O *timing* de colocação do produto no mercado está relacionado com o nível tecnológico que este apresenta. Ou seja, o produto só será inovador caso a tecnologia que este apresenta seja distinta dos demais, não seja obsoleta, tendo o cliente lhe reconhecido valor. A esta variável está, também, relacionado o tempo de distribuição do produto até ao cliente e o tempo de produção. Mesmo que um produto apresente uma boa relação qualidade *versus* preço de venda, e o cliente lhe reconheça valor, se o tempo não for cumprido coloca em causa a reputação da marca e o seu posicionamento no mercado, o preço de produção e respetivo preço de venda, afetando os lucros da organização e sua imagem/posicionamento. Todos estes fatores podem afetar a competitividade da organização.

Relativamente às variáveis em falta, é de extrema importância a aliança entre a experiência e o conhecimento dos recursos humanos responsáveis pelo desenvolvimento no projeto. Uma vez que se trata de um projeto inovador, caso sejam detetados desvios processuais, estes terão de ter a capacidade e o conhecimento para controlar e mitigar possíveis falhas que coloquem em causa a exequibilidade do projeto e/ou a qualidade do produto final. Pelo contrário, se se verificar que a mão de obra não reúne *know how* suficiente para lidar com as diversas circunstâncias e desafios poderá colocar em causa o projeto, pois esta não terá uma resposta atempada que mitigue as repercussões associadas a um dado desvio.

Por fim, sobre a variável comunicação importa ressaltar a necessidade de um acompanhamento constante das tendências de mercado, não só do ponto de vista das necessidades e/ou expectativas do mesmo, bem como da concorrência, de forma que o modelo de negócio arquitetado seja superior aos dos concorrentes diretos e diferenciador, seja pela velocidade de resposta da empresa ou pela qualidade que esta apresenta.

O objetivo será, portanto, auxiliar um gestor de projeto a selecionar o projeto que apresentar um valor de risco aceitável segundo as diretrizes da organização e da mesma forma, a que esta seja competitiva no mercado de atuação – valendo os frutos colhidos o risco.

Desta forma, além de criar um produto inovador e diferenciado este, dentro do setor elétrico ou de hidrogénio, deve apresentar o menor custo de produção possível, a máxima qualidade que satisfaça os requisitos do mercado, além de apresentar um *timing* que cumpra os *deadlines*¹¹ desejados não sendo influenciado pela falta de infraestruturas capazes de suportar a sua utilização ou outros fatores adversos ao projeto.

Para a construção de um Sistema de Inferência FMEA-*Fuzzy* importa:

1. Definir as variáveis de entrada (*inputs*) e as variáveis de saída (*outputs*)
2. Criação das funções de pertinência
3. Criação das Regras de Inferência

As quinze variáveis elementares são caracterizadas por variáveis linguísticas que, posteriormente, serão representadas em conjuntos difusos.

¹¹ Deadlines: prazo final, prazo de entrega de determinada tarefa ((Dicionário Informal, 2021)

4.3.1. Variáveis de Entrada

A modelação de um sistema tem início no *FIS Editor*. Este editor tem a função de controlar os principais parâmetros do sistema, como o número de variáveis de entrada e de saída. Como referido anteriormente, o modelo apresentado as variáveis de entrada correspondem às da FMEA clássica. Ou seja, tem-se três *inputs*:

- **Severidade (S):** impacto de um determinado modo de falha sob o componente ou processo em análise.
- **Ocorrência (O):** frequência com que um determinado modo de falha ocorre.
- **Deteção (D):** dificuldade em diagnosticar um modo de falha.

Para o primeiro modelo, o cálculo do risco é baseado nas 5 variáveis linguísticas definidas para a Ocorrência (tab. 13) e nas cinco variáveis definidas para a Severidade (tab. 14) – sendo a severidade repartida em quatro áreas distintas: âmbito, custo, tempo e qualidade

Tabela 13 - Descrição da variável de entrada para Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria).

Ocorrência	Descrição
Quase impossível	Probabilidade de ocorrência muito baixa/quase impossível.
Baixa	Probabilidade de ocorrência baixa.
Média	É provável que o evento ocorra.
Alta	Probabilidade de ocorrência elevada e/ou frequente.
Quase certa	Probabilidade de ocorrência certa e muito frequente.

Tabela 14 - Descrição da variável de entrada para Severidade (S) (fonte: elaboração própria).

Ocorrência	Descrição
Nenhuma	O propósito de operação é cumprido e/ou os desvios são insignificativos.
Baixa	Alguns objetivos não críticos podem não ser cumpridos e não apresentam repercussões sobre o projeto – cumprimento de <i>milestones</i> ¹² , aumento de custos, afetação da qualidade
Média	Probabilidade de ocorrência média – incumprimento de objetivos não críticos pode apresentar repercussões no projeto
Alta	Probabilidade de ocorrência alta. Não satisfaz a totalidade dos objetivos definidos, atrasos nos <i>milestones</i> , desvio de custos significativo, decréscimo da qualidade.

¹² *Milestones*: ponto ou evento significativo do projeto, programa, portfólio. Também designada como ponto de controlo ou de verificação (Wikipédia, 2021)

Perigosa	O evento de risco ocorre certamente. Efeitos: insucesso do projeto, atrasos muito significativos e/ou possível falha de entrega do produto no mercado, discrepância face aos critérios de aceitação, prejuízos monetários avultados para os <i>stakeholders</i> .
----------	---

Relativamente à variável Detetabilidade, as variações de valor desta representam um impacto significativo sobre o valor de RPN a obter. Como o objetivo principal da presente dissertação consiste em avaliar o impacto associado a um evento de risco e não a probabilidade de deteção de um modo de falha, será feita uma análise inicial para concluir quais os eventos que apresentam maior impacto negativo sobre o projeto e, por consequente, que necessitam de um nível de deteção superior face aos restantes.

A variável Detetabilidade depende das capacidades, do conhecimento e da experiência dos demais intervenientes desde a etapa de planeamento, monitorização e controlo, ou de execução do trabalho (tab. 15). Além de depender da experiência do gestor do projeto e da tomada de decisão atempada, depende dos operadores de *shop floor* e na capacidade destes de deteção de desvios do processo.

Tabela 15 - Descrição da variável de entrada Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria).

Deteção	Descrição
Quase certa	Os executantes garantam o controlo do processo e a capacidade de resposta atempada e devida.
Alta	O executante tem experiência sobre o tema, porém a sua capacidade de resposta não é tão atempada e pode estar em causa.
Média	Os executantes têm experiência sobre o tema, porém, podem existir riscos críticos não detetados que colocam em causa o projeto
Baixa	Capacidade de deteção não é garantida e o projeto corre sérios riscos.
Quase impossível	O executante não tem capacidade de prever a resposta ao risco.

A variável Detetabilidade assume importância aquando do cálculo do RPN. Caso se verifique a ocorrência de um evento de risco o impacto que este terá poderá ser maior quanto não existe deteção nem controlo sobre o mesmo, daí o Processo de Gestão de Projetos implicar uma extrema importância na etapa de Controlo e Monitorização constantes para detetar possíveis desvios/alterações e responder atempadamente.

4.3.2. Descrição das Variáveis de Saída

Os *outputs* do modelo a desenvolver serão os *outputs* da categoria do risco (âmbito, tempo, qualidade, custo) que mais impacto têm caso o modo de falha ocorra. Ponderou-se em determinar o valor de risco associado a cada categoria ou proceder ao cálculo da média. Contudo, ambas as situações induziriam a erros de cálculo, pode não ser representativo da realidade contribuído para erros na tomada de decisão e aumentando as probabilidade de perdas.

Tal como referido no capítulo 3, o método min-max de *Mamdani* é o mais adequado para a implicação das regras na modelação FMEA-*Fuzzy*, tal como o método COG é o mais recomendado no processo de *defuzzificação*.

Quanto às variáveis dos sistemas estas são definidas de acordo com termos linguísticos, discutidos com a colaboração de especialistas. Com a finalidade de construir um sistema FMEA-*Fuzzy* padrão que possa ser implementado independentemente do contexto/finalidade com facilidade, adaptável às diversas necessidades de cada problema, as variáveis de saída foram definidas com quatro termos linguísticos (tab. 16) que traduzem os critérios de classificação dos parâmetros FMEA.

Tabela 16 - Descrição das variáveis de saída Risco e RPN (fonte: elaboração própria).

Deteção	Descrição	Estratégia
Baixo	A prioridade de tratamento deste tipo de risco é baixa e, portanto, não apresenta um impacto negativo para o projeto ao ponto de colocar em causa os objetivos/concretização do mesmo. Contudo, a existência de riscos “baixos” não deve ser negligenciada e devem ser tomadas as devidas ações de contenção	Aceitar
Média	A prioridade de tratamento é considerada e deve ser gerida de forma a não passar para o nível seguinte ou desencadear eventos que apresentem um risco mais agravado. A existência deste tipo de riscos não deve ser negligenciada uma vez que o projeto pode estar posto em causa.	Mitigar
Alta	A prioridade de tratamento é elevada e assume um impacto considerável sobre o projeto.	Prevenir
Crítica	É prioritário o tratamento de eventos deste risco, por se tratar de eventos bastante impactantes no projeto e na sua viabilidade. Pode levar a perdas avultadas.	Prevenir

Para que a análise seja eficaz, com uma classificação bem distribuída e representativa da realidade, para a variável de saída (RPN) foram definidos quatro termos linguísticos. Quanto maior for o número de variáveis de entrada, maior será o número de resultados possíveis, o que aumenta a possibilidade de maior diferença entre valores e, por sua vez, permite uma análise mais eficiente dos valores de RPN obtidos.

Quer as variáveis de entrada quer as variáveis de saída foram definidas com o intuito de facilitar o processo de discussão entre os variados intervenientes e o processo de tomada de decisão pelo gestor de projeto. Desta forma tem-se que:

- As variáveis foram definidas de forma conjunta pelos especialistas representantes de cada área departamental para que, facilmente, atribuam variáveis linguísticas que caracterizam um determinado evento de risco em quatro categorias (baixo, médio, alto, crítico);
- Quer-se, após a obtenção do valor de RPN associado a um dado evento, a tomada de um conjunto de ações que visam a eliminação e/ou a mitigação do risco;
- Proceder à construção de uma Matriz de Ações Prioritárias, organizando a necessidade de organização;
- Concluir qual das áreas (âmbito, custo, qualidade, tempo, recursos humanos, comunicação) apresentam um nível de risco superior e mais impactante que afete a viabilidade do projeto e a competitividade da organização;
- Avaliar as diferenças dos resultados obtidos a partir da FMEA com resultados da metodologia *Fuzzy-FMEA*;
- Avaliar, com base no impacto associado aos eventos de risco identificados, qual o projeto mais atrativo, com menor risco e que apresente mais benefícios para a organização do ponto de vista financeiro e competitivo;

4.4. Processo

Adotando a informação retirada das fontes bibliográficas e do cruzamento entre os Processos de Gestão de Risco retirados do PMBOK e da ISO 31000, o modelo a desenvolver encontra-se dividido em quatro etapas principais. A primeira etapa consista na obtenção de dados, através da reunião de um painel de especialistas conhecedores da matéria. De seguida, procede-se à realização da FMEA de forma a promover a discussão entre áreas e compreender quais os efeitos sobre o projeto e competitividade da organização e a respetiva sustentabilidade. Como terceiro passo tem-se a construção do sistema de inferência difusa utilizando a informação recolhida no passo anterior. Por fim, procede-se ao tratamento da informação obtida e à retirada de conclusões.

Sintetizando:

1º Passo – Recolha da informação: Reunião do painel de especialistas conhecedores da área em discussão. Objetivo: promoção do debate entre os diferentes departamentos

2º Passo – Realização da FMEA. Objetivo: construção da FMEA através da informação recolhida – categorização dos modos de falha em termos de severidade e ocorrência.

3º Passo – Construção do Sistema de Inferência *Fuzzy*. Objetivo: desenvolvimento do modelo em *Matlab* com os inputs retirados da FMEA

4º Passo – Tratamento de dados: interpretação da informação retirada do modelo em *Matlab*. Objetivo: respetiva análise do impacto sobre a competitividade da organização e a sua respetiva sustentabilidade.

4.5. Recolha de Informação

A gestão de risco é por si só, um tema incerto, que se encontra dependente de uma grande panóplia de fatores entre os quais a opinião dos seus principais intervenientes.

O modelo a desenvolver parte da informação recolhida da experiência e conhecimento dos especialistas da área. A primeira etapa do modelo é caracterizada pela avaliação da gravidade que determinado risco apresenta caso este ocorra. Avaliado o impacto segue-se a segunda fase: compreender o que pode influenciar a detetabilidade e o que representa esta variável sobre o impacto de um dado evento de risco.

Este conjunto de atributos será obtido com recurso a técnicas como:

- *Brainstorming*
- Painel *Delphi*
- Análise de Cenários
- Histórico de outros projetos
- FMEA

4.6. Inferência Difusa

Como referido anteriormente, após a construção da FMEA pretende-se desenvolver um modelo em *Matlab* com o objetivo de aproximar o máximo possível ao pensamento lógico. O modelo encontra-se desenvolvido em dois passos. A cada modo de falha identificado pelos especialistas encontra-se associada uma probabilidade de ocorrência – que será constante nas diferentes categorias em análise. A razão da divisão do modelo em duas etapas deve-se ao facto de se pretender avaliar o risco pelo impacto que este apresenta sobre o projeto não tirando conclusões por influência do valor de detetabilidade associado. Ou seja, um evento pode apresentar um risco crítico que coloque em causa os objetivos do projeto, mas que apresenta um

valor de detecção baixo. O que se pretende é perceber, utilizando os menores recursos possíveis, até que ponto um risco se encontra controlado e não se apresenta como um perigo que coloque em causa os objetivos organizacionais.

Assim sendo, esta etapa encontra-se dividida em:

1. Identificação das variáveis de entrada (*inputs*) e das variáveis de saída (*outputs*)
2. Definição dos conjuntos difusos
3. Definição das funções de pertença
4. Criação das regras de inferência através da construção de matrizes lógicas
5. Simulação do sistema de inferência difusa
6. Interpretação dos resultados obtidos

1º Passo - Identificação das variáveis

Na tabela 17 encontram-se representadas as variáveis do processo.

Tabela 17 - Definição das variáveis do processo (fonte: elaboração própria).

	<i>Inputs</i>		<i>Outputs</i>
Âmbito	P	I _A	R _A
Tempo		I _T	R _T
Qualidade		I _Q	R _Q
Custo		I _C	R _C
Risco	D _n	R _n	RPN _n

2º/3º Passo - Conjuntos Difusos e Funções de Pertença

Neste modelo os valores dos conjuntos difusos e das respetivas funções de pertença serão obtidos através da FMEA construída. Quanto ao tipo de funções a aplicar no modelo a desenvolver optou-se pelas triangulares devido a simplicidade a elas associada para além de serem representativas dos “degraus” de diferença entre as diferentes classificações.

Como referido no ponto 2, referente à *Fuzzy Logic*, as funções de pertença são descritas por:

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{se } x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & \text{se } x_1 < x \leq x_2 \\ \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & \text{se } x_2 < x \leq x_3 \\ 0, & \text{se } x > x_3 \end{cases} \quad (20)$$

Uma função triangular é caracterizada por três pontos designados na expressão 20: (x_1 , x_2 , x_3), em que x_1 é representativo do limite mínimo do triângulo, x_2 localiza o pico da função triangular (máximo da função) e o x_3 o limite máximo da função.

Posteriormente, segue-se a definição dos conjuntos difusos que serão *inputs* e os *outputs* do sistema de inferência e a definição das funções de pertença.

Uma das ferramentas de auxílio nas funções de pertença é o *GUI Membership Function Editor*. Das várias funções de pertença no *Fuzzy Logic Toolbox* foram utilizadas as funções de pertença triangulares. São estas as funções que melhor se adequam na modelação do problema, além de serem as mais utilizadas nas mais variadas aplicações e que representam a variabilidade dos parâmetros.

Antes de representar as funções importa definir o *range* das variáveis, correspondente ao eixo dos x, pelo conjunto de intervalo entre 0 a 10 e, de seguida, definidos os conjuntos *fuzzy* para cada um dos termos linguísticos das variáveis.

Para a variável de entrada S, foram definidas cinco funções de pertença triangulares (tab. 18). Os parâmetros dos termos linguísticos da variável são:

Tabela 18 - Definição das funções de pertença para a variável Severidade (S) (fonte: elaboração própria).

Variável	Tipo de Função	Função de Pertença
Nenhuma	Triangular	[0, 0, 2.5]
Baixa	Triangular	[0, 2.5, 5]
Média	Triangular	[2.5, 5, 7.5]
Alta	Triangular	[5, 7.5, 10]
Perigosa	Triangular	[7.5, 10, 10]

Para a variável O foram definidas cinco funções de pertença triangulares (tab. 19). Os parâmetros dos termos linguísticos da variável são definidos por:

Tabela 19 – Definição das funções de pertença para a variável Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria).

Variável	Tipo de Função	Função de Pertença
Quase impossível	Triangular	[0, 0, 2.5]
Baixa	Triangular	[0, 2.5, 5]
Média	Triangular	[2.5, 5, 7.5]
Alta	Triangular	[5, 7.5, 10]
Quase certa	Triangular	[7.5, 10, 10]

Quanto à variável de entrada D foram definidas cinco funções triangulares (tab. 20). Os termos linguísticos associados a estas variáveis são, portanto:

Tabela 20 - Definição das funções de pertinência para a variável Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria).

Variável	Tipo de Função	Função de Pertinência
Quase certa	Triangular	[0, 0, 2.5]
Alta	Triangular	[0, 2.5, 5]
Média	Triangular	[2.5, 5, 7.5]
Baixa	Triangular	[5, 7.5, 10]
Quase impossível	Triangular	[7.5, 10, 10]

Quanto à caracterização das variáveis de saída do primeiro modelo e, por consequente será também de entrada no segundo modelo, e a variável de saída do segundo modelo (RPN) tem-se a seguinte caracterização (tab. 21, tab. 22):

Tabela 21 - Definição das funções de pertinência para a variável Risco (R) – Modelo 1 (fonte: elaboração própria).

Variável	Tipo de Função	Função de Pertinência
Baixa	Triangular	[0, 0, 100/3]
Média	Triangular	[0, 100/3, 200/3]
Alta	Triangular	[100/3, 200/3, 100]
Crítica	Triangular	[200/3, 100, 100]

Tabela 22 - Definição das funções de pertinência para a variável RPN (RPN) – Modelo 2 (fonte: elaboração própria).

Variável	Tipo de Função	Função de Pertinência
Baixa	Triangular	[0, 0, 1000/3]
Média	Triangular	[0, 1000/3, 2000/3]
Alta	Triangular	[1000/3, 2000/3, 1000]
Crítica	Triangular	[2000/3, 1000, 1000]

Quanto à variável de saída optou-se por quatro funções triangulares para definir o RPN. O range para a variável de saída é definido pelo conjunto de intervalo [0, 1000], para que seja possível a comparação entre o RPN obtido pelo modelo *Fuzzy-FMEA* com o obtido apenas com FMEA.

Representando graficamente as variáveis definidas nas tabelas 18 a 22 tem-se a representação para a severidade (fig. 26), ocorrência (fig. 27), Risco (fig. 28), Detetabilidade (fig. 29) e RPN (fig. 30).

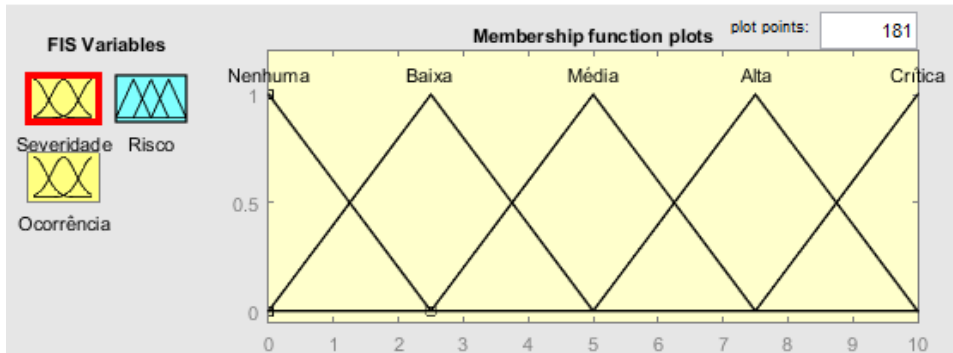


Figura 26 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Severidade (S) (fonte: elaboração própria).

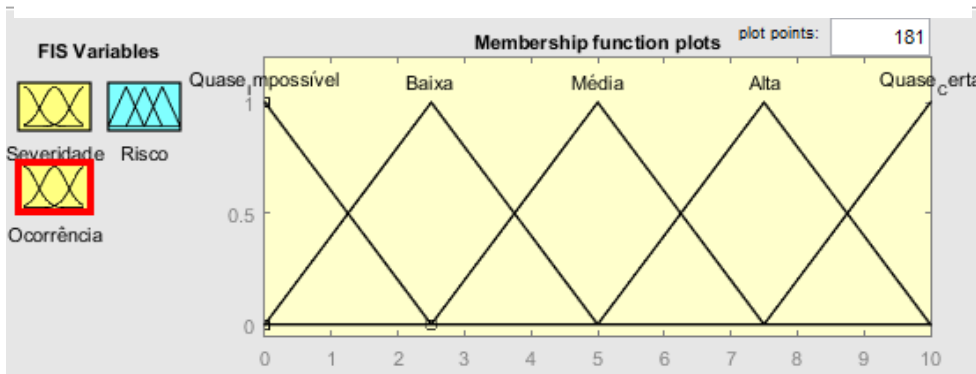


Figura 27 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Ocorrência (O) (fonte: elaboração própria).

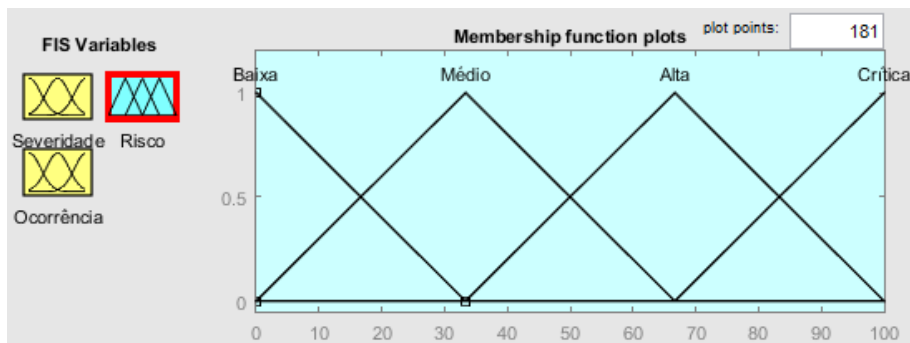


Figura 28 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Risco (R) (fonte: elaboração própria).

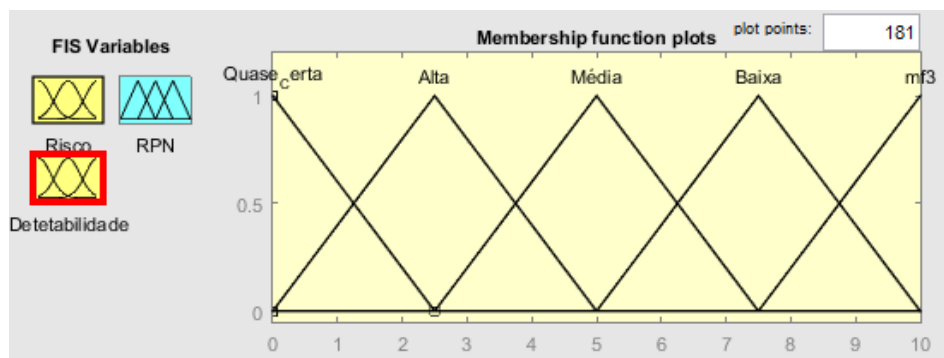


Figura 29 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Detetabilidade (D) (fonte: elaboração própria).

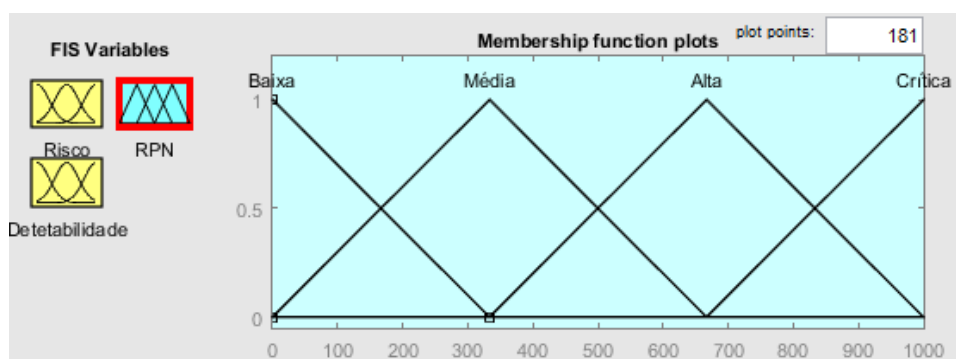


Figura 30 - Representação gráfica das FP dos conjuntos difusos de Risk Priority Number (RPN) (fonte: elaboração própria).

4º Passo - Regras de Inferência:

Concluída a etapa de definição das funções de pertinência, importa definir as regras de inferência *fuzzy* que correlacionam as variáveis de entradas com as variáveis de saída. O objetivo principal da construção de uma base de regras de inferência deve-se à codificação do conhecimento dos especialistas para que o modelo proposto seja capaz de reproduzir as capacidades do raciocínio humano na resolução de problemas complexos. Desta forma, importa que as regras apresentem veracidade com a realidade.

A construção de regras com qualidade exige tempo e uma correta avaliação e identificação das várias fontes de risco, atividades e processos. Posto isto, o primeiro ponto, e crucial para o desenvolvimento das regras, passa pela correta compreensão de todos os processos tanto quanto o necessário, aliada com a experiência pessoal na indústria e no desenvolvimento de projetos, nas perspectivas de mercado e do consumidor, baseado em conhecimento dos especialistas da área, entrevistas e discussões informais.

No primeiro modelo, na qual se mede a relação entre a Ocorrência e a Severidade (Impacto) as regras são formuladas da seguinte forma:

IF ocorrência é X **AND** Severidade é Y **THEN** nível de risco é Z

Para a formulação das regras recorreu-se à construção de uma Matriz Probabilidade-Risco representada na tabela 23.

Tabela 23 - Matriz Probabilidade-Risco entre Ocorrência e Severidade (fonte: elaboração própria).

	Quase impossível	Baixa	Média	Alta	Quase certa
Nenhuma	B	B	B	B	B
Baixa	B	B	B/M	B/M	B/M
Média	B	B/M	M	M/A	M/A
Alta	B	B/M	M/A	A	A/C
Perigosa	B	B/M	M/A	A/C	C

B – Baixo. M – Médio, A - Alto, C - Crítico

Da matriz acima, resulta um total de 37 regras de inferência.

Da igual forma se procedeu na formulação das regras do segundo passo do modelo, representada na tabela 24.

Tabela 24 - Matriz Probabilidade-Risco entre Risco e Detetabilidade (fonte: elaboração própria).

	Quase certa	Alta	Média	Baixa	Quase impossível
Baixo	B	B	B	B	B
Médio	B	B	B/M	B/M	M
Alta	B	B/M	M	M/A	A
Crítica	B	B/M	M/A	A/C	C

B – Baixo. M – Médio, A - Alto, C - Crítico

Resultando num total de 27 regras. Ao todo o Sistema de Inferência *Fuzzy* rege-se por 64 regras lógicas que se encontram apresentadas no Anexo III da presente dissertação.

5º Passo - Simulação do Modelo em *Matlab*

Após a definição das variáveis em estudo e das respetivas funções de pertença e das regras de inferência segue-se a construção do modelo em *Matlab* 2015R, mais concretamente da ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox*.

O primeiro passo consiste na introdução dos *inputs* em cada um dos modelos e respetiva recolha dos *outputs*.

O método a aplicar dos dois sistemas de inferência difusa é o de *Mamdani* por se tratar de um método intuitivo, de fácil aplicação e devido à sua semelhança com o raciocínio humano. Dentro do Modelo de *Mamdani* existem dois métodos de cálculo do RPN: através do min-máx e prod-max. Baseado na revisão literária o Método de Inferência min-máx de *Mamdani* é o que melhor representa as características do sistema, sendo o operador min usado na conjugação de regras e para operações de implicação. O resultado desta avaliação é o conjunto de conclusões *fuzzy* que refletem os efeitos de todas as regras cujo valor de verdade é maior que zero. Já as saídas são agregadas através do operador máx. Assim, no *Fuzzy Logic Designer* foram criados dois sistemas segundo o método de *Mamdani* (fig. 31, fig. 32).

Para o *output* (RPN) foram definidos quatro termos bem como um conjunto de funções triangulares. Quanto ao método de *desfuzzificação* foi usado o *Centroid* de *Yager* por ser o método comum de utilização em aplicações semelhantes.

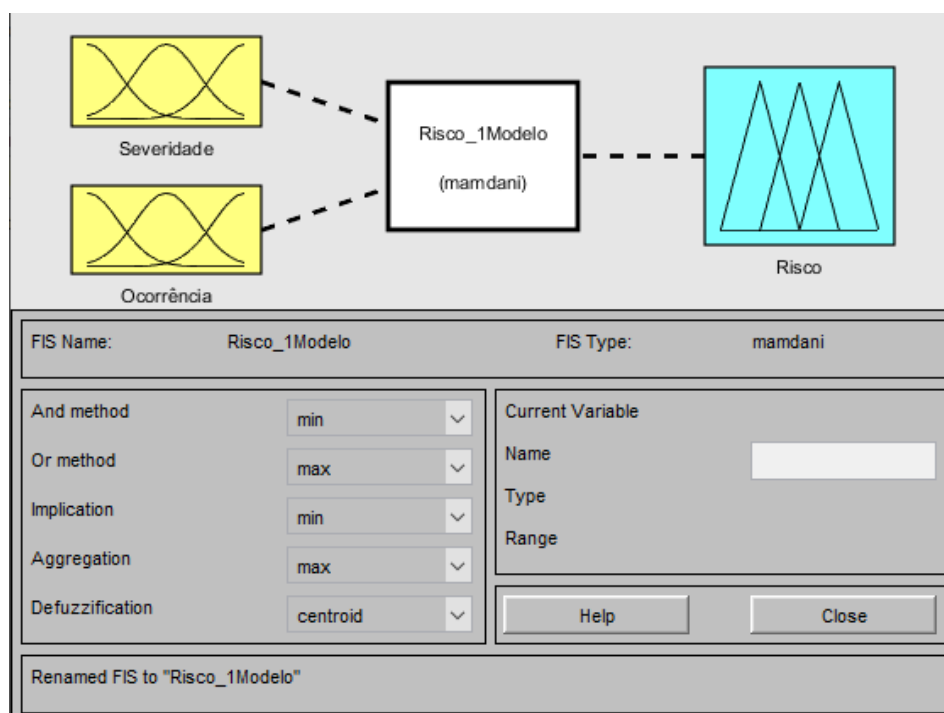


Figura 31 - Sistema de Inferência 1: Risco (fonte: elaboração própria).

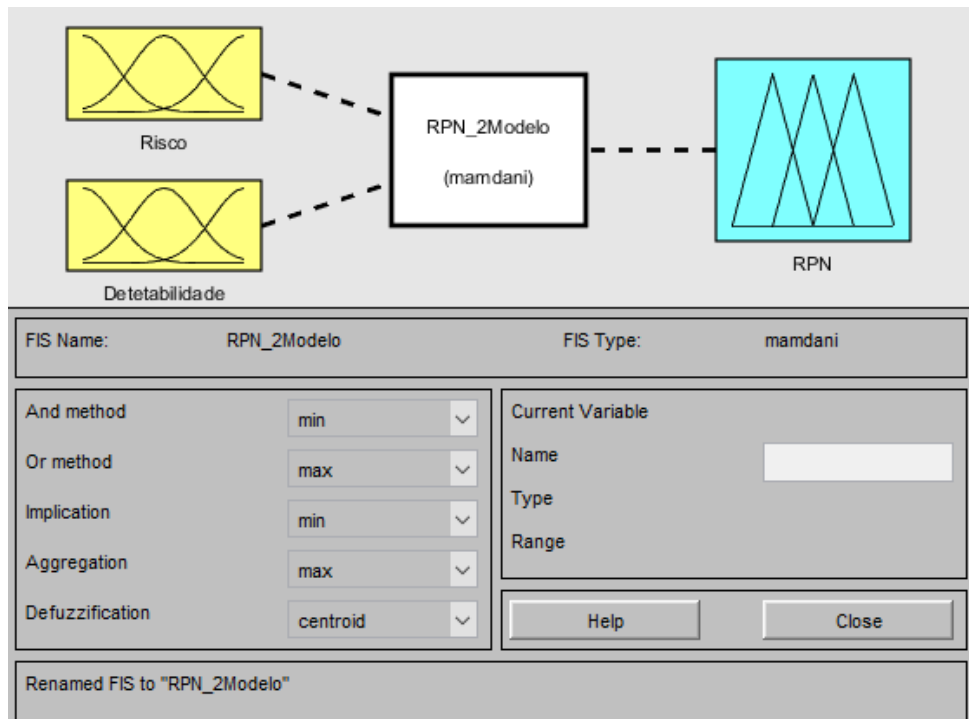


Figura 32 - Sistema de Inferência 2: RPN (fonte: elaboração própria).

No editor *Membership Function Editor* (fig. 33, fig. 34) introduziu-se as funções de pertença segundo os valores das tabelas 18 a 22:

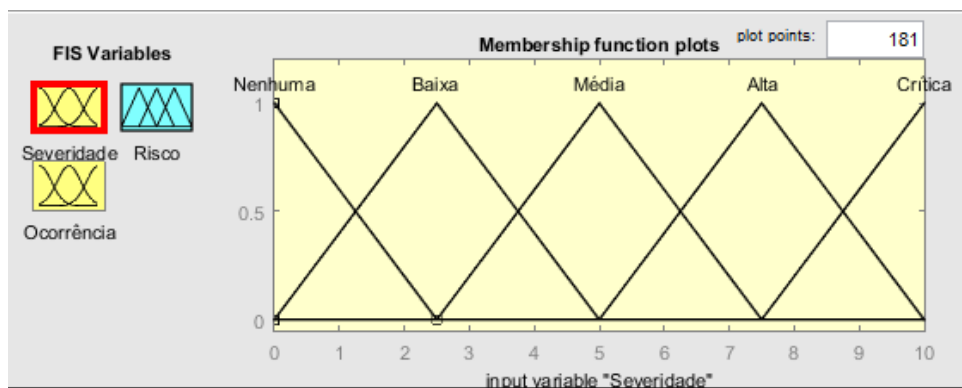


Figura 33 - Representação das FP de Severidade (S) (fonte: elaboração própria)

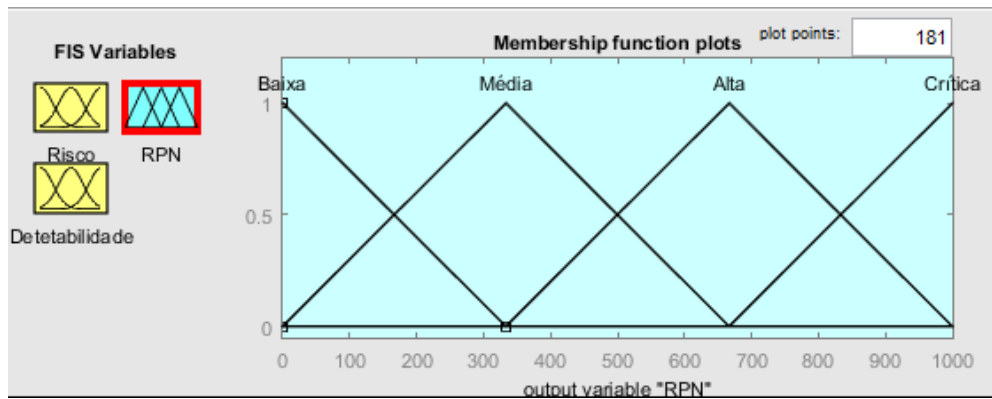


Figura 34 - Representação das FP de RPN (fonte: elaboração própria)

Após a introdução da informação relativa às variáveis de entrada e saída do sistema, segue-se a introdução das regras de inferência no comando *Rule Editor* (fig. 35, fig.36) para os dois modelos:

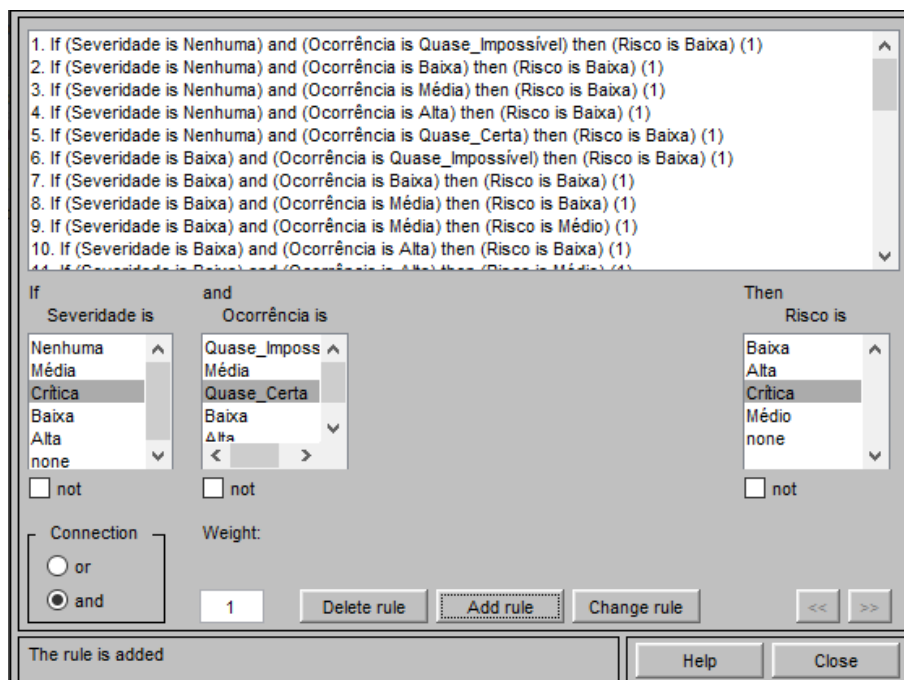


Figura 35 - Introdução das Regras de Inferência: Modelo 1 (fonte: elaboração própria)

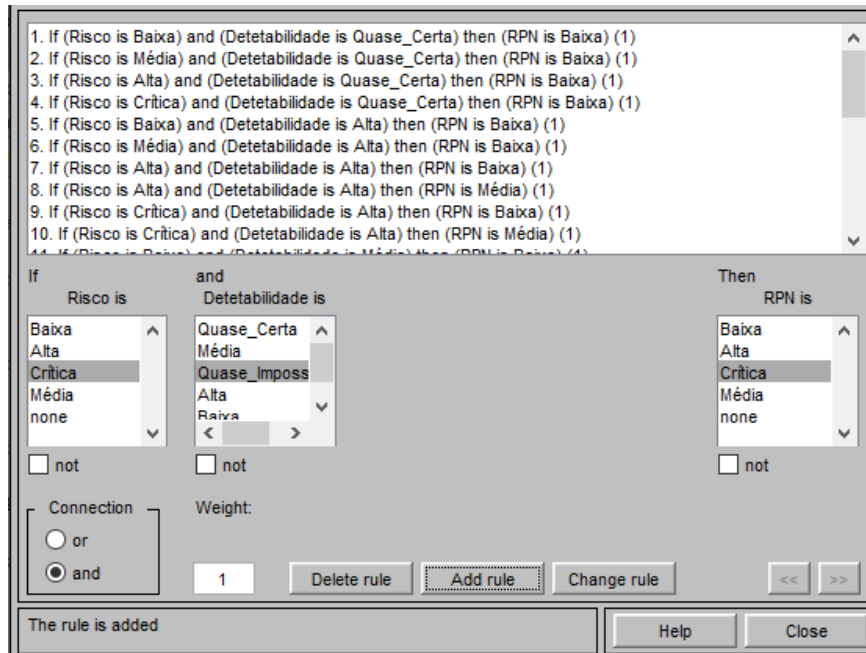


Figura 36 - Introdução das Regras de Inferência: Modelo 2 (fonte: elaboração própria)

As regras *fuzzy* podem ser representadas sob três tipos de formatos: sintaxe completa em inglês, notação simbólica concisa ou uma notação indexada. Neste caso em particular optou-se pela sintaxe completa em inglês.

Caracterizados os modelos de simulação, no comando *Surface Viewer* é possível gerar uma superfície em 3D a partir das variáveis de entrada e a saída de um SIF (fig. 37, fig. 38). O gráfico obtido e apresentados correlaciona as variáveis de entrada aos pares, com a variável de saída. Os valores de RPN *fuzzy*-FMEA mais elevados são representados pelas cores mais claras (amarelo) e os valores mais baixos pelas cores escuras (azul).

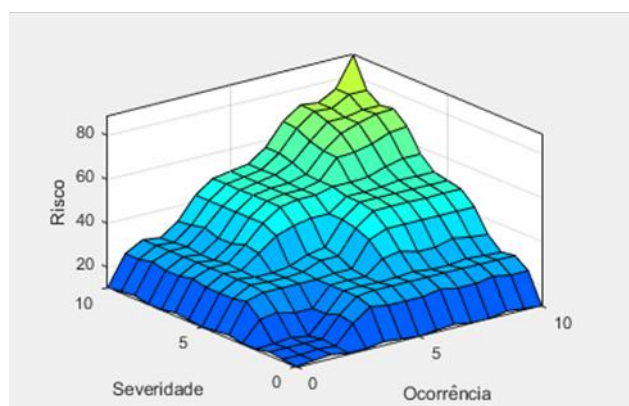


Figura 37 - Superfície Risco_1Modelo (fonte: elaboração própria)

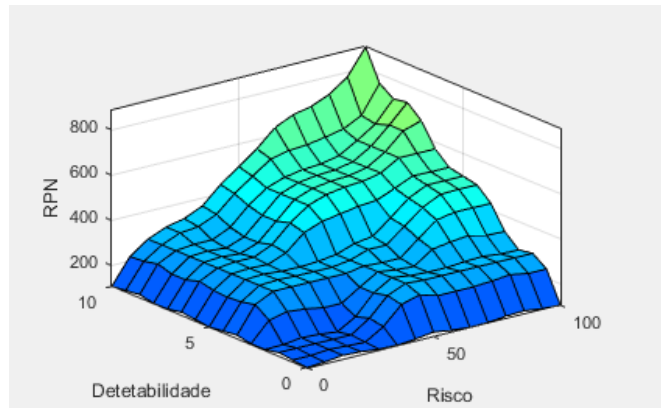


Figura 38 - Superfície RPN_Modelo (fonte: elaboração própria)

No comando *Rules Viewer* é possível visualizar o comportamento detalhado de um SIF para ajudar a diagnosticar qual o comportamento de regras específicas ou estudar o efeito das variáveis de entrada sobre a variável de saída. É neste comando que serão introduzidos os valores recolhidos na FMEA e obtido o *output* de Risco e RPN (fig. 39).

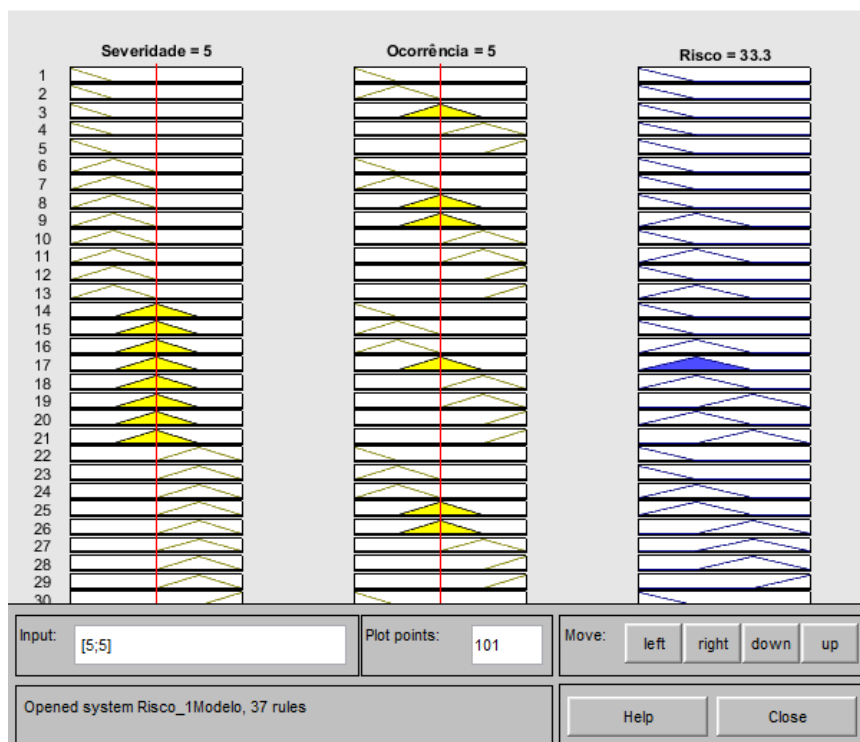


Figura 39 - Introdução dos inputs obtidos através da FMEA no Rule Viewer (fonte: elaboração própria)

No Anexo II encontra-se o código de implementação dos sistemas em *Matlab*.

6º Passo - Tratamento dos resultados do SIF

O sexto passo, e último, consiste na interpretação da informação obtida pelo SIF e avaliação do impacto que um dado evento tem sobre o projeto. Primeiramente, importa conhecer qual a escala de utilização do mesmo e a importância que este apresenta no processo de tomada de decisão. É sabido pelos demais projetos que a utilização de uma só ferramenta como suporte de tomada de decisão pode ser um erro fatal para o projeto e para a sustentabilidade da organização sendo, na maioria das vezes, recomendado a utilização de mais do que uma ferramenta de análise.

Além disso, na tentativa de eliminar a ocorrência de erros devem ser incluídos todos os elementos necessários para a realização do projeto, independentemente da sua importância. Quanto mais especialistas pertencerem à equipa mais próximo da realidade será desenvolvido o FMEA, mais cenários de risco serão identificados, mais controlos poderão ser introduzidos e, portanto, mais estável será conduzido o processo. Importa destacar que a utilização destas quatro variáveis é feita ao invés de dez (visto serem dez as áreas de conhecimento da Gestão de Projetos) pois, quanto maior o número de variáveis envolvidas no estudo mais complexo será o sistema e mais difícil será a decisão do gestor de projeto.

Modelo 1

- Nível de risco das variáveis (A, C, T, Q).
- Valor da Ocorrência constante
- Risco (Modo de Falha) = Máximo Risco (A, C, T, Q).

Modelo 2

- Risco (Modo de Falha) = Máximo Risco (A, C, T, Q) - obtido no Modelo 1.
- Valor de Detecção depende da experiência dos especialistas.
- Valor de *Risk Priority Number* (RPN)

Para tratar a informação obtida através da experiência de especialistas é criada uma base de regras que descreve o grau de risco de cada combinação das variáveis de entrada, a fim de criar interações entre os diversos modos de falha e os efeitos, representados por um conjunto de regras *IF-THEN*. Tal como referido no capítulo 3, *IF* refere-se a um antecedente que é comparado com as entradas e *THEN* refere-se a um conseqüente, aos resultados. Todas as regras que contenham verdade no antecedente contribuirão para o conjunto de conclusões vagas. Ao proceder à avaliação do risco através do modelo *fuzzy* é possível representar a severidade de uma falha através da gravidade, a probabilidade da falha através da ocorrência e o quão difícil é detetar a falha através da deteção. Regras baseadas neste tipo de variáveis linguísticas são expressivas e

naturais do que comparadas com o RPN e com a criticidade dos cálculos numéricos. Além disso, as regras permitem a combinação de dados quantitativos – como a probabilidade de falha –, com dados subjetivos e qualitativos (Severidade e Detecção) uniformemente.

Na figura 40 encontra-se esquematizado o modelo desenvolvido de avaliação do risco.

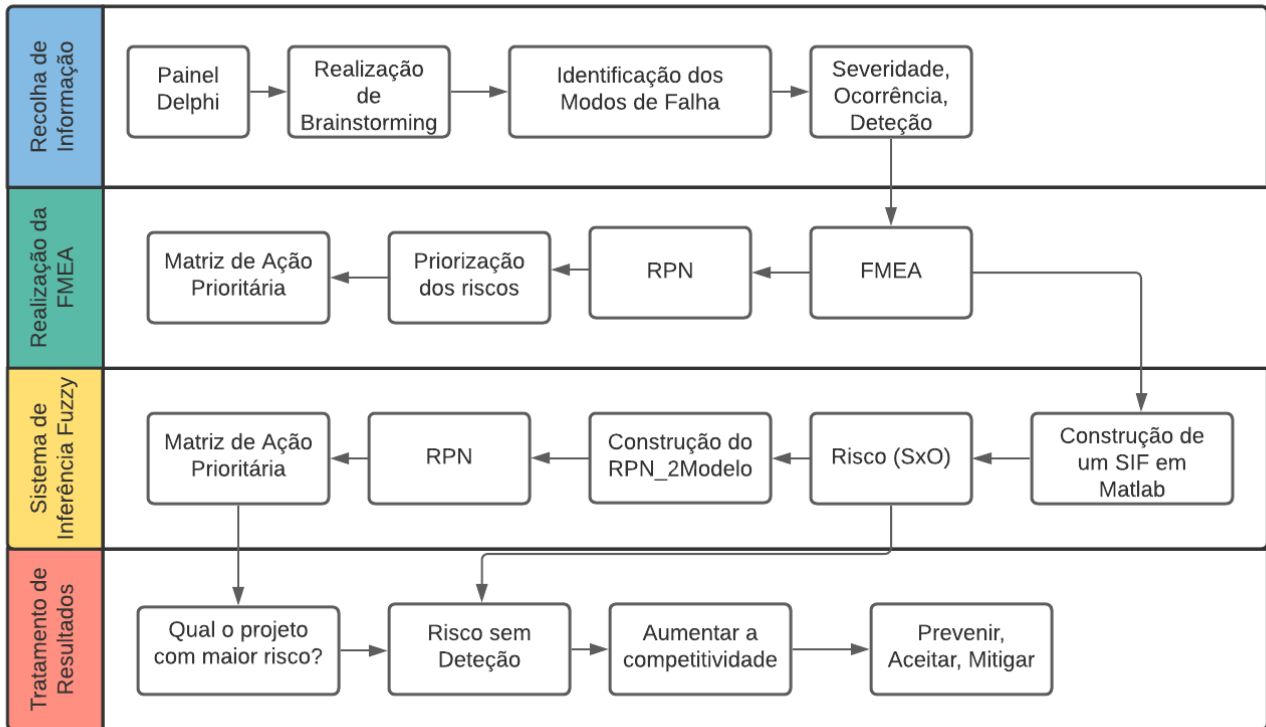


Figura 40 - Representação do processo de avaliação do risco (fonte: elaboração própria).

Por fim, na figura 41 encontra-se representado a síntese do modelo desenvolvido. Ressalva importante, quer-se referir que os inputs do modelo em *Matlab* são os valores de S, O, D obtidos a partir da FMEA sendo que S e O serão primeiramente *fuzzificados* e *desfuzzificados* de forma a obter um valor de Risco e, seguidamente, serão novamente *fuzzificados* e *desfuzzificados* relacionando com o valor de D obtendo um valor de RPN.

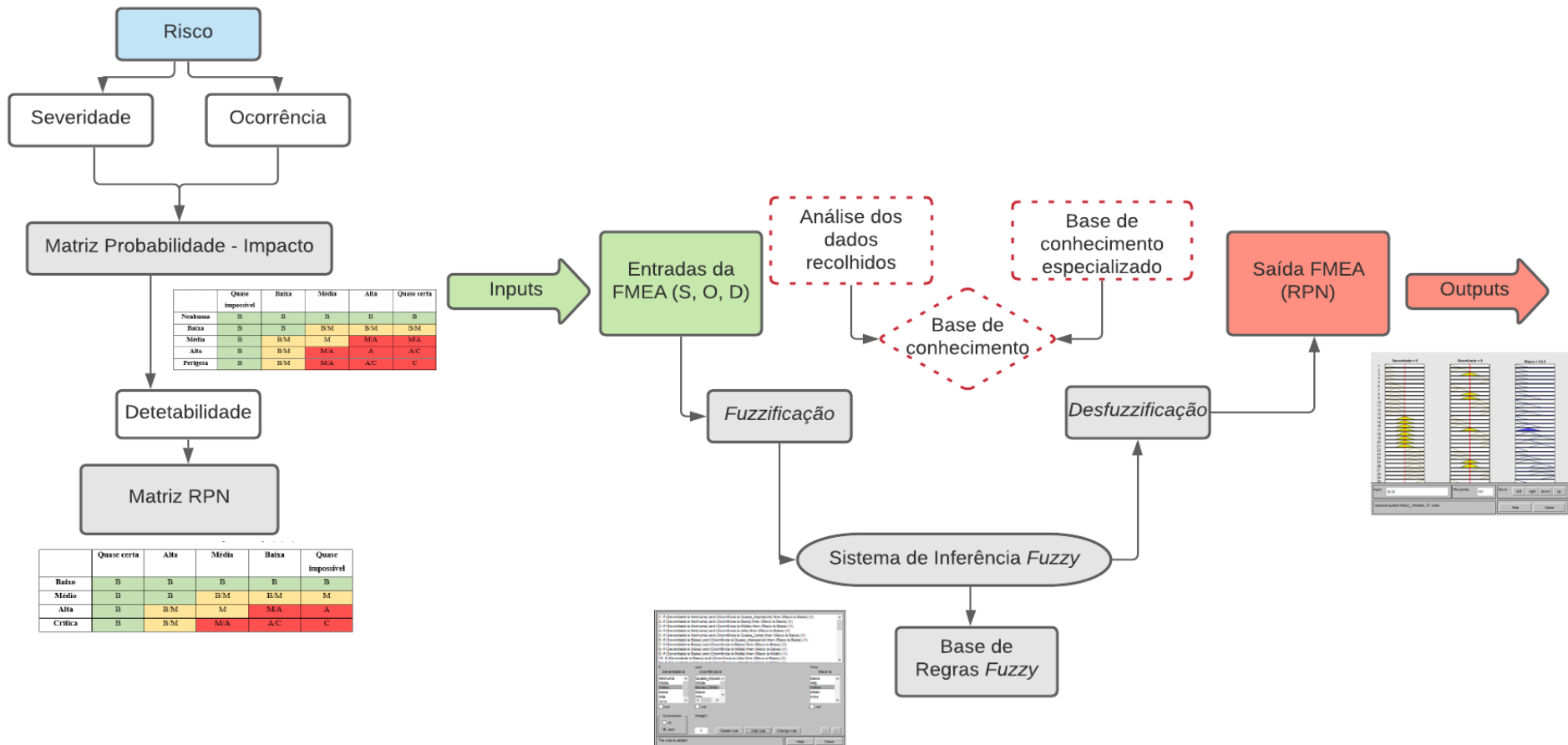


Figura 41 - Esquematização do modelo desenvolvido (fonte: elaboração própria).

5. CASO DE ESTUDO

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento da consciencialização ambiental por parte dos consumidores devido às variadas problemáticas ambientais, alterações climáticas e ao consumo energético. A sociedade tem enfrentado um novo paradigma energético com o esgotamento de fontes de energia primárias, na instabilidade da decorrente dependência energética com as diferentes economias e no agravamento dos problemas ambientais resultantes do aumento das emissões de gases poluentes.

O esgotamento dos recursos energéticos de origem primária associado a um aumento da procura global, especialmente em países emergentes como a China, traduziu-se no aumento do preço do barril do petróleo.

Os transportes para além de serem um dos maiores consumidores e dependentes de energia, são responsáveis pela emissão de gases poluentes para a atmosfera. O consumo de combustíveis fósseis é problemático em termos económicos e de segurança, mas, também, por ser uma das principais causas do aumento de gases com efeito de estufa como o dióxido de carbono.

O principal desafio energético para este setor consiste na diminuição da dependência energética do petróleo e na diversificação das fontes de energia primárias, reduzindo consequentemente a emissão de gases poluentes.

Para *Brons et al.* (2006), por razões político e ambientais, os diferentes estudos desenvolvidos sobre a procura de combustíveis apenas se restringiu ao fator preço. Estes autores desenvolvem um estudo meta analítico que avalia a elasticidade preço-procura dos combustíveis (*Brons & et al*, 2006). Este estudo concluiu que a alteração de preço dos combustíveis apresente um impacto pouco significativo no produto e que esta é influenciada, de forma indireta, pela melhoria da eficiência dos veículos automóveis, pela redução da utilização do veículo (número de quilómetros percorridos) e pela utilização de meios de transporte alternativos em detrimento do automóvel pessoal. *Richardson* (2013) defende que a procura de combustíveis é inelástica face ao preço, o aumento do mesmo não será efetivo na redução do consumo de combustíveis.

O mercado nacional de combustíveis tem vindo a registar quebras sucessivas ao longo dos últimos anos resultado do enquadramento económico desfavorável, da quebra do poder de compra dos consumidores e dos compromissos ambientais assumidos pela indústria automóvel que conduziram ao desenvolvimento de motores de combustão mais eficientes (*Richardson*, 2013).

Na perspectiva da sustentabilidade, é desejável que as empresas promovam o consumo eficiente dos recursos que têm disponíveis, fazendo uma boa gestão do uso e desperdício de recursos naturais inerentes às suas atividades comerciais adotando práticas eficientes, nomeadamente, reciclagem e reutilização de materiais, redução de desperdício de água e poluição do ar e solos, adoção de políticas energeticamente sustentáveis, uso de produtos e processos ecológicos e boa gestão dos seus resíduos (IEA, 2021).

O Governo interfere em grande peso, aplicando normas que forcem a adoção a medidas de preservação dos recursos naturais preservando a qualidade de vida (Wilkinson, Hill, & Gollan, 2001) mas acredita-se que a regulação ambiental pode prejudicar a competitividade das empresas no mercado uma vez que determinadas normas podem influenciar negativamente alterações inovadoras de expansão que as empresas possam vir a necessitar de incrementar.

Na figura abaixo estão representados alguns dos incentivos governamentais sobre esta temática. Como podemos observar a maioria dos países apresenta compensações monetárias aos consumidores que aderirem aos VE – sendo o Canadá, China e os EUA os mais compensatórios, explicando o facto de serem os mais consumidores deste setor (Global, 2022).

Quanto à Europa têm sido crescentes os incentivos aos consumidores para a aquisição de VE, especialmente em países como a Noruega cuja meta é em 2025 as vendas de carros ser exclusivamente elétrica (fig. 42).

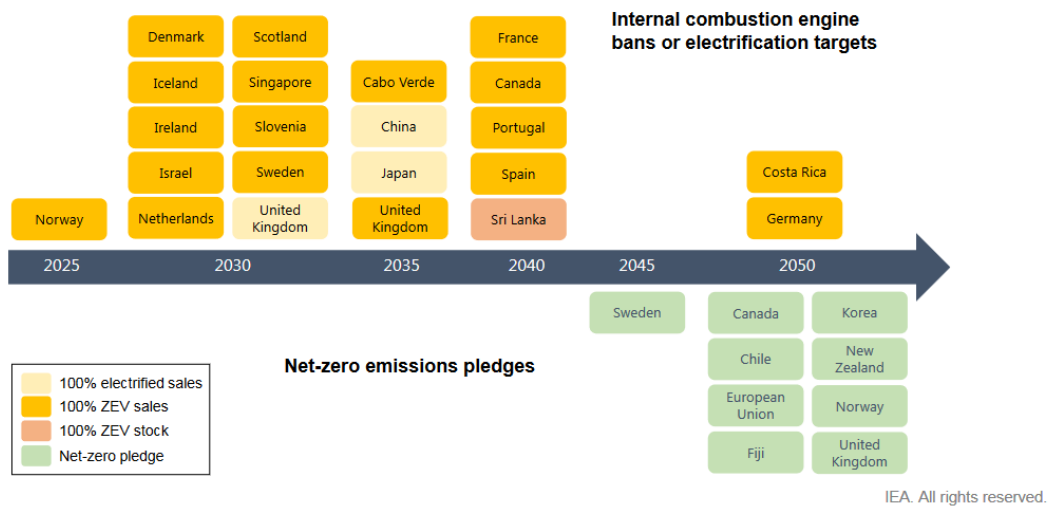


Figura 42 - Perspetiva de eletrificação dos diferentes países até 2050 (fonte: (IEA, 2021)).

Atualmente, estamos perante um consumidor cada vez mais exigente que reflete as mudanças de paradigma da sociedade no que concerne às suas expectativas em relação às empresas. Como tal, desde que os consumidores mudaram o foco de atenção de produtos inovadores para os sustentáveis, tornou-se fulcral, as organizações investirem na diferenciação através da sustentabilidade (Armstrong & Lehw, 2011). Estas alterações comportamentais dos consumidores levam à redefinição dos produtos por partes das empresas, tornando-os *green*. Segundo *Ginsberg & Bloom* (2004) os consumidores são forçados a fazer *trade-offs*¹³ entre os atributos e sustentabilidade dos produtos, e a maioria dos consumidores sacrifica as suas necessidades por se tratar de um produto verde.

Este método de gestão, não só melhora a reputação da empresa promovendo as suas capacidades, como também ajuda a aumentar a sua competitividade (Aragon-Correa & Sharma, 2003)

Desta forma, as empresas procuram lançar produtos inovadores e diferenciadores, com possibilidade de penetração em novos mercados e na conquista de novos consumidores.

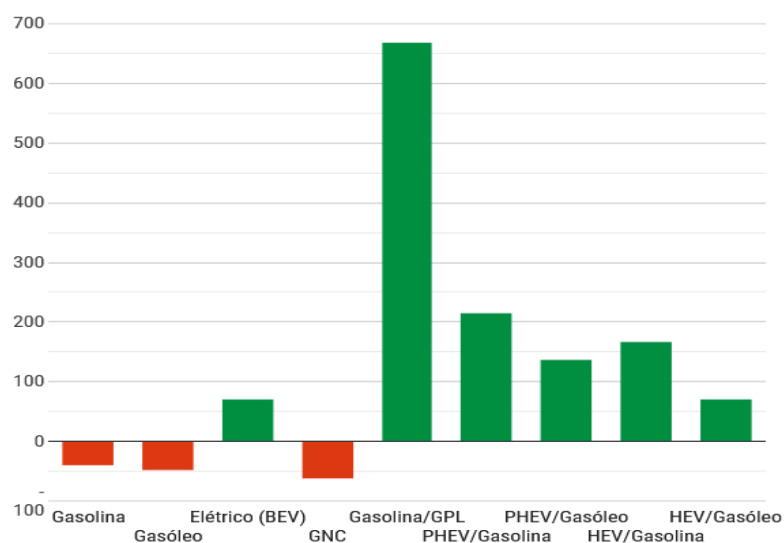
5.1. Caracterização do Setor dos Carros Elétricos

O estudo realizado pelo *World Business Council for Sustainable Development* (2004) afirma que a posse de veículos comerciais ligeiros pode aumentar, aproximadamente, de 700 milhões para 2 biliões no período entre 2000 a 2050. Esses mesmo veículos representam, aproximadamente, 10% do uso global da energia e emissão de gases com efeito de estufa. Estes dados dão ênfase à necessidade de apostas alternativas sustentáveis, que considerem as alterações climáticas e a diminuição da qualidade do ar.

Debitemos resultados do mês de dezembro de 2021. Segundo o *Jornal Publico*, o ano de 2021 foi visto como um “ano de estagnação” do setor automóvel. De acordo com os dados divulgados pela Associação Automóvel de Portugal (ACAP) foram vendidos, num total, “13.614 veículos puramente elétricos (BEV) em 2021”, ou seja, mais “5500 do que em 2020” resultando numa subida de 68.3%. Sabe-se ainda, que o segmento mais comprador de BEV foram as empresas, devido a incentivos por parte do Estado através da “atribuição de um incentivo pago pelo Fundo Ambiental”.

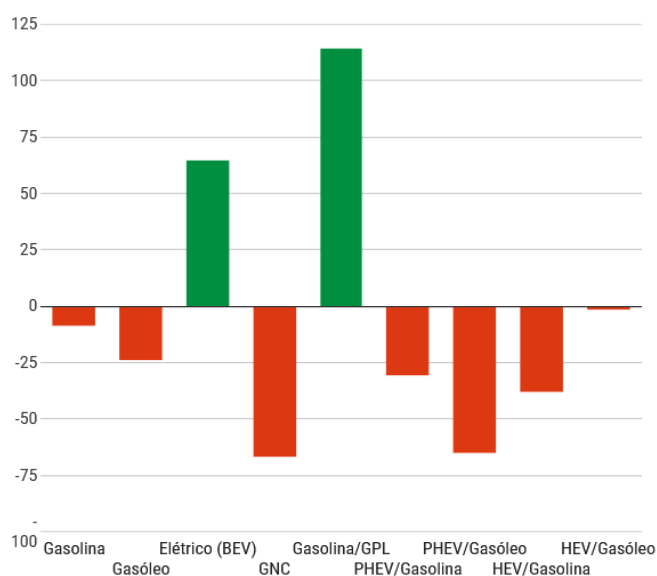
¹³ *Trade-offs*: conflito de uma escolha e uma conseqüente relação de compromisso. Também designado como custo de oportunidade (fonte: (Significados, 2021)).

Fazendo a comparação de vendas de BEV de dezembro de 2020 e dezembro de 2021 é notório o crescimento do setor, apesar de o ano 2020 ter sido fortemente marcado pela crise dos *microchips*.



Fonte: ACAP.

Figura 43 - Representação gráfica do número de carros ligeiros matriculados em dezembro de 2020 em Portugal classificados pela sua topologia (fonte: AutoInforma)



Fonte: ACAP.

Figura 44 - Representação gráfica do número de carros ligeiros matriculados em dezembro de 2021 em Portugal classificados pela sua topologia (fonte: AutoInforma)

De forma a compreender a situação atual sentida no setor dos BEV importa conhecer o histórico dos últimos dois anos. No ano de 2019 registou-se um aumento face ao ano 2018 de 9% embora se tenha registado uma diminuição drástica das vendas de durante a segunda metade do

ano na China e nos EUA. Contudo, na Europa registou-se uma procura 44% superior em virtude dos fortes incentivos governamentais em países como Noruega, Dinamarca (IEA, 2021).

Após uma década de rápido crescimento, em 2020 o stock global de BEV atingiu os 10 milhões. A China tem até à data cerca de 4.5 milhões de BEV. Porém, no ano de 2020, verificou-se um crescimento acentuado atingindo os 3.2 milhões de veículos. Apesar de ser um ano bastante fustigado pela crise mundial devido à pandemia Covid-19, verificou-se um aumento significativo durante o segundo semestre do ano tendo a quota global de vendas de BEV aumentado 70%. Ao todo foram registados 3 milhões de novos BEV: 1.4 milhões na Europa, 1.2 milhões na China e 295 000 nos EUA (IEA, 2021).

São vários os fatores que contribuíram para o crescimento significativo destes números, tornando o mercado dos carros elétricos cada vez mais apetecível pelas principais marcas do setor automóvel e, por consequentemente, tornando-se cada vez mais competitivo.

No ano de 2020 – fortemente marcada pela pandemia mundial Covid-19 - não se registou um grande crescimento no setor automóvel. Apesar da recessão económica desses anos, as vendas globais de VE foram surpreendentemente positivas e aumentaram 43% face às de 2019, conquistando uma quota de mercado global da indústria automóvel elétrica de 4.6% (fig. 45) (IEA, 2021).

More than 10 million electric cars were on the world's roads in 2020 with battery electric models driving the expansion

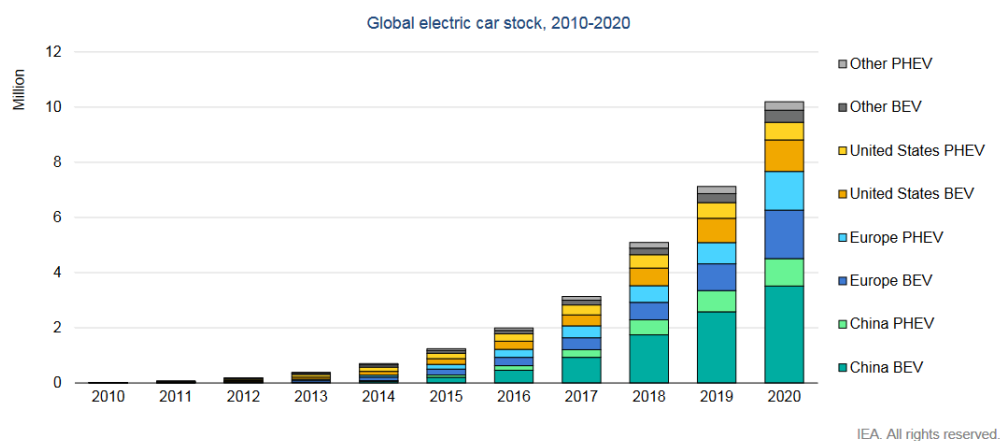


Figura 45 - Representação gráfica da distribuição da tipologia de veículo por país (fonte: IEA)

O facto de os governos assumirem um compromisso de descarbonização, 2021 foi o ano de mudança na história de vendas de BEV e é expectável que sejam vendidos 6.4 milhões de veículos (incluindo BEV e PHEVs combinados) até ao final do ano, representando um aumento

de 98%. No gráfico apresentado na figura 43 é possível observar a evolução das vendas do setor elétrico (Global, 2022).

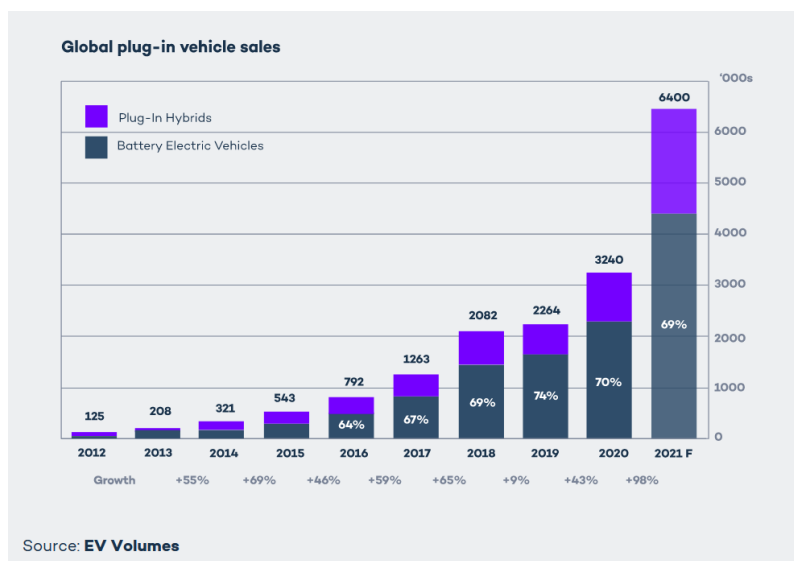


Figura 46 - Representação das expectativas de vendas de VE (fonte: (Global, 2022)).

No ano de 2020 verificou-se um crescimento acentuado em termos de vendas de BEV – o mercado está a crescer, em velocidade cruzeiro e por todo o mundo (fig. 46). Os fabricantes automóveis tem respondido de forma positiva às mudanças em curso no mercado – por exemplo, a *Volkswagen* tomou uma forte posição no sentido de eletrificar o mercado automóvel, sendo que os seus concorrentes japoneses, americanos e europeus estão a seguir o exemplo (Global, 2022).

A Iniciativa Veículos Elétricos (EVI) consiste numa política multi-governamental criada no ano de 2010 no âmbito da conferência Ministerial de Energia Limpa (CEM). Baseado nas oportunidades por detrás dos BEV, o EVI pretende compreender os desafios políticos relacionados com a mobilidade elétrica, auxiliar os governos no processo de descarbonização, além de ser uma plataforma de partilha de conhecimentos (IEA, 2021).

Por outro lado, os serviços públicos e a empresas do setor energético tem aumentado o seu investimento em infraestruturas de carregamento de BEV – oscilando entre carregamentos lentos a carregamentos rápidos. Países como a Alemanha, França, Reino Unido e Espanha tem a maioria dos carregadores lentos existentes no mercado (IEA, 2021).

Segundo a EIA, a maioria dos carregamentos de BEV é feita em casa ou no trabalho e, portanto, a implementação do acesso público a postos de carregamento é fundamental para o sucesso de projetos deste âmbito. Sabe-se que em 2020 existiam dispersos 1.3 milhões de unidades de carregamento, das quais 30% seriam postos *fast charger* (fig. 47). Em relação ao ano de 2019, em que se verificou um aumento de 85% face ao ano de 2018, no ano de 2020 o aumento

foi inferior registando o valor de 45% devido à interrupção de laboração em mercado-chave por circunstâncias pandémicas (IEA, 2021).

Publicly accessible slow and fast chargers increased to 1.3 million in 2020

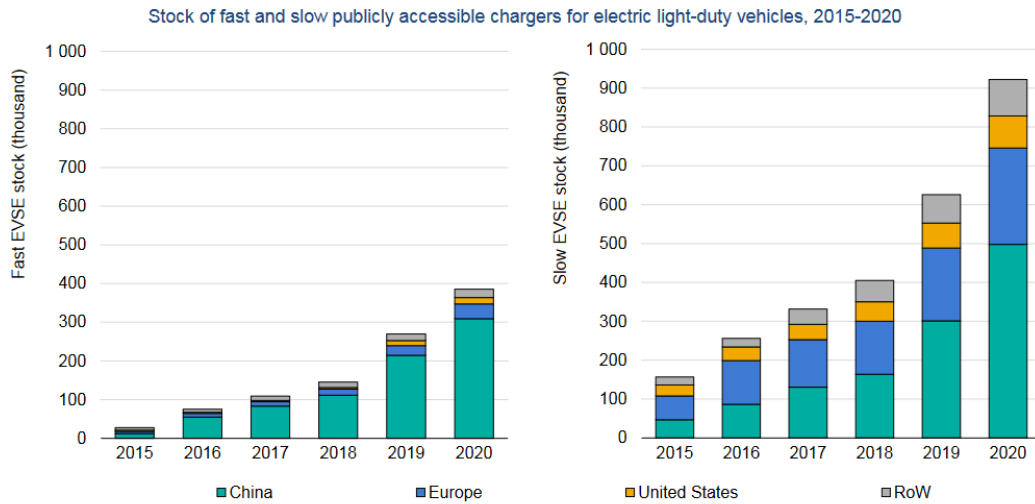


Figura 47 - Evolução por ano da quantidade de estações públicas de carregamento entre 2015 e 2020 (fonte: (IEA, 2021)).

No ano de 2020 verificou-se a existência de 370 modelos de BEV no mundo – registando um aumento de 40% face a 2019. O mercado que apresenta maior oferta de veículos deste âmbito é a China, apesar de na Europa o número de vendas ter duplicado e ultrapassado o mercado asiático (IEA, 2021).

Na figura 48 encontra-se representada a oferta de modelos pelas vinte principais marcas a atuar no setor. É notória a forte aposta das organizações num mercado cada vez mais inovador, exigente, competitivo e promissor – nenhuma marca tem como objetivo a perda de capital nem de mercado até então conquistada (IEA, 2021).

18 of the 20 largest OEMs have committed to increase the offer and sales of EVs

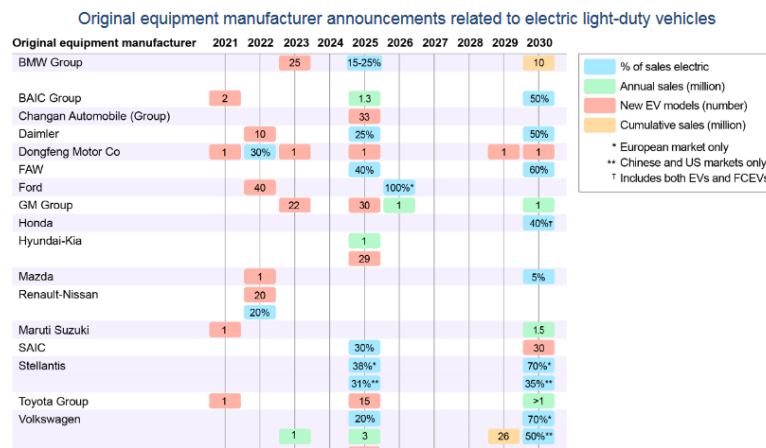


Figura 48 - Perspetiva de crescimento em modelos de VE das principais marcas a atuar no mercado (fonte: (IEA, 2021)).

Cerca de 90% das organizações tem a intenção de aumentar o número de modelos de BEV disponíveis e, inclusive, alguns fabricantes planejam reconfigurar as suas linhas de produtos a fim de produzir única e exclusivamente VE. Segundo o estudo apresentado pela IEA, este é o passo mais arriscado num projeto tão impactante: põe em risco a viabilidade da instituição, o respetivo posicionamento no mercado, para além do mercado não reconhecer valor aos produtos (IEA, 2021).

No início de 2021 a Volvo anunciou a intenção de em 2030 comercializar apenas VE, sendo também esta uma medida anunciada pela FORD. Por outro lado, a Volkswagen pretende atingir 70% das suas vendas em VE na Europa, 50% na china e nos EUA. Perspetiva-se um crescimento acentuado e significativo dos modelos deste setor (fig. 49) até 2025 (IEA, 2021).

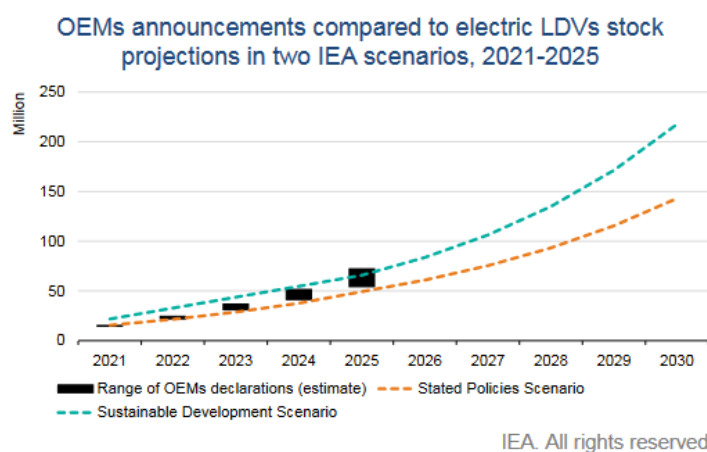


Figura 49 - Perspetiva de crescimento em modelos entre 2021 e 2025 (fonte: (IEA, 2021)).

Da notícia partilhada pelo Jornal Publico, são as empresas quem mais adquiriu VE, e em 2020 o número de VE comerciais aumentou cerca de 23%. Para além dos incentivos governamentais, a maioria das empresas dispõe nas suas instalações de estações de carregamento.

Empresas como a Amazon ou a IKEA anunciaram a renovação das suas frotas para VE, estabelecendo metas de sero emissões até aos anos de 2040 e 2025, respetivamente. Porém, é nas transportadoras como a DHL, FedEx ou a UPS que se verifica uma tendência crescente na aquisição de VE (IEA, 2021).

Apesar de as empresas reconhecerem uma poupança significativa de custo de um VE relativamente a um VCI, identificam cinco entraves à adoção deste tipo de veículos (IEA, 2021):

Top five barriers to EV adoption reported by EV100 members

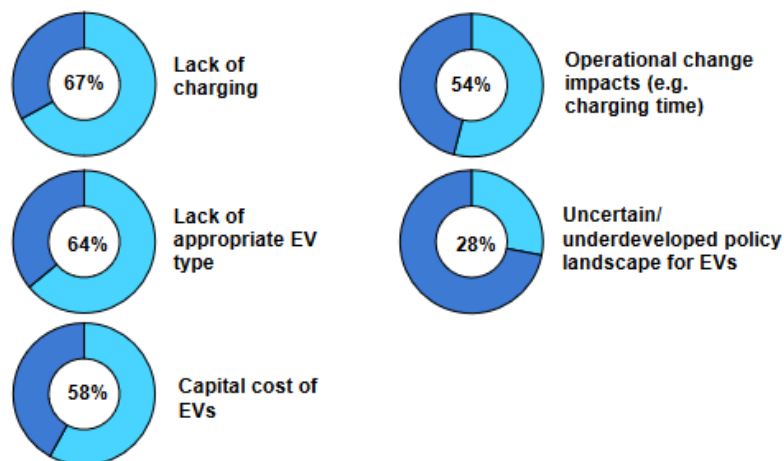


Figura 50 - Principais barreiras identificadas pelas empresas na aquisição de VE (fonte: (IEA, 2021)).

5.2. Principais Características dos Carros Elétricos

Estando os consumidores se tornarem mais conscientes e informados, a indústria automóvel tem sido desafiada a reinventar-se. Um estudo desenvolvido por *Ward et al.* (2012) confirma que o progresso tecnológico é crucial para o aumento da eficiência nas novas tecnologias de veículos. Este estudo avalia os diversos custos associados às componentes do automóvel (potência, peso, consumo energético, entre outros) nas diversas tipologias: elétrico, híbrido e convencional. A estimativa de custos e valores associados à eficiência no consumo de combustível permitem calcular a penetração das diferentes tipologias de veículos no mercado. Os autores concluíram que os desenvolvimentos associados à tecnologia automóvel permitem um decréscimo significativo ao nível dos custos associados aos veículos e aos consumos de combustíveis e, por outro lado, poderão acelerar a penetração de novas tipologias de veículos no mercado, traduzido numa redução do preço inicial e no aumento da autonomia.

Ebgue & Long (2012) dividem o mercado elétricos em três categorias:

- *Battery Electric Vehicles (BEV)*
- *Hybrid Electric Vehicles (HEV)*
- *Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEV)*

A principal diferença entre estes três tipos de VE reside no facto de os BEV funcionarem exclusivamente através de uma bateria elétrica que pode ser carregada através de uma tomada,

enquanto o HEV tem um motor de combustão interna para além de um motor elétrico. Por fim, o PHEV apresenta um pequeno motor de combustão interna e uma bateria elétrica de maior potência que pode ser recarregada.

Nas últimas três décadas, o desenvolvimento dos VE tem exigido muitos esforços e recursos, devido às oscilações constantes do preço do petróleo, políticas sobre a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera. O resultado deste esforço e investimento levou a uma melhoria incremental dos modelos mais recentes, quebrando barreiras adjacentes a este tipo de veículos.

Recentemente, em 2014, surgiram os VE a pilha de combustível (FCEVs), veículos com emissões zero e que convertem hidrogénio utilizando uma célula de combustível para alimentar um motor elétrico. Estes correspondem a veículos com uma magnitude bastante inferior aos VE uma vez que as estações de carregamento não se encontram amplamente distribuídas tal como sucede nos elétricos, além do custo de aquisição do combustível e do preço de compra ser menos apelativo ao consumidor.

A presente dissertação pretende comparar a competitividade entre projetos de BEV e de FCEVs e concluir qual o projeto que apresenta uma taxa de risco considerada aceitável pela organização, permitindo a conquista da competitividade através dos seus produtos e, consequentemente, de quota de mercado.

Alam C. (2019) identificou uma estratégia genérica aplicada aos VE baseada no conceito de Porter. Para Alam (2019) a estratégia pode ser definida da seguinte forma:

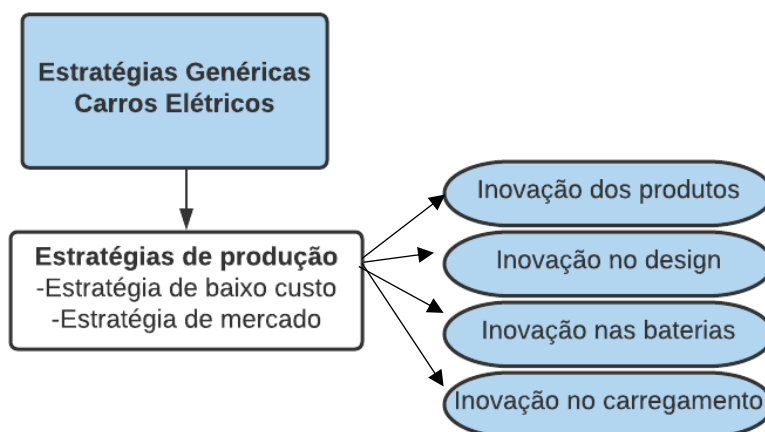


Figura 51 - Estratégias Genéricas para VE (fonte: elaboração própria, Adaptado de (Alam, 2019)).

Identificando as Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças associadas a veículos movidos a energias alternativas face aos de combustão interna tem-se:

ANÁLISE SWOT

Tabela 25 - Análise SWOT (fonte: elaboração própria).

<p style="text-align: center;">Forças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menores níveis de poluição atmosférica - Menores custos de operação e de manutenção - Menor ruído associado à deslocação do veículo - Diversidade de oferta de modelos no mercado (monovolume, familiar) - Existência de incentivos de aquisição - Maior eficiência - Travagem regenerativa: 	<p style="text-align: center;">Fraquezas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Custos de Aquisição - Autonomia limitada - Tempo de carregamento das baterias - Manutenção de problemas de congestionamento - Necessidade de garagem adequada ao carregamento das baterias - Tempo de vida útil/desgaste da bateria - Ausência de Know-how especializado por parte de mecânicos e/ou oficinas
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento de um novo segmento de mercado com potencial de crescimento - Dinamização do mercado do setor automóvel - Possibilidade de desenvolvimento de parcerias estratégicas/sinergias com outras empresas - Facilidade no alcance de metas ambientais estabelecidas pela UE - Equilíbrio da balança comercial e redução do volume de importações - Possibilidade de armazenamento de energia para alimentar a rede de distribuição nacional 	<p style="text-align: center;">Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incerteza quanto à tecnologia a adotar - Menores custos e maior flexibilidade de outras alternativas no mercado (VCI) - Modelo de negócio ainda indefinido - Necessidade de modificação de comportamentos de condução e perceções relativamente à mobilidade - Necessidade de investimento avultado em infraestruturas e redes de carregamento - Conjuntura económica desfavorável e baixo poder de compra - Dinamização dos incentivos - Crescente pressão para a utilização de transportes públicos - Evolução do preço da eletricidade - Novas alternativas de mobilidade

Sierzchula *et al.* identificou aspetos tecnológico como:

- Especificações da bateria (Lieven *et al.*, 2011; Carley *et al.*, 2013; Graham-Rowe *et al.*, 2012),
- Ruído (Skippon e Garwood, 2011)
- Confiabilidade (Schuitema *et al.*, 2013)
- Design (Burgess *et al.*, 2013)

- Especificação de emissões de gases (*Krupa et al., 2014; Jensen et al., 2013; Peters e Dütschke, 2014*)),
- Características do consumidor, como estilo de vida (*Axsen et al., 2012; Lane e Potter, 2007*)
- Educação (*Caperello et al., 2013; Moons e Pelsmacker, 2012*)
- Poder económico (*Zhang et al., 2011*)
- Preocupações ambientais (*Carley et al., 2013; Egbue e Log, 2012; Krupa et al., 2014*))
- Influências do meio – preço dos combustíveis, custos de eletricidade e o número de estações de carregamento

, como fatores que influenciam a adoção ao VE.

Dijuk et al. (2012) identificaram como um conjunto de fatores críticos ao sucesso em projetos de VE no mercado, tais como:

- Desenvolvimento adequado das infraestruturas que permitem uma utilização sem constrangimentos (rede de estações de carregamento, tempo de carregamento, entre outros).
- Mudança de mentalidade quanto à forma de encarar uma nova forma de mobilidade
- Aposta da indústria automóvel no desenvolvimento da tecnologia de baterias, do seu recarregamento e respetivo tratamento após o seu período de vida útil.
- Agravamento dos custos de energia, em particular dos combustíveis fósseis (petróleo).
- Consolidação das alterações eminentes no setor da eletricidade e desenvolvimento de redes elétricas inteligentes, como as V2G¹⁴
- Dinamização das políticas ambientais e sistemas de incentivos governamentais

Em paralelo, *Steinhilber et al. (2013)* enumeram outros fatores considerados como determinantes para o sucesso dos VE em qualquer mercado: a regulamentação política e governamental (planeamento urbano, regulação de tráfego, tarifas do setor elétrico, entre outros), o investimento no desenvolvimento de infraestruturas, incentivos para I&D tecnológico, atratividade do modelo de negócio e, finalmente, os incentivos ao consumidor. Os autores consideram que a introdução e penetração dos VE deparam-se com algumas barreiras que poderão inibir a sua proliferação nos mercados e que o seu potencial apenas será percecionado se não for encarado como um real substituto dos VCI, mas sim como um complemento à sua utilização (*Steinhilber et al., 2013*).

¹⁴ Tecnologia V2G torna possível a transferência de eletricidade armazenada nas baterias de veículos elétricos de volta à rede (Magnum Cap, 2021).

De acordo com *Richardson* (2013), a forma mais efetiva para estimar os impactos da entrada de VE no mercado, quer a nível económico como ambiental, passa pelo desenvolvimento de modelos de previsão. No entanto, no artigo de *Baha et al.* (2013), referem que estas novas tipologias de automóveis apenas foram introduzidas no mercado nos últimos anos, pelo que exigem uma alteração de comportamento por parte dos consumidores que estão já formatados. Por fim, a evolução deste novo mercado pressupõe o envolvimento da indústria automóvel e dos decisores políticos que, através do investimento e de políticas de incentivo governamental têm repercussões no mesmo (*Baha et al.* 2013).

5.3. Riscos em Projetos Automotivos de Veículos Alternativos

Projetos inovadores que procuram alcançar vantagem competitiva e conquistar quota de mercado acarretam alguns riscos que podem comprometer o sucesso do projeto. Assim sendo, torna-se imprescindível a adoção de uma postura pró-ativa que assegura a tomada das melhores decisões sempre que possível.

Desta forma, na tabela 26 estão representados vinte e dois riscos relativos a projetos de veículos alternativos, podendo o modelo ser adaptado a diferentes tipos de veículos e não exclusivamente aos riscos detetados em projetos de veículos estritamente elétricos.

Reuniu-se um grupo de especialistas, representantes das diferentes áreas departamentais, intervenientes na concretização do projeto e conhecedores da temática em estudo.

Para o estudo em específico, importa considerar os riscos organizacionais e os riscos operacionais. Ou seja, os riscos operacionais são aqueles que diretamente influenciam os resultados da organização – como por exemplo, a falta de comunicação entre a empresa e o cliente; enquanto os operacionais são referentes a falhas do produto, como o mau desempenho a nível de autonomia versus performance (tab. 26).

Tabela 26 - Distinção entre risco operacional e risco organizacional aos modos de falha identificados (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	Classificação
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	Operacional
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	Operacional
3	Incorreta definição do produto	Operacional
4	Falta de materiais/matérias no processo	Operacional e Organizacional
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	Operacional
6	Emissões para o meio ambiente	Operacional
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	Operacional
8	Orçamento insuficiente	Operacional e Organizacional
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	Operacional
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	Operacional
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	Operacional
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	Organizacional
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	Operacional
14	Processo não é LEAN	Operacional
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	Operacional
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	Operacional
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	Operacional
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	Operacional e Organizacional
19	<i>Timing</i> de mercado	Operacional
20	Informação distribuída de diversas formas	Organizacional
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	Organizacional
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	Organizacional

- **Construção da FMEA – Veículos Elétricos:**

No Anexo I é apresentada a FMEA na qual a equipa de projeto identificou possíveis causas e efeitos associados a cada um dos modos de falha descritos na tabela 25 e atribuiu um conjunto de índices para as variáveis Severidade (S), Ocorrência (O) e Detetabilidade (D). A partir destes índices é obtido o RPN (tab. 27).

Tabela 27 - Cálculo do RPN FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	D	RPN
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	9	4	4	144
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	5	4	200
3	Incorreta definição do produto	8	5	5	200
4	Falta de materiais/matérias no processo	10	9	5	450
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	10	5	5	250
6	Emissões para o meio ambiente	9	5	5	225
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	10	5	5	250
8	Orçamento insuficiente	10	4	4	160

9	Aumento dos custos numa fase do projeto	10	5	7	350
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	9	6	5	270
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	9	6	4	216
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	6	5	270
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	3	4	108
14	Processo não é LEAN	10	4	7	280
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	4	4	144
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	5	5	225
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	5	4	160
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	5	6	300
19	<i>Timing</i> de mercado	10	6	5	300
20	Informação distribuída de diversas formas	10	5	5	250
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	10	4	5	200
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	8	6	5	240

Ordenando por ordem decrescente os valores de RPN do FMEA obtidos, procede-se à construção de uma Matriz de Ação Prioritárias (tab. 28):

Tabela 28 - Matriz de Ação Prioritárias FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização - FMEA		RPN	Ação
1º	4	Falta de materiais/matérias no processo	450	H
2º	22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	360	H
3º	9	Aumento dos custos numa dada fase do projeto	350	H
4º	21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	324	H
5º	16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	300	H

Para cada modo de falha identificado está associado um valor de RPN. Segue-se a introdução dos valores obtidos na FMEA no SIF para obtenção de um índice RPN *fuzzy*.

O primeiro passo, correspondente ao 1º modelo, é determinado o risco com base na probabilidade de ocorrência (O) e o impacto (S) -, sendo representativo do modo de falha o risco que apresenta um maior valor. Este valor será *input* no modelo RPN_2Modelo juntamente com a variável D. O processamento dos sistemas foi realizado através da *Fuzzy Logic Toolbox* do *Matlab*.

Para melhor compreensão da aplicação e conceito do modelo desenvolvido, segue a explicação ao modo de falha “Falta de Materiais/Matérias no processo”.

Atualmente, tem-se verificado quebras na produção da indústria automóvel devido à falta de materiais essenciais e insubstituíveis, nomeadamente dos *microchips*. As oscilações de produção tiveram um maior impacto desde o início da pandemia mundial COVID-19 pois uma das maiores empresas do setor, a japonesa *Renesas*, teve vários surtos de Covid além de ter sofrido

um incêndio. A causa raiz para este problema está associada à falta de capacidade de fundição, componentes e substrato, aos entraves de entrada no mercado de produção destes componentes, para além de a grande maioria dos fabricantes de automóveis trabalham sem stocks, segundo o método “*just in time*”. Ou seja, ao mesmo tempo que um veículo avança na linha de montagem chegam à fábrica as peças necessárias para aquela etapa.

Por mais medidas que sejam tomadas com vista à resolução deste acontecimento, como por exemplo a mudança de fornecedor, implica um ou mais anos de escassez de material porque o *design* de um *chip* requer alterações para corresponder a processos de produção específicos.

Sem materiais não se fazem produtos e, portanto, a organização não tem capacidade de reposta às necessidades verificadas no mercado. Logo, se esta não produzir, não terá produtos para apresentar ao mercado e, portanto, vê a sua competitividade ameaçada.

Avaliando o risco segundo a Metodologia *Fuzzy-FMEA* os valores de *inputs* atribuídos para este modo de falha foram os seguintes:

Tabela 29 - Inputs para os modelos em Matlab: Produto/Materiais (fonte: elaboração própria).

S (tempo)	S (custo)	S (âmbito)	S (qualidade)	Ocorrência	Deteção
9	9	10	9	9	5

Os valores acima listados serão introduzidos na ferramenta *Rules Viewer* do Matlab (fig. 52) serão convertidos num valor numérico que corresponde à localização do *output*. Quanto ao modelo 1 tem-se:



Figura 52 - Introdução dos valores de S e O no Rule Viewer: obtenção do risco para produtos/materiais (fonte: elaboração própria).

De igual forma se procedeu para a obtenção do valor de R de cada modo de falha identificado, aplicando a Metodologia *Fuzzy-FMEA*, obtendo-se os valores que constam na tabela 30:

Tabela 30 - Cálculo do Risco *Fuzzy-FMEA* associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	Risco
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	9	4	47.4
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	5	50
3	Incorreta definição do produto	8	5	50
4	Falta de materiais/matérias no processo	10	9	72.8
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	10	5	50
6	Emissões para o meio ambiente	9	5	50
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	10	5	50
8	Orçamento insuficiente	10	4	47.4
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	10	5	50
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	9	6	52.6
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	9	6	52.6
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	6	52.6
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	3	36.9
14	Processo não é LEAN	10	4	47.4
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	4	47.4
16	Frac desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	5	50
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	5	50
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	5	50
19	<i>Timing</i> de mercado	10	6	52.6
20	Informação distribuída de diversas formas	10	5	52.6
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	10	4	47.4
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	8	6	50.8

Obtido o valor de risco representativo do modo de falha em questão, que consiste num *output desfuzzificado* e que servirá de *input* para o modelo 2, segue-se a determinação do valor de RPN associado (fig. 53):

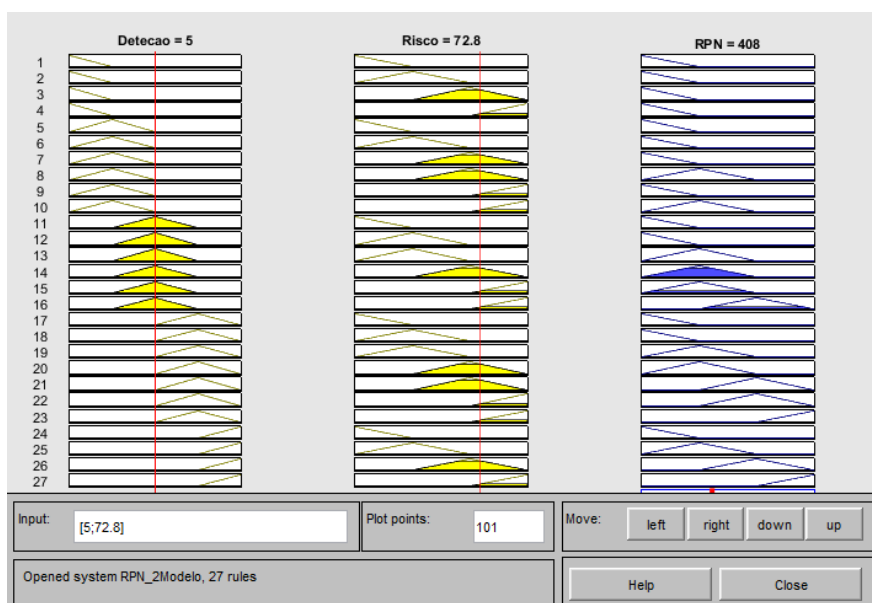


Figura 53 - Introdução dos valores de Risco e D no Rule Viewer: obtenção do RPN para produtos/materiais (fonte: elaboração própria).

De igual forma se procedeu para a obtenção do RPN de cada modo de falha identificado, aplicando a Metodologia *Fuzzy-FMEA*, obtendo-se os valores que constam na tabela 31:

Tabela 31 - Cálculo do RPN *Fuzzy-FMEA* associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	D	RPN
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	9	4	4	286
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	5	4	291
3	Incorreta definição do produto	8	5	5	291
4	Falta de materiais/matérias no processo	10	9	5	408
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	10	5	5	291
6	Emissões para o meio ambiente	9	5	5	291
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	10	5	5	291
8	Orçamento insuficiente	10	4	4	286
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	10	5	7	457
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	9	6	5	303
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	9	6	4	303
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	6	5	303
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	3	4	285
14	Processo não é LEAN	10	4	7	428
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	4	4	286
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	5	5	291
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	5	4	291
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	5	6	291
19	<i>Timing</i> de mercado	10	6	5	303
20	Informação distribuída de diversas formas	10	5	5	291
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	10	4	5	286
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	8	6	5	295

Ordenando por ordem decrescente os valores de Risco e RPN *Fuzzy*-FMEA obtidos, procede-se à construção de uma Matriz de Ação Prioritárias (tab. 32, tab. 33):

Tabela 32 - Matriz de Ação Prioritárias Risco *Fuzzy*-FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização – <i>Fuzzy FMEA</i>		Risco	Ação
1º	4	Falta de Materiais/Matérias no processo	72.8	H
2º	10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	52.6	H
3º	11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	52.6	H
4º	19	<i>Timing</i> de mercado	52.6	H
5º	12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	52.6	H

Tabela 33 - Matriz de Ação Prioritárias RPN *Fuzzy*-FMEA - Veículos elétricos (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização – <i>Fuzzy FMEA</i>		RPN	Ação
1º	9	Aumento dos custos numa fase do projeto	457	H
2º	21	Falha de comunicação entre os setores os setores da empresa	444	H
3º	22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	444	H
4º	13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	428	H
5º	4	Falta de Materiais/Matérias no processo	408	H

Tendo em conta os valores obtidos segundo a metodologia *Fuzzy*-FMEA, o risco de aumento de custos numa fase do projeto apresenta maior nível de risco face aos restantes riscos considerados.

Ou seja, caso se verifique um aumento de custo numa fase do projeto pode ter influência sobre as características e qualidades do produto final, sobre o preço a praticar no mercado, nos lucros organizacionais, no sucesso do projeto e no interesse dos *stakeholders* neste e em projetos futuros da organização. Imaginemos que o preço de mercado sofreu um aumento devido a um gasto extra no projeto. Isto leva a que o produto tenha em risco a sua competitividade face aos concorrentes diretos ou a outras tipologias de veículos, como os VCI – caso o cliente não lhe reconheça valor.

Focando no modo de falha escolhido como exemplo, este obtém a classificação máxima (450) na Metodologia FMEA enquanto que a Metodologia *Fuzzy*-FMEA fica em 5º lugar (408). Os valores desta nova metodologia são obtidos de acordo com graus de pertença, contrariando a linearidade associada ao método FMEA. Para este modelo, associado ao modo de falha “Aumento de custos numa fase do projeto” a variável G é 100% “Crítica”, a variável O é 100% “Média” e a variável D é 80% “Baixa” – daí resultando as seguintes regras:

Modelo 1:

IF Severidade is Critica AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Medio

IF Severidade is Critica AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Alto

Modelo 2:

IF Detecção is Baixa AND Risco is Medio THEN RPN is Baixo

IF Detecção is Baixa AND Risco is Medio THEN RPN is Medio

IF Detecção is Baixa AND Risco is Alto THEN RPN is Medio

IF Detecção is Baixa AND Risco is Alto THEN RPN is Alto

Pela análise *Fuzzy* FMEA do modo de falha “Aumento de custos numa fase do projeto” constatamos que o RPN *Fuzzy* irá variar no intervalo [150, 815]. Após o processo de *desfuzzificação* verificou-se que o valor obtido foi de 457. Sendo assim, este modo de falha apresenta um valor de Risco Médio com 70% de pertença e Alta de 30% de pertença.

A falha de comunicação quer intra-empresa quer com o cliente pode ser um fator crucial de insucesso para o projeto. Ou seja, se o produto não é desenvolvido segundo as necessidades do mercado, estando toda a empresa coordenada segundo os mesmos objetivos, pode levar a erros na conceção do produto que se podem revelar fatais. Isto é, o produto não terá saída de mercado uma vez que não satisfaz as necessidades de consumo do cliente, o mercado não lhe reconhece valor ou uma relação entre qualidade/preço insatisfatória, são empregues recursos desnecessários, implicando gastos extra, logo, o preço de venda não é satisfatória.

Outro fator de risco que afeta a competitividade do produto está relacionado com as infraestruturas disponíveis para a correta utilização do veículo. Apesar de o carregamento poder ser feito numa tomada doméstica, o tempo de carregamento *versus* autonomia após o carregamento podem não ser aceitáveis para o cliente nem suficientes face à performance que este pretende. Até porque se este não se sente seguro ao utilizar o veículo, pode ser um entrave quando toca na decisão de qual tipo de veículo a adquirir. Apesar de já existirem postos de carregamento rápido, infelizmente, não se encontram disponíveis em todas as zonas do país dependendo da área de residência do utilizador do VE ou dos locais/áreas geográficas que este percorra. Na eventualidade de existirem postos de carregamento rápido, o tempo oscila entre os 15 a 30 minutos – o que pode ser demasiado tempo quando comparado a VCI e pode ser apontado como uma barreira na aquisição destes veículos, pondo em risco a competitividade e a sobrevivência deste tipo de veículos. Se se verificar a não existência de infraestruturas que possibilitem a utilização sem incómodos, o produto não terá interesse para o mercado e, muito menos para as organizações do setor, portanto não será competitivo, pondo em causa a sustentabilidade das empresas.

Como forma de contornar este risco devem ser criadas políticas ambientais, através de incentivos financeiros e legais e na ampliação da rede de postos de carregamento, para que ocorra a penetração de mercado deste tipo de produtos, procurando aumentar a confiança dos consumidores na tecnologia aplicada aos VE. Mais, a marca deve procurar investir nas grandes cidades não só por serem as responsáveis de maiores emissões de GEE para a atmosfera mas, também, os locais de maior densidade demográfica. Ou seja, há um aumento da quota de mercado ao mesmo tempo que ocorre um aumento no desenvolvimento do setor.

A principal diferença entre estas duas metodologias advém da relação não linear entre as variáveis e a atribuição de uma classificação RPN que permite a atribuição de termos linguísticos aos resultados obtidos, permitindo a distinção entre atividades de risco “Alto” e “Crítico”. Além disso, eventos com baixos valores de RPN não devem deixar de ser considerados pois podem provocar prejuízos avultados ou levar à ocorrência de outros eventos que apresentam um impacto superior. Mais, permite reduzir a probabilidade de atingir os mesmos RPN mas que apresentem diferentes implicações.

Ao representar as variáveis descritas como funções de pertinência *fuzzy*, causando uma reflexão mais realista e flexível das condições reais do problema também permite uma análise dos resultados com informações mais precisas para o processo de tomada de decisão.

- **Construção da FMEA – Veículos a Hidrogénio**

No Anexo I, é apresentada a FMEA na qual a equipa de projeto identificou possíveis causas e efeitos associados a cada um dos modos de falha descritos na tabela acima e atribui um conjunto de índices para as variáveis Severidade (S), Ocorrência (O) e Detetabilidade (D):

Tabela 34 - Cálculo do RPN FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	D	RPN
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	8	8	6	384
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	7	7	490
3	Incorreta definição do produto	8	8	7	448
4	Falta de materiais/matérias no processo	9	9	7	567
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	9	8	7	504
6	Emissões para o meio ambiente	7	6	7	294
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	9	8	8	576
8	Orçamento insuficiente	10	8	8	640
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	8	9	7	504
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	7	8	8	448
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	8	9	6	432
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	8	7	504
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	7	6	378
14	Processo não é LEAN	10	10	2	200

15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	9	7	567
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	9	7	567
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	7	6	336
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	8	8	640
19	<i>Timing</i> de mercado	9	8	7	504
20	Informação distribuída de diversas formas	10	9	6	540
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	9	7	7	441
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	7	8	5	280

Ordenando por ordem decrescente os valores de RPN FMEA obtidos, procede-se à construção de uma Matriz de Ação Prioritárias (tab. 35):

Tabela 35 - Matriz de Ação Prioritárias FMEA – Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização - FMEA		RPN	Ação
1º	8	Orçamento insuficiente	640	H
2º	16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	640	H
3º	7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	576	H
4º	4	Falta de Materiais/Matérias no processo	567	H
5º	14	Processo não é LEAN	567	H

De igual forma se procedeu para a obtenção do R de cada modo de falha identificado, obtendo-se os valores que constam na tabela 36.

Tabela 36 - Cálculo do Risco Fuzzy-FMEA associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	Risco
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	8	8	67.4
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	7	64.8
3	Incorreta definição do produto	8	8	67.4
4	Falta de materiais/matérias no processo	9	9	72.8
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	9	8	71.5
6	Emissões para o meio ambiente	7	6	50
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	9	8	71.5
8	Orçamento insuficiente	10	8	72.3
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	8	9	71.5
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	7	8	59.8
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	8	9	71.5
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	8	71.5
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	7	63.1
14	Processo não é LEAN	10	10	89.2
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	9	72.8
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	9	72.8
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	7	59.4
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	8	72.3
19	<i>Timing</i> de mercado	9	8	71.5

20	Informação distribuída de diversas formas	10	9	72.8
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	9	7	63.1
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	7	8	59.4

De igual forma se procedeu para a obtenção do RPN de cada modo de falha identificado, aplicando a Metodologia *Fuzzy-FMEA*, obtendo-se os valores que constam na tabela 37:

Tabela 37 - Cálculo do RPN *Fuzzy-FMEA* associado a cada modo de falha identificado (fonte: elaboração própria).

	Modo de Falha	S	O	D	RPN
1	Cliente solicita alterações durante a homologação do projeto	8	8	6	473
2	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	10	7	7	499
3	Incorreta definição do produto	8	8	7	500
4	Falta de materiais/matérias no processo	9	9	7	506
5	Incorreta reestruturação do <i>layout</i> de produção	9	8	7	504
6	Emissões para o meio ambiente	7	6	7	457
7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	9	8	8	504
8	Orçamento insuficiente	10	8	8	505
9	Aumento dos custos numa fase do projeto	8	9	7	504
10	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	7	8	8	493
11	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	8	9	6	478
12	Falta de Incentivos/Políticas governamentais	9	8	7	504
13	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	9	7	6	470
14	Processo não é LEAN	10	10	2	281
15	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	9	9	7	506
16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	9	9	7	506
17	Indisponibilidade dos recursos alocados	8	7	6	463
18	Baixo <i>know-how</i> da MOD e Engenharia	10	8	8	505
19	<i>Timing</i> de mercado	9	8	7	504
20	Informação distribuída de diversas formas	10	9	6	481
21	Falha de comunicação entre os setores da empresa	9	7	7	498
22	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	7	8	5	325

Ordenando por ordem decrescente os valores de Risco e RPN *Fuzzy-FMEA* obtidos, procede-se à construção de uma Matriz de Ação Prioritárias (tab. 38, tab. 39):

Tabela 38 - Matriz de Ação Prioritárias *Fuzzy-FMEA* - Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização – <i>Fuzzy FMEA</i>		Risco	Ação
1º	14	Processo não é LEAN	89.2	H
2º	4	Falta de materiais/matérias no processo	72.8	H
3º	16	Fraco desempenho: autonomia <i>versus</i> performance	72.8	H
4º	16	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	72.8	H
5º	8	Orçamento insuficiente	72.6	H

Tabela 39 - Matriz de Ação Prioritárias Fuzzy-FMEA - Veículos a Hidrogénio (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização – Fuzzy FMEA		RPN	Ação
1º	4	Falta de Materiais/Matérias no processo	506	H
2º	14	Processo não é LEAN	506	H
3º	16	Fraco desempenho: autonomia versus performance	506	H
4º	8	Orçamento insuficiente	505	H
5º	7	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	504	H

Quando aplicado o modelo desenvolvido a carros a hidrogénio, os eventos prioritários são diferentes dos obtidos em VE. Sendo uma área recente, com poucos modelos em comercialização e com uma baixa quantidade de mão de obra com formação na área, os materiais e produtos a utilizar na fabricação destes veículos podem não ser a mais adequados, tendo em conta a ergonomia dos carros e influência que terá sobre o custo de produção. Por ser um projeto inovador e recente é, também ele, incerto e, como será de esperar, inicialmente serão produzidos um número de peças sucateadas superior ao expectável tendo a diminuir com a evolução da curva da aprendizagem.

A tecnologia da fonte de alimentação pode ser um potencial modo de falha, pois se não apresentar um desempenho capaz de satisfazer as necessidades de consumo do mercado não terá saída do produto, logo, não será competitivo. Aliado a este evento de risco tem-se outros eventos como o investimento ser insuficiente tendo em conta a inovação e tecnologia por detrás empregue, a especialização da mão de obra responsável pelo desenvolvimento do projeto.

Imaginando que uma organização teria de optar por investir num dos dois projetos apresentados, avaliando o nível de risco médio associada a cada um dos projetos, tem-se que:

Tabela 40 - Risco médio para projetos de carros elétricos e a hidrogénio (fonte: elaboração própria).

Carros Elétricos	Carros a hidrogénio
Risco = $\frac{\sum R_n}{n} = 322.33$	Risco = $\frac{\sum R_n}{n} = 469.33$

A partir dos valores de riscos obtidos concluímos que os carros a hidrogénio apresentam maiores valores de falha, logo mais impacto terão sobre os objetivos do projeto, colocando em questão a sua concretização com sucesso. Ou seja, por se tratar do projeto com maior índice de risco pode ser o menos atrativo para os investidores, apesar de ser diferenciador ou até mais competitivo.

Repartindo os valores associados a cada uma das categorias (âmbito, tempo, custo, qualidade, recursos humanos e comunicação) referentes a cada um dos projetos, tem-se que:

O valor de risco obtido é influenciado pelo desenvolvimento do mercado, pelo número de concorrentes, pelas infraestruturas que permitem a sua utilização sem constrangimentos e, o mais importante, pelo consumidor.

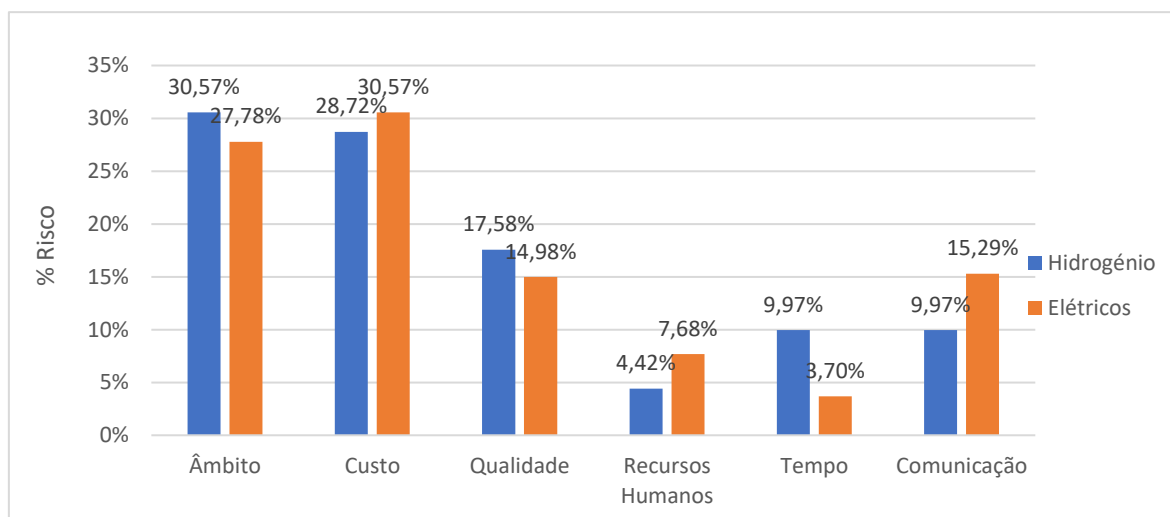


Figura 54 - Distribuição do impacto por categorias de risco de cada projeto (fonte: elaboração própria).

Das características capazes de controlo pela organização, o produto para ser competitivo dentro da organização e da respetiva gestão, devem ser priorizadas as habilidades pessoais. Aplicando o conhecimento e as habilitações da MOD nos processos é possível obter qualidade e um tempo de ciclo aceitável que permite a entrega do produto ao cliente no menor tempo possível, fazendo uma utilização adequada dos recursos. A competitividade não é feita apenas pelo produto mas, principalmente, pelo cliente. É o cliente quem define competitividade e os conceitos inerentes como a satisfação, a fidelização e o aumento da quota de mercado.

Por outro lado, a marca deve apresentar um tempo de ciclo de desenvolvimento menor, para que o custo do projeto de inovação seja também ele menor, o que leva a um aumento do ROI em projetos de inovação, logo, maior receita sobre os novos produtos. Além disso, quanto menos for o tempo de ciclo, menos será a percentagem de não conformidades, o que representa um aumento da produtividade e uma diminuição do custo do processo.

Obtendo maiores lucros, a empresa tem a capacidade financeira para inovar e apostar em pormenores que aumentem a diferenciação dos seus produtos face aos concorrentes, um

crescimento na infraestrutura tecnológica, um aumento do nível do *empowerment* e um maior nível de satisfação dos funcionários.

Aplicando o modelo 1 *Fuzzy-FMEA* aos veículos elétricos, a Matriz de Ação Prioritária tomaria a seguinte ordem:

Tabela 41 - Matriz de Ação Prioritárias Fuzzy-FMEA com base no valor de Risco Primário - Veículos Elétricos (fonte: elaboração própria).

Classificação	Priorização - FMEA	Risco
1º	Falha de Matérias/Materiais no processo	72.6
2º	Elevados custos de manutenção para o <i>end user</i>	52.6
3º	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	52.6
4º	Aumentos dos custos numa dada fase do projeto	52.6
5º	Falha de comunicação entre os setores da empresa e com o cliente	52.6

Fazendo um cruzamento entre os resultados da tabela 37 com a tabela 31, cinco dos modos de falha prioritários da tabela 31 constam na tabela 37. Ou seja, independentemente dos valores de detetabilidade associados a estes modos de falha estes apresentam um forte impacto sobre o projeto e o seu sucesso e, portanto, sobre a competitividade. Desta forma, estes devem ser monitorizados e acompanhados periodicamente pois, caso se verifique o mínimo desvio face aos valores expectáveis, o gestor do projeto terá a oportunidade de minimizar o impacto destes através de uma atitude pró-ativa.

6. Conclusões e Propostas de Melhoria

Devido à crescente competitividade entre empresas do setor automóvel e o aumento do nível de exigência dos clientes, as organizações procuram desenvolver produtos inovadores e diferenciados, que apresentam uma qualidade característica à qual o consumidor reconhece o seu valor. Na indústria automóvel deve-se ter particular cuidado e atenção aos padrões, para que as falhas do ponto de vista operacional não afetem a eficácia e eficiência do produto para o *end user*.

Uma metodologia bastante utilizada na indústria automóvel é a FMEA, que permite a quantificação do risco com base em três parâmetros. Esta técnica é desenvolvida com base na experiência e no conhecimento de um painel de especialistas mais diversas áreas a quem cabe parte da tomada de decisão. Desta forma, é crucial a correta identificação dos riscos além da avaliação dos parâmetros SOD para cada modo de falha identificado.

Porém, existe uma grande limitação associada à FMEA. São considerados modos de falha eventos identificados pelo painel *Delphi* podendo, portanto, não considerar todos os riscos associados ao projeto e, portanto, não é feito qualquer controlo de prevenção ou deteção dos mesmos, ou eventos que apesar de apresentar baixos valores de RPN podem ser erroneamente desprezáveis e podem desencadear a ocorrência de eventos com significativo impacto do ponto de vista económico e competitivo. Trata-se de uma metodologia puramente empírica e subjetiva tendo-se observado, quando aplicado aos casos alvo de estudo, alguma incerteza e limitação.

De forma a solucionar as falhas detetadas na utilização da FMEA, o modelo desenvolvido junto a esta técnica a *Fuzzy Logic* – com o intuito de resolver os problemas associadas ao cálculo do RPN subjetivos e vagos e os quais podem não ser representativos do contexto real contribuindo para a identificação, caracterização e análise dos modos de falha subjacentes.

O modelo está desenvolvido em duas etapas o que permite ao Gestor de Projeto ter flexibilidade na gestão de prioridades ou tomada de ações. Ou seja, este consegue avaliar com o primeiro modelo quais os eventos prioritários que apresentam elevada probabilidade de ocorrência e impacto e, conseqüentemente, colocam em causa a concretização dos objetivos e o sucesso do projeto. A organização tem a capacidade de empregar recursos, tempo e custo na monitorização e acompanhamento dos eventos prioritários e que apresentam maiores valores de Risco, adotando uma atitude pró-ativa e não reativa – cuja capacidade de deteção de falha influencia a qualidade, tempo, custo, âmbito do projeto.

Na grande maioria dos projetos os gestores não atuam por antecipação devido a falhas na identificação de potenciais eventos de risco ou devido à desvalorização das conseqüências associadas a um dado evento de risco sobre a sustentabilidade da empresa.

Contudo, salientar que a tomada de decisão não se deve cingir unicamente por uma ferramenta pois pode não ser representativa do contexto real. A tomada de decisão deve ser feita com base na informação clara e concreta obtida até ao momento, pelo historial da empresa, por técnicas como Cadeia de *Markov* ou o Método de Monte Carlo como complementares, A forma como flui a informação entre departamentos e na organização é determinante para o sucesso desta, até porque informação distorcida, incorreta e atrasada leva a erros de decisão e à definição incorreta de estratégias.

Aplicados aos casos em estudo foi possível verificar a existência de diferenças entre metodologias, sendo a FMEA um método mais rígido devido a linearidade a si subjetiva, contrariamente à *Fuzzy-FMEA*.

A modelação dos fatores de entrada (S, O, D) com recurso a funções de pertença e a regras de inferência permite contrariar a FMEA relativamente ao critério de desempate, fazendo com que modos de falha com parâmetros diferentes não resultassem em implicações de risco iguais. Na FMEA, para situações em que índice de entrada diferentes originam iguais valores de RPN.

Para cada valor de RPN *fuzzy* está associado um determinado grau de pertença a uma ou mais funções pelo que, estando atribuídas variáveis linguísticas a cada uma das funções, faz com que seja possível expressar o nível de risco por meio de palavras, tornando a análise mais intuitiva. Na hora de eliminação e/ou mitigação dos riscos, em vez de se aplicarem critérios pouco explícitos e pouco credíveis para determinar até que ponto um determinado risco é considerado prioritário, sendo a decisão tomada com base nas variáveis linguísticas.

Independentemente da etapa do ciclo do projeto, do setor de aplicação do modelo desenvolvido é imprescindível a monitorização e o controlo constante da evolução do mercado (interesses, necessidades e tendências), previsões quanto ao desenvolvimento do setor, investimento em mercados em que se verifique a necessidade do produto desenvolvido e/ou nas quais existam infraestruturas capazes de sustentar a utilização pelo *end users* e o numero de concorrentes seja diminuto, com o intuito de adaptar e desenvolver a empresa segundo as carências detetadas no mercado.

Mais do que avaliar se um determinado produto faz com que a organização seja competitiva no mercado de atuação, importa salientar que o seu sucesso está fortemente depende do desenvolvimento do mercado, das características dos consumidores, do poder de compra destes, a existências de infraestruturas adequadas à utilização. Ou seja, a competitividade não depende apenas do quão desenvolvido está o produto do ponto de vista de design ou tecnológico, mas, sim, de vários fatores externos cruciais ao sucesso da empresa.

Projetos inovadores e diferenciados acarretam riscos mais elevados. Porém, se um projeto não for diferenciador não será chamativo no mercado, logo, não será competitivo. É um risco ser-se competitivo, mas, quando um projeto é bem sucedido, pode ser uma excelente oportunidade de sucesso, de lucros e de crescimento organizacional.

Posto isto, a competitividade de uma organização não depende unicamente de fatores internos ou das características do mercado. Depende sim, da interligação de um conjunto de fatores desde as características do produto, às condições do mercado de atuação, dos concorrentes, do tipo de gestão praticado pela organização, entre outros.

6.1. Proposta de Melhorias – Resultados

Como referido anteriormente o modelo desenvolvido encontra-se dividido em duas fases, o que permite ao gestor avaliar e tomar decisões com base no valor de risco de probabilidade de ocorrência versus impacto. Ou seja, este deve priorizar eventos com elevada probabilidade de ocorrência e com impacto significativo sem menosprezar eventos com baixo Índice de Risco.

Para projetos de carros elétricos segundo a metodologia *Fuzzy-FMEA* o risco com maior valor de RPN era o aumento de custo numa fase do projeto. Para diminuir o impacto deste modo de falha deve ser imposto um controlo periódico no orçamento despendido na elaboração do projeto comparando com o valor estipulado quando o planeamento. Adotando essa medida e possível não só reduzir o impacto do aumento de custo como o valor despendido e que terá repercussões sobre os lucros da empresa e sobre o preço de venda do produto.

Outros riscos identificados estão associados a comunicação interna e com o cliente. Para mitigar o impacto envolvidos do projeto e devem ser realizados estudos de evolução de tendências e necessidades periódicos para desenvolver o produto segundo as diretrizes dos consumidores. Desta forma, o produto é desenvolvido com vista a aumentar a sua saída no mercado, o cliente sente-se parte envolvida - o que terá impacto sobre a imagem e posição da marca -, e o cliente reconhece valor.

Quanto às infraestruturas, as empresas devem apostar fortemente em projetos deste âmbito em países e/ou mercados em que se verifica a existência de infraestruturas sem constrangimentos para o *end user*. Com as infraestruturas, produtos e incentivos de compra, os VE passam a ser opção na hora de aquisição.

6.2. Proposta de Melhorias – Modelo

Sendo um modelo com alguma subjetividade e incerteza associada a primeira proposta de melhoria centra-se na melhoria da precisão dos resultados, através de um estudo mais aprofundado quanto às funções de pertinência e às regras de inferência. Em vez de reunidos apenas especialistas de uma empresa devia ter-se reunido especialistas de diversas empresas, com várias experiências, permitindo a troca de conhecimento entre estes e um debate de ideias e de experiências.

Embora o modelo tenha sido aplicado em veículos alternativos, de forma a verificar a sua aplicabilidade, vantagens e, conseqüentemente, a sua validação no processo de tomada de decisão, podia ter sido aplicado a outros casos de estudo, em vários contextos, garantindo a qualidade dos resultados. Por exemplo, podia ter sido aplicado a veículos de combustão interna por se tratar de um mercado consolidado e da preferência da maioria dos consumidores.

Por fim, o modelo foi aplicado num software elementar na qual os outputs de um modelo serviram de *inputs* para um segundo modelo. Seria mais favorável para uma empresa ter uma forma direta de ligar os dois modelos, evitando constrangimentos ou perdas de tempo desnecessárias, agilizando o processo de tomada de decisão.

7. BIBLIOGRAFIA

- Abreu, A., & Calado, J. (December de 2017). Risk assessment in collaborative innovation ecosystems based on fuzzy logic. p. 11.
- Abreu, A., & Martins, J. M. (January de 2018). Risk assessment in collaborative innovation ecosystems based on fuzzy logic. p. 11.
- Abul-Haggag, O. Y., & Barakat, W. (2013). Application of Fuzzy Logic for Risk Assesement using Risk Matrix. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , 6.
- Adler, P. S. (1989). *Tecnology Strategy: A Guide to the Literatures*. (J. Press, Ed.)
- Alam, C. (2019). An analysis on competitive strategies of electric vehicles in Japan and China. *Journal of Law and Politic Science*.
- Andrade, E. L. (2000). *Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão* (Vol. 2º edição). Rio de Janeiro: LTC.
- Antunes, N. M. (março de 2020). Avaliação do risco em ativos físicos baseada numa metodolgia Fuzzy-FMEA. p. 197.
- Aragon-Correa, J., & Sharma, S. (2003). A Contingent Resource-Based View of Proactive Environmental Strategy. *The Academy of Management Review* 28(1):71, 20.
- Araujo, E. (July de 2009). Lógica Difusa (Fuzzy) e Raciocínio Aproximado: Conceitos e Aplicações. p. 17.
- Armstrong, C. M., & Lehew, M. L. (May de 2011). Sustainable Apparel Product Development: In Search of a New Dominant Social Paradigma for the Field Using Sustainable Approaches. *ResearchGate*, p. 35. doi:10.2752/175693811X12925927157018
- Assadi, M., & Haji, A. (2009). Fuzzy expert systems and challenge of new product pricing. *Computers & Industrial Engineering*, pp. 616-630.
- Axsen, J., TygreeHageman, J., & Lentz, A. (2012). Lifestyle practices and pro-environmental technology. *Ecol. Ecnon.*, pp. 64-74.
- Baha, M. A., & Thomas, H. B. (May de 2013). Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies. pp. 190-203.
- Beja, R. (2004). *Risk Management: gestão, relato e auditoria dos riscos do negócio*. Áreas Editora.

- Benbow, D. W., Berger, R. W., Elshennawy, A. K., & Walker, H. F. (2002). *The certified quality engineer handbook*.
- Bernstein, P. L. (1997). *Desafio dos Deuses: A História Fascinante do Risco*. São Paulo.
- Brand, J. (2001). *Direcção de Gestão de Projetos*.
- Brons, M., & et al. (2006). A Meta-analysis of the Price Elasticity of Gasoline Demand. A System of Equations Approach. *Tinbergen Institute Discussion Paper*, 106.
- Brown, M. (1993). *A gestão de projectos com sucesso* (Vol. 1º edição). (C. G. Essencial, Ed.) Lisboa: Editorial Presença.
- Burgess, M., King, N., Harris, M., & Lewis, E. (2013). Electric vehicle drivers' reported interactions with the public: driving stereotype change? pp. 33-44.
- Caperello, N., Kurani, K., & TyreeHageman, J. (2013). Do you Mind if I Plug-in my car? How etiquette shapes PEV drivers' vehicle charging behavior. pp. 155-163.
- Carley, S., Kurani, K., & Tyree-Hageman, J. (2013). Do You Mind if I Plug-in My Car? How etiquette shapes PEV driver's vehicle charging behavior. pp. 155-163.
- Castells, M. A. (2000). *A era da informação* (Vol. I). (4. edição, Ed.) São Paulo: Paz e Terra.
- Catroga, E. (Março de 2002). *Competitividade - Políticas Estruturais*. pp. 20-38.
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project risk management processes, techniques and insight* (Vol. 2º Edição). Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Chiavenato, I. (1982). *Administração de Empresas, uma abordagem contingencial*. São Paulo: McGraw Hill.
- Chin, K. S., Chan, A., & Yang, J. B. (2008). Development of Fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 633-649.
- CMVM. (2010). *Código de Governi das Sociedades da CMVM (Recomendações)*.
- Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission . (1994). *Internal Control - Integrated Framework*.
- COSO. (2007). *Gerenciamento de Riscos Corporativos - Estrutura integrada*. 2.
- Courtney, H. G. (2000). *Strategy under uncertainty*. Mckinsey Quartely.
- Cox, E. (1994). *The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building*. Ap Professional.

- Damanpour, F., & Evan, M. (1984). Organizational innovations and performance: The problem of organizational lag. *Administrative Science Quarterly*.
- Dantas, J., & Moreira, A. (2011). *O Processo de Inovação, Como potenciar a criatividade organizacional visando a competitividade sustentável*.
- Den Hon, F., & Stratopoulos, T. (March de 2003). Determinantes of Sustainable Competitive Advantage due to an IT Enable Strategy. *Journal of Strategic Information Systems*, 12(1), 7-28.
- Dicionário Informal. (20 de dezembro de 2021). Obtido de <https://www.dicionarioinformal.com.br/diferenca-entre/deadline/cronograma/>
- Dijk, M., Orsato, R., Kemp, R., & Yarime, M. (January de 2012). The electrification of automobility. The bumpy ride of electric vehicles toward regime transition.
- Doering, H. U. (2003). Operational Risk in Financial Service: An Old Challenge in a New Environment. Working Papper, Credit Suisse Group.
- Drucker, P. (1998). *The Discipline of Innovation*. Harvard Business Review.
- Dunkle, D. C. (2005). Prioritizing human interface design issues for range safety systems using human factors process FMEA.
- Ebgue, O., & Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: an analysis of consumer attitudes and perceptions. pp. 717-729.
- Editora, P. (2013). *Dicionário de Língua Portuguesa*.
- Ettlie, J. E. (1982). Environmental Uncertainty and Organization Technology Policy. (I. T. Management, Ed.) 29, pp. 1-10.
- Ettlie, J. E. (1987). Technology Policy and Innovation in Organizations. (B. P. Company, Ed.)
- Fórum para a Competitividade. (1995). *A Competitividade da Economia Portuguesa*.
- Frame, D. (2003). Managing Risk in Organizations. (T. J.-B. Series, Ed.)
- Fraser, J. &. (2010). Enterprise Risk Management: today's leading research and best practices for tomorrow's executives.
- Freire, A. (2002). *Inovação Novos produtos, serviços e negócios para Portugal*. Lisboa: Editorial Verbo.
- Frigo, M. L. (March/April de 2011). Strategic Risk Management: A Foundation for Improving Enterprise Risk Management and Governance. (T. J. Finance, Ed.)

- Froot, K. A. (1994). *A Framework for Risk Management*. (H. B. Review, Ed.)
- Ginsberg, J., & Bloom, P. (2004). Choosing the Right Green Marketing Strategy. *MIT Sloan Management Review* 46(1).
- Global, V. (2 de Janeiro de 2022). Obtido de <https://www.virta.global/global-electric-vehicle-market>
- Government, Queensland. (2011). *A Guide to Risk Management*. Financial Management Framework.
- Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., & Stannard, J. (2012). Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: a qualitative analysis of responses and evaluations. pp. 140-153.
- Haji, A., & Assadi, M. (2009). Fuzzy expert systems and challenge of new product pricing. Em *C. & Engineering*.
- Hoyle, D. (2015). *Quality Systems Handbook*. Elsevier.
- IEA. (dezembro de 2021). *Global EV Outlook 2021: Accelerating ambitions despite the pandemic*. p. 101.
- ISO. (2009). *ISO Guide 73 - Risk Management Vocabulary*.
- ISO. (2012). *ISO 73 Guide - Risk Management Vocabulary*.
- ISO. (2013). *ISO 31000:2012 - Risk Management - Principles and Guidelines*.
- ISO. (2021). *ISO 21500:2021 - Project, programme and portfolio management - context and concepts*. p. 12.
- ISO 31010:2009. (s.d.). *Risk Management - Risk Assessment Techniques*.
- ISO. (s.d.). *ISO 73 Guide - Risk Management Vocabulary*. Genève, Suíça.
- Jensen, A., Cherchi, E., & Mabit, S. (2013). On the stability of preferences and attitudes before and after experiencing an electric vehicle. pp. 24-32.
- Jordan, H. N. (2008). *Controlo de gestão ao serviço da estratégia e dos gestores* (Vol. 8ª edição). Áreas Editora.
- Júlio, S. R. (2016). *Avaliação de variáveis que influenciam o processo de aglomeração de rolhas técnicas de cortiça*. Tese de Doutoramento.

- Junior, V. (1996). *Confiabilidade e falhas de campo: um estudo de caso para melhoria da confiabilidade de um produto e do reparo, através de um procedimento sistemático de coleta de dados*.
- Kahraman, C. (2006). *Fuzzy applications in industrial engineering*. Springer.
- Kahraman, C., Kaya, I., & Senvar, O. (2013). Healthcare failure mode and effects analysis under fuzziness. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 538-552.
- Kaplan, R. S. (2009). *Risk Management and Strategy Execution System*.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System. *Havard Bussiness Review*.
- Kay, J. (1993). *Foundations of Corporate Sucess: How Bussiness Add Value*. Oxford University Press.
- Kerzner, H. (2002). *Gestão de projetos as melhores práticas (Vol. 2º Edição)*. Porto Alegre: Brookamn Editora.
- Krupa, J. S., Rizzo, D. M., Eppenstein, M. J., Brad Lanute, D., Gaalema, D., Lakkaraju, K., & Warrender, C. (2014). Analysis of a consumer survey on plug-in hybridelectric vehicles. pp. 14-31.
- Kumar, D., Sharma, R. K., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 986-1004.
- Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA Application to Improve Purchasing Process in a Public Hospital. *Em A. S. Comput*.
- Kwak, Y. H. (2005). *A brief history o Project Management. The story of managing projects (Vol. 9)*. Elias G. Carayannis.
- Lane, B., & Potter, S. (2007). The adoption of cleaner vehicles in the UK: exploring the consumer attitude-action gap. pp. 1085-1092.
- Lefebvre, L. A. (1997). *The Influence Prism in SMEs: The Power of CEO's Perception on Techonology Policy and Its Organizational Impacts (Vol. 43)*. Management Science.
- Lewis, J. (1999). *Manual Prático da Gestão de Projetos*. Lisboa: Edições CETOP.
- Lieven, F., Munlmeier, S., Henkel, S., & Waller, J. (2011). Who will buy eletric cars? An empirical study in Germany . pp. 236-243.

- Lieven, T., & et al. (2011). Who will buy electric cars? An empirical study in Germany. pp. 236-243.
- Lin, C. T., & Chen, C. T. (2001). New product go/no-go evaluation at the front end: a fuzzy linguistic approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, pp. 197-207.
- Lipol, L. S., & Haq, J. (2011). Risk analysis method: FMEA/FMECA in the organizations. *International Journal Basic & Applied Sciences*, 74-82.
- Lippman, S., & Rumelt, R. (1982). Uncertain Imitability: An Analysis of Interfirm Differences in Efficiency under Competition. *Bell Journal of Economics*, 13, 418-438.
- Lorino, P. (2000). *Métodos e Práticas da Performance - guia da pilotagem estratégica*. Instituto Piaget.
- Magnum Cap. (20 de dezembro de 2021). Obtido de <https://magnumcap.com/pt-pt/o-que-e-a-tecnologia-v2g-vehicle-to-grid/>
- Maximiano, A. (2002). *Administração de projetos: como transformar ideias em resultados* (Vol. 2ª Edição). São Paulo: Atlas.
- Melo, D. C. (2009). Implementação do Sistema de Mamdani usado como ferramenta o Visual Basic for application no Excel.
- Melo, M., & Duarte, T. (2001). O calçado em Portugal - Uma Análise da Competitividade. Lisboa: Gabinete de Estudos e Prospetiva Económica do Ministério da Economia.
- Miller, R. &. (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. *International Journal of Project Management*, 8, pp. 437-443.
- Moons, I., & Pelsmacker, P. (2012). Emotions as determinants of electric car usage intention. pp. 195-237.
- Moreira, J. A. (1997). *Análise Financeira de Empresas - da teoria à prática*.
- Morgan, M. G. (1990). *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk And Policy Analysis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nunes, I. (2016). *Fuzzy Set Theory*.
- Nunes, I. L. (2003). Modelo de sistema pericial difuso para apoio à análise ergonómica de postos de trabalho.
- Olsen, R. P. (1971). *Can project management be defined?* (Vol. 2). Project Management Quarterly.

- Oliveira, H. A. (1999). *Lógica Difusa: aspetos práticos e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência.
- Oliveira, J. (2011). Modelo integrado para uma gestão eficiente e controlo de risco.
- Paiva, A. V. (2011). Principais aspetos na avaliação do sucesso de projetos de desenvolvimento de software. Há alguma relação com o que é considerado noutras indústrias? *II*, pp. 200-204.
- Paixão, A. S. (2010). *Modelo de sistema de inferência difuso para auxílio da resposta ao risco em projetos*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologias.
- Pentti, H., & Atte, H. (2002). Failure Mode and Effects Analysis of Software-Based Automation Systems. Finland: STUK.
- Pereira, M. E. (2005). *Fatores de Competitividade e Desempenho Empresarial: um estudo aplicado ao setor da cerâmica em Portugal*. Universidade de Aveiro.
- Pereira, Z., & Requeijo, J. (2010). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos*. FCT/UNL Foundation Editor.
- Peters, A., & Dutschke, E. (2014). How do consumers perceive electric vehicles? A comparison of German consumer groups. *Planning Policy Manage*, pp. 359-337.
- PMI. (2017). *Guide to the Project Management Body of Knowledge* (Vol. 6th edition). (I. Project Management Institute, Ed.) Newton Square.
- PMSURVEY. (2014). PMSURVEY.ORG 2014 Edition. (P. M. Institute, Ed.)
- Porter. (1999). *Competição - on competition: estratégias competitivas essenciais* (5º edição ed.). Rio de Janeiro: Havard Review Books.
- Porter, M. E. (1993). A vantagem competitiva das NAções.
- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project body of knowledge (PMBOK guide)*. Fifth Edition. Pennsylvania: ISBN: 978-1-935589-67-9.
- Prudy, G. (2010). ISO 31000:2009 - Setting a new standard for risk management. 6.
- Richardson, D. (2013). Electric vehicles and the electric grid: a review of modeling approaches, impacts and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 247-254.
- Rodriguez Martins, A. (2001). Raciocínio baseado em casos: uma abordagem fuzzy para diagnóstico nutricional.
- Ross, T. J. (2009). *Fuzzy Logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.

- Ross, T., Achari, G., & Fons, S. (2004). A fuzzy cognitive mapping analysis of the impacts of an eco-industrial park. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 75-88.
- Santos, A. C. (2011). *Análise dos modos de falha no desenvolvimento de novos produtos SVA: uma abordagem para a indústria das telecomunicações. Tese de Mestrado*. FEUC.
- Schuitema, G., & al, e. (2013). The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. pp. 39-49.
- Schuitema, G., Anable, J., Skippon, S., & Kinnear, N. (2013). The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. pp. 39-49.
- Scilling, M. A. (2002). Technology Success and Failure in Winner-Take-All markets: The Impact of Learning Orientation, Timing and Network Externalities. *Academy of Management Journal*, 45(2), 387-389.
- Scumpeter, F. (1934). *The Theory of Economic Development*. Cambridge: Havard University Press.
- Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., & Van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economics factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, pp. 183-194.
- Significados. (20 de dezembro de 2021). Obtido de <https://www.significados.com.br/trade-off/>
- Simon, H. A. (1970). *Comportamento Administrativo. Estudo dos Processos Decisórios nas Organizações Administrativas*. Rio de Janeiro: FGV .
- Simons, R. (1999). *How risk is your company*.
- Sivanandam, S., Sumathi, S., & Deepa, S. (2007). *Introduction to fuzzy logic using Matlab*. Springer.
- Skippon, S., & Garwood, M. (2011). Responses to battery electric vehicles: UK consumer attitudes and attributions of symbolic meaning following direct experience to reduce psychological distance. pp. 525-531.
- Smith, N. J. (2003). *Risk and Uncertainty (Construction Management Series)*. London UK: Thomas Telford.
- Stamatis, D. H. (1995). *Total quality service: principles, practices and implementation*. CRC Press.
- Steinhibler, S., Wells, P., & Thankappan, S. (2013). Socio-technics inertia: understanding the barriers to electric vehicles. *Energy policy*.

- Stulz, L. &. (2001). Risk Management: The reinvention of internal control and the changing role of internal audit.
- Tah, J., & Carr, V. (2000). A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic. Em *Construction Management & Economics* (pp. 491-500).
- Tidd, J. B. (2013). *Gestão da Inovação - Integração das Mudanças Tecnológicas, de Mercado e Organizacionais*. Lisboa: Monitor - Projetos e Edições, Lda.
- Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2003). *Gestão da inovação - Integração das Mudanças Tecnológicas, de Mercado e Organizacionais*. Lisboa: Monitor - Projectos e Edições Lda.
- Turner, J. R. (2005). The role of pilot studies in reducing risk on projects and programmes. *International Journal of Project Management*, 1-6.
- UNE-EN IEC 60812. (2018). *Análise dos modos de falha e efeitos (FMEA e FMECA)*.
- Vargas, R. V. (1998). *Gerenciamento de Projetos com o Microsoft Project 98*. Rio de Janeiro: BRASPORT Livros e Multimídia.
- Vet, J. M. (1993). Striving for International Competitiveness: Lessons from Electronics for Developing Countries. pp. 15-17.
- Wikipédia. (20 de 12 de 2021). Obtido de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Milestone>
- Wikipédia. (20 de dezembro de 2021). Obtido de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cluster>
- Wikipédia. (20 de dezembro de 2021). Obtido de <https://pt.wikipedia.org/wiki/Crisp>
- Wikipédia. (20 de dezembro de 2021). Obtido de https://pt.wikipedia.org/wiki/Programa_Apollo
- Wikipédia. (02 de janeiro de 2022). *Wikipédia*. Obtido de https://pt.wikipedia.org/wiki/Homo_economicus
- Wilkinson, A., Hill, M., & Gollan, P. J. (2001). The Sustainability Debate. *International Journal of Operations & Production Management*, 1492-1502.
- Wikipédia. (20 de dezembro de 2021). Obtido de https://pt.wikipedia.org/wiki/Economia_de_escala
- Woods, M. (2008). Linking risk management to strategic controls: a case study of Tesco plc. 8.
- Zadeh, L. (1996). On fuzzy algorithms. pp. 127-147.
- Zadeh, L. A. (2002). From computing with numbers to computing with words: from manipulation of measurements to manipulation of perceptions. Em T. D. Prof. Springer.

Zhang, Y., Yu, Y., & Zou, B. (2011). Analyzing public awareness and acceptance of alternative fuel vehicles in china: the case of EV. pp. 169-180.

Zimmermann, H. J. (1996). Fuzzy Control. Em F. S.-a. Applications. Springer.

ANEXOS

Anexo I

Área	Modo de Falha	Efeito	Causa	S	O	Controlo Prevenção	Controlo Detecção	D	RPN
Âmbito	Cliente solicita alterações na homologação do projeto	E1: Necessidade de replaneamento E2: Atrasos na entrega do projeto	C1: Âmbito definido incorretamente C2: Alterações do processo de produção C3: Alterações das necessidades do cliente	C: 8 A: 9 T: 8 Q: 8	4	Solicitação de mudança gerando um novo <i>baseline</i> ; Renegociação com o cliente das exigências/alterações a realizar	Acompanhamento permanente das alterações do mercado	4	C: 160 A: 180 T: 160 Q: 160
	Âmbito definido incorretamente/não é consistente	E1: Necessidade de redefinição do projeto E2: Cliente insatisfeito E3: Atrasos no projeto	C1: Gaps durante a definição do projeto C2: Equipa de projeto incompleta/não representativa C3: Atrasos na entrega C4: Não discussão das especificações com o cliente	C: 9 A: 10 T: 9 Q: 9	5		Detalhar o âmbito e as tarefas/responsabilidades de cada fase do projeto. Validar com o cliente e replanear o projeto	4	C: 270 A: 300 T: 270 Q: 270
	Incorreta definição do produto	E1: Produto não é inovador, diferenciador e competitivo	C1: Incorreta definição das características do produto C2: Ausência de estudos de mercado	C: 7 A: 8 T: 7 Q: 8	5			5	C: 175 A: 200 T: 175 Q: 200
	Falta de Materiais/Matérias no processo	E1: Falha de matérias E2: Atraso/quebra da produção E3: Aumento dos tempos de ciclo E4: aumento dos custo de produção e preço de venda	C1: Atraso na entrega dos materiais (fornecedor) C2: Atraso das transportadoras C3: Processos mal idealizado	C: 9 A: 8 T: 10 Q: 9	9	Realização de pedidos antecipadamente	Contacto permanente com fornecedores e transportadoras Acompanhamento do transporte de matérias Receção Técnica das Matérias (RTM). Substituição da transportadora.	5	C: 567 A: 504 T: 630 Q: 567
	Incorreta reestruturação do layout de produção	E1: Atrasos da produção para as operações seguintes	C1: Método de trabalho desajustado	C: 10 A: 8 T: 10	5	Registo das falhas dos fornecedores e receção técnica da matéria-prima		5	C: 360 A: 288 T: 360

Âmbito		E2: Aumento dos custos de produção E3: Afetação da qualidade do produto final	C2: Elevados tempos de ciclo C3: Aumento do custo de produção	Q: 7					Q: 252
	Emissões para o meio ambiente	E1: Afetação da imagem da organização no mercado E2: Clientes insatisfeitos	C1: Utilização de tecnologia obsoleta C2: Orçamento limitado C3: Baixo know-how da equipa de I&D	C: 7 A: 8 T: 4 Q: 9	5			5	C: 210 A: 240 T: 120 Q: 270
	Tecnologia da fonte de alimentação compromete o utilizador	E1: Elevado tempo de carregamento E2: Desinteresse do mercado E3: Produto não é competitivo	C1: Tecnologia ainda estudo C2: Baixo know-how da equipa de I&D C3: Orçamento limitado C4: Falta de infraestruturas	C: 9 A: 9 T: 8 Q: 10	5			5	C: 378 A: 378 T: 336 Q: 420
Custo	Orçamento insuficiente	E1: Falta de recursos financeiros para a execução do projeto E2: Limitação do âmbito do projeto E3: Projeto é abortado	C1: Repriorização do projeto C2: Novos projetos com ROI maior C3: Recursos financeiros limitados C4: Estratégia corporativa do cliente	C: 10 A: 9 T: 8 Q: 9	4	Controlo periódicos dos resultados financeiro	Alterações no <i>budget</i> despendido numa dada fase do projeto: exigidas quantias extra (monetárias, recursos, tempo, equipamentos). Fazer o replaneamento do projeto se necessário.	4	C: 420 A: 378 T: 336 Q: 420
	Aumento dos custos numa fase do projeto	E1: Aumento dos custos do projeto (aumento do custo de aquisição, menos lucro)	C1: Falta de acompanhamento dos custos de projeto	C:10 A: 7 T: 8 Q: 7	5			7	C: 560 A: 392 T: 448 Q: 392
	Elevados custos de manutenção para o <i>end-user</i>	E1: Clientes insatisfeitos E2: Acionistas insatisfeitos E3: Produto sem saída no mercado	C1: Rede de oficinas especialistas insuficiente C2: Elevados custos de manutenção	C: 8 A: 6 T: 5 Q: 9	6	Criação de um serviço após venda associado à marca com preços de manutenção competitivos	Acompanhamento das condições de mercado	5	C: 240 A: 180 T: 150 Q: 270

	Elevados custos de utilização/aquisição para o <i>end user</i>	E1: Desinteresse do mercado E2: Paragem/quebra de produção E3: Produto não é competitivo/opção de compra	C1: Valor inicial de investimento insuficiente C2: Empreendimento de valores extra numa fase do projeto	C: 9 A: 8 T: 8 Q: 8	6	Aposta no I&D: minimização dos custos de manutenção Melhoria contínua da tecnologia utilizada	Acompanhamento constante do mercado, da concorrência direta e indireta, criação de parcerias e alianças estratégicas	4	C: 270 A: 210 T: 180 Q: 240
	Falta de incentivos/políticas governamentais	E1: Aumento das emissões dos combustíveis fósseis E2: Degradação da qualidade do ar E3: Aumento do preço dos combustíveis fósseis E4: Não existência de postos de carregamento	C1: Desinteresse/preocupação dos governos na redução da emissão de GEE C2: Desinteresse das organizações em veículos alternativos	C: 9 A: 8 T: 7 Q: 8	3	Coordenação entre associações ambientais e governos. Criação de metas ambientais entre estados.	Falta de acompanhamento do governos no mercado de veículos alternativos; desinvestimento em infraestruturas	4	C: 270 A: 240 T: 210 Q: 240
	Estruturas desajustadas às necessidades de utilização	E1: Inexistência de rede de postos de carregamento E2: Desinteresse das organizações	C1: Falta de interesse/apoio do governo C2: Inexistência de alianças estratégicas com as empresas do setor elétrico	C: 9 A:10 T: 7 Q: 9	4	Na fase de planeamento do projeto devem ser tidas em conta as infraestruturas necessárias à utilização sem constrangimentos e suporte às necessidades de autonomia; Aposta em carregadores/postos de carregamento da marca.	Acompanhamento da satisfação do cliente: serviços após-venda, inquéritos de satisfação		C: 441 A: 490 T: 343 Q: 441
Qualidade	Processo não é LEAN	E1: Não conformidade do processo E2: Horas extra de trabalho E3: Número elevado de sucata	C1: Metodologia desenvolvida desadequada C2: Falta de capacitação dos recursos C3: Baixa qualidade de produção	C: 9 A: 8 T: 9 Q: 8	4			4	C: 324 A: 288 T: 324 Q: 324

	Ausência de conforto para o <i>end user</i>	E1: Cliente insatisfeito (perda de clientes) E2: Troca de veículo E3: Má reputação da marca no mercado	C1: Falta de interesse/preocupação pelo conforto do <i>end user</i> C2: Redução/Limitação do custo de produção C3: Gastos extras numa fase do projeto	C: 6 A: 7 T: 5 Q: 8	5	Aposta numa tecnologia silenciosa, estofos confortáveis	Inquéritos de satisfação, serviço após-venda, realização de testes ergonómicos, som, vibração	5	C:270 A: 240 T: 270 Q: 270
	Fraco desempenho: autonomia versus performance	E1: Não satisfaz as necessidades do cliente E2: Produto não é competitivo E3: Cliente insatisfeito	C1: Baixo investimento inicial ou gastos extra numa fase do projeto C2: Baixo <i>know how</i> da equipa de I&D C3: Desinteresse dos <i>stakeholders</i> C4: Ausência de concorrentes no mercado	C: 8 A: 5 T: 6 Q:10	5	Criação de parcerias com empresas do setor energético (relações de interesse)	Registo de quebras na venda de veículos. Desinteresse/Desinvestimento em projetos de I&D, desinteresse das marcas	4	C: 180 A: 210 T: 150 Q: 240
	Indisponibilidade dos recursos alocados	E1: Atraso na execução das tarefas, atraso no projeto	C1: Alocação dos recursos noutras projetos	C:10 A: 8 T: 9 Q:10	6	Solicitar libertação imediata dos recursos para o projeto ou solicitar recursos alternativos que não comprometem a execução do projeto	Gestor do Projeto deve ter uma atitude pró-ativa	4	C: 448 A: 448 T: 336 Q: 560
Recursos Humanos	Baixo know-how da MOD e Engenharia	E1: Aumento do esforço necessário para a execução da tarefa E2: Regras de negócio mal definidas	C1: Pouca/falta de experiência dos recursos humanos afetando a produção C2: Empresa não apela a formação dos seus funcionários	C: 10 A: 9 T: 9 Q: 10	5	Capacitação dos recursos e acompanhamento por pessoal experiente e operadores. Ajustar regras de negócio. Substituição imediata dos recursos.	Gestor de Projeto deve ter uma atitude pró-ativa	5	C: 350 A: 280 T: 315 Q: 350
	Timing de mercado	E1: Produto sem saída no mercado E2: Investimento não liquidado E3: Insatisfação do cliente	C1: Ausência de estudos de mercado C2: Erros de planeamento/conceção do produto	C: 8 A: 9 T: 10 Q: 9	4	Solicitar parecer formal que o projeto foi abortado. Renegociar prazo de entrega e solicitar	Reuniões periódicas entre os vários departamentos para recolha do status atual. Estudos de tempos e métodos aliados à realização de trainings.	5	C: 350 A: 315 T: 315 Q: 350

		E4: Aumento dos custos	C3: Falta de confiança nos fornecedores e/ou transportadoras C4: Alterações do âmbito devido a novas exigências do mercado			mudanças/alterações necessárias.	Replaneamento do cronograma de atividades.		
Tempo	Informação distribuída de diversas formas	E1: Falha de Informação de uma determinada decisão/assunto	C1: Não existência de um canal de comunicação eficaz e atempado	C: 7 A: 7 T: 8 Q: 8	6		Centralizar a comunicação formal do projeto através do gestor de projeto. Criação de “atas” de alterações.	5	C: 288 A: 324 T: 360 Q: 324
Comunicação	Falha de comunicação entre os setores da empresa	E1: Falhas graves nos processos E2: Erros na especificação de necessidades de matérias/recursos	C1: Funcionários não instruídos da importância da comunicação entre departamentos (cultura organizacional) C2: Ausência de canais de comunicação eficazes C3: Desorganização organizacional	C: 9 A: 9 T: 8 Q: 9	6		Centralizar a comunicação formal do projeto através do gestor de projeto. Instruir os funcionários para a importância das informações alinhadas à estratégia e ao sucesso da empresa Providenciar canais de comunicação eficientes, como walk talk, etc.	6	C: 324 A: 324 T: 288 Q: 324
	Erro de comunicação entre a empresa e o cliente	E1: Erros na especificação do produto E2: produto não vai ao encontro das necessidades do mercado E3: Não é competitivo E4: Custos extra do projeto E5: Prejuízos para a organização	C1: Falta de metodologias de identificação das necessidades do mercado C2: Falta de objetividade do cliente	C: 9 A: 10 T: 9 Q: 9	6		Centralizar a comunicação formal do projeto através do gestor de projeto. Criação de “atas” de alterações. Revisão das metodologias a aplicar para identificar as necessidades do cliente.	6	C: 324 A: 360 T: 324 Q: 324

Anexo II

```
[System]
Name='Risco_1Modelo'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=37
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='Severidade'
Range=[0 10]
NumMFs=5
MF1='Nenhuma':'trimf',[0 0 2.5]
MF2='MÃ©dia':'trimf',[2.5 5 7.5]
MF3='CrÃ¡tica':'trimf',[7.5 10 10]
MF4='Baixa':'trimf',[0 2.5 5]
MF5='Alta':'trimf',[5 7.5 10]
```

```
[Input2]
Name='OcorrÃªncia'
Range=[0 10]
NumMFs=5
MF1='Quase_ImpossÃ¡vel':'trimf',[0 0 2.5]
MF2='MÃ©dia':'trimf',[2.5 5 7.5]
MF3='Quase_Certa':'trimf',[7.5 10 10]
MF4='Baixa':'trimf',[0 2.5 5]
MF5='Alta':'trimf',[5 7.5 10]
```

```
[Output1]
Name='Risco'
Range=[0 100]
NumMFs=4
MF1='Baixa':'trimf',[0 0 33.33333333333333]
MF2='Alta':'trimf',[33.33333333333333 66.66666666666667 100]
MF3='CrÃ¡tica':'trimf',[66.66666666666667 100 100]
MF4='MÃ©dio':'trimf',[0 33.33333333333333 66.66666666666667]
```

```
[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 5, 1 (1) : 1
1 3, 1 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1
4 4, 1 (1) : 1
4 2, 1 (1) : 1
4 2, 4 (1) : 1
4 5, 1 (1) : 1
4 5, 4 (1) : 1
4 3, 1 (1) : 1
4 3, 4 (1) : 1
2 1, 1 (1) : 1
```

```

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

```

```

[System]
Name='RPN_2Modelo'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

```

```

[Input1]
Name='Risco'
Range=[0 100]
NumMFs=4
MF1='Baixa':'trimf',[0 0 33.33333333333333]
MF2='Alta':'trimf',[33.33333333333333 66.66666666666667 100]
MF3='CrÃ-tica':'trimf',[66.66666666666667 100 100]
MF4='MÃ©dia':'trimf',[0 33.33333333333333 66.66666666666667]

```

```

[Input2]
Name='Detetabilidade'
Range=[0 10]
NumMFs=5
MF1='Quase_Certa':'trimf',[0 0 2.5]
MF2='MÃ©dia':'trimf',[2.5 5 7.5]
MF3='Quase_ImpossÃ-vel':'trimf',[7.5 10 10]
MF4='Alta':'trimf',[0 2.5 5]
MF5='Baixa':'trimf',[5 7.5 10]

```

```

[Output1]
Name='RPN'
Range=[0 1000]

```

```
NumMFs=4
MF1='Baixa': 'trimf', [0 0 333.3333333333333]
MF2='Alta': 'trimf', [333.3333333333333 666.6666666666667 1000]
MF3='CrÃ-tica': 'trimf', [666.6666666666667 1000 1000]
MF4='MÃdia': 'trimf', [0 333.3333333333333 666.6666666666667]
```

```
[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1
2 1, 1 (1) : 1
3 1, 1 (1) : 1
1 4, 1 (1) : 1
4 4, 1 (1) : 1
2 4, 1 (1) : 1
2 4, 4 (1) : 1
3 4, 1 (1) : 1
3 4, 4 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
4 2, 1 (1) : 1
4 2, 4 (1) : 1
2 2, 4 (1) : 1
3 2, 4 (1) : 1
3 2, 2 (1) : 1
1 5, 1 (1) : 1
4 5, 1 (1) : 1
4 5, 4 (1) : 1
2 5, 4 (1) : 1
2 5, 2 (1) : 1
3 5, 2 (1) : 1
3 5, 3 (1) : 1
1 3, 1 (1) : 1
4 3, 4 (1) : 1
2 3, 2 (1) : 1
3 3, 3 (1) : 1
```


Anexo III

Regras de Inferência – Risco_1Modelo

1. IF Severidade is Nenhuma AND Ocorrencia is Quase_Impossivel THEN Risco is Baixo
2. IF Severidade is Nenhuma AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Baixo
3. IF Severidade is Nenhuma AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Baixo
4. IF Severidade is Nenhuma AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Baixo
5. IF Severidade is Nenhuma AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Baixo
6. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Quase_Impossivel THEN Risco is Baixo
7. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Baixo
8. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Baixo
9. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Medio
10. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Baixo
11. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Medio
12. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Baixo
13. IF Severidade is Baixa AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Medio
14. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Quase_Impossivel THEN Risco is Baixo
15. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Baixo
16. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Medio
17. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Medio
18. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Medio
19. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Alta
20. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Medio
21. IF Severidade is Media AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Alta
22. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Quase_Impossivel THEN Risco is Baixo
23. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Baixo
24. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Medio
25. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Medio
26. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Alta
27. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Alta
28. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Alta
29. IF Severidade is Alta AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Critica
30. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Quase_Impossivel THEN Risco is Baixo
31. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Baixo
32. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Baixa THEN Risco is Medio
33. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Medio
34. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Media THEN Risco is Alta
35. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Alta
36. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Alta THEN Risco is Critica
37. IF Severidade is Perigosa AND Ocorrencia is Quase_Certa THEN Risco is Critica

Regras de Inferência – RPN_2Modelo

1. IF Detecao is Quase_Certa AND Risco is Baixo THEN RPN is Baixo
2. IF Detecao is Quase_Certa AND Risco is Medio THEN RPN is Baixo
3. IF Detecao is Quase_Certa AND Risco is Alto THEN RPN is Baixo
4. IF Detecao is Quase_Certa AND Risco is Critico THEN RPN is Baixo
5. IF Detecao is Alta AND Risco is Baixo THEN RPN is Baixo
6. IF Detecao is Alta AND Risco is Medio THEN RPN is Baixo
7. IF Detecao is Alta AND Risco is Alto THEN RPN is Baixo

8. IF Detecao is Alta AND Risco is Alto THEN RPN is Medio
9. IF Detecao is Alta AND Risco is Critico THEN RPN is Baixo
10. IF Detecao is Alta AND Risco is Critico THEN RPN is Medio
11. IF Detecao is Media AND Risco is Baixo THEN RPN is Baixo
12. IF Detecao is Media AND Risco is Medio THEN RPN is Medio
13. IF Detecao is Media AND Risco is Medio THEN RPN is Baixo
14. IF Detecao is Media AND Risco is Alto THEN RPN is Medio
15. IF Detecao is Media AND Risco is Critico THEN RPN is Medio
16. IF Detecao is Media AND Risco is Critico THEN RPN is Alto
17. IF Detecao is Baixa AND Risco is Baixo THEN RPN is Baixo
18. IF Detecao is Baixa AND Risco is Medio THEN RPN is Baixo
19. IF Detecao is Baixa AND Risco is Medio THEN RPN is Medio
20. IF Detecao is Baixa AND Risco is Alto THEN RPN is Medio
21. IF Detecao is Baixa AND Risco is Alto THEN RPN is Alto
22. IF Detecao is Baixa AND Risco is Critico THEN RPN is Alto
23. IF Detecao is Baixa AND Risco is Critico THEN RPN is Critico
24. IF Detecao is Quase_Impossivel AND Risco is Baixo THEN RPN is Baixo
25. IF Detecao is Quase_Impossivel AND Risco is Medio THEN RPN is Medio
26. IF Detecao is Quase_Impossivel AND Risco is Alto THEN RPN is Alto
27. IF Detecao is Quase_Impossivel AND Risco is Critico THEN RPN is Critico