



# ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



**Departamento de Humanidades e Gestão**

**ASPOF AN José Manuel Sousa D'Almeida**

**Priorização das tecnologias com interesse para a Defesa**

**Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão**

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,  
na especialidade de Administração Naval**



**Alfeite  
2023**





# ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



**ASPOF AN José Manuel Sousa D'Almeida**

**Priorização das tecnologias com interesse para a Defesa**

***Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão***

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, com  
especialização em Administração Naval**

Orientação de: Prof. AUX Pedro Borda de Água

Coorientação de: Prof. ASS Anacleto Cortez e Correia

O Aluno Mestrando



ASPOF AN José D'Almeida

O Orientador<sup>1</sup>



Professor Doutor Pedro Borda de Água

**Alfeite**

**2023**



## Epígrafe

“Perception is strong and sight weak. In strategy it is important to see distant things as if they were close and to take a distanced view of close things. Perceive that which cannot be seen with the eye.”

“A percepção é forte e a visão é fraca. Na estratégia é importante ver as coisas distantes como se estivessem próximas e adotar um ponto de vista distante das coisas próximas. Visualize o que não pode ser visto pelos olhos.”

Miyamoto Musashi



## **Dedicatória**

À minha família, amigos e namorada.



## Agradecimentos

Dedico este espaço para agradecer às pessoas que contribuíram para o meu sucesso nesta etapa final da minha formação acadêmica e militar.

Gostaria de expressar a minha gratidão em primeiro lugar ao meu orientador, Sr. Professor Doutor Pedro Borda de Água, pela sua disponibilidade e paciência para me ajudar ao longo dos meses que foram dedicados à elaboração desta dissertação. Todo o conhecimento e pensamento crítico transmitidos foram sem dúvida ferramentas indispensáveis à conclusão desta etapa da minha formação.

Em segundo lugar, agradeço ao meu coorientador, Sr. Professor Doutor Anacleto Cortez e Correia, por todo o conhecimento técnico transmitido na elaboração desta dissertação e por toda a sua disponibilidade para me auxiliar a superar os desafios que foram surgindo.

À guarnição do NRP *Sagres* por me terem acolhido ao longo de três meses e por me terem sempre motivado para a elaboração da minha dissertação.

A todos os especialistas da Defesa que contribuíram com o seu conhecimento para o fornecimento de dados imprescindíveis à elaboração desta dissertação.

A todos os meus camaradas e amigos pelos momentos partilhados ao longo destes anos e pelo apoio incondicional que me deram nos bons e nos maus momentos.

À minha namorada Beatriz por todo o apoio e carinho demonstrados nesta fase muito importante da minha vida, mantendo-me sempre ciente dos meus objetivos e motivando-me nos momentos onde o cansaço se manifestava.

Por fim, quero agradecer à minha família por tudo o que fizeram por mim ao longo da minha vida. O vosso apoio e motivação para ir mais além tornaram-me na pessoa que sou hoje. A minha felicidade devo-a a vocês.

A todos, muito obrigado.



## Resumo

Ao longo das últimas décadas, as Forças Armadas Portuguesas (FFAAP) têm vivido períodos de dificuldade de recursos, nomeadamente a nível tecnológico. Parte dessa falta de recursos tecnológicos advém da diminuição do risco de ameaça de conflito armado de larga escala que se fez sentir no período pós-Guerra Fria, levando a um alívio da procura por inovação tecnológica e equipamento das FFAAP. A falta de recursos da Indústria de Defesa de Portugal constitui uma enorme adversidade à inovação e desenvolvimento tecnológico das FFAAP, sendo que parte das tecnologias existentes não são as mais adequadas às necessidades e exigências do mundo atual.

Como tal, chegou-se a um ponto em que são inúmeras as necessidades tecnológicas da Defesa, as quais necessitam de ser priorizadas para cumprir com os objetivos atuais. Pretende-se com esta investigação desenvolver um sistema de apoio à decisão que priorize as tecnologias emergentes e disruptivas com interesse para a Defesa Nacional. Assim, a criação deste sistema irá basear-se na demonstração de uma metodologia robusta no campo do *Decision Making*.

São feitas várias pontes conceituais entre as tecnologias disruptivas emergentes na Defesa, tidas em conta pela *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) e pela *European Defence Agency* (EDA), e os critérios de decisão definidos pelos *Subject Matter Experts* (SME), isto é, um grupo de peritos em matérias relacionadas com tecnologias de Defesa, a nível nacional. Estes mesmo peritos selecionados contribuíram com as suas opiniões fundamentadas para a criação do sistema de apoio à decisão. O modelo desenvolvido baseia-se num sistema de lógica difusa, tendo por base os critérios de decisão atribuídos pelos SME às várias tecnologias disruptivas de Defesa.

Embora o número reduzido de peritos que colaboraram com esta investigação, os resultados obtidos permitiram reconhecer a utilidade da lógica difusa no apoio à decisão.

**Palavras-Chave:** Decisão; Indústria de Defesa; Lógica Difusa; Peritos da Defesa; Tecnologias Disruptivas.



## Abstract

Over the last few decades, the Portuguese Armed Forces (PAF) have experienced periods of resource constraints, particularly technological ones. Part of this lack of technological resources stems from the reduction in the risk of large-scale armed conflicts in the post-Cold War period, leading to a reduction in demand for technological innovation and equipment in the PAF. The Portuguese defense industry's lack of resources is a huge obstacle to innovation and technological development in the FFAAP, and some of the existing technologies are not the most appropriate for the needs and demands of today's world.

As such, Defence's technological needs have reached a point where they need to be prioritized in order to meet current objectives. The aim of this research is to develop a decision support system that prioritizes emerging and disruptive technologies of interest to National Defence. Thus, the creation of this system will be based on the demonstration of a robust methodology in the field of Decision Making.

Several conceptual bridges are made between the emerging disruptive technologies in Defence, taken into account by the North Atlantic Treaty Organization (*NATO*) and the European Defence Agency (EDA), and the decision criteria defined by the Subject Matter Experts (SME), i.e. a group of experts in matters related to Defence technologies, at national level. These same selected experts contributed their informed opinions to the creation of the decision support system. The model developed is based on a fuzzy logic system, based on the decision criteria assigned by the EMS to the various disruptive Defense technologies.

Despite the small number of experts who collaborated in this research, the results obtained made it possible to recognize the usefulness of fuzzy logic in decision support.

**Keywords:** Decision; Defence Experts; Defence Industry; Disruptive Technologies; Fuzzy Logic.



## Índice

|                                                                              |       |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Epígrafe .....                                                               | v     |
| Dedicatória .....                                                            | vii   |
| Agradecimentos .....                                                         | ix    |
| Resumo .....                                                                 | xi    |
| Abstract .....                                                               | xiii  |
| Índice .....                                                                 | xv    |
| Índice de Figuras .....                                                      | xix   |
| Índice de Tabelas .....                                                      | xxi   |
| Índice de Gráficos .....                                                     | xxiii |
| Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos .....                              | xxv   |
| INTRODUÇÃO .....                                                             | 1     |
| Enquadramento .....                                                          | 1     |
| Definição do Problema .....                                                  | 2     |
| Objetivo e Questões de Investigação .....                                    | 3     |
| Metodologia de pesquisa .....                                                | 4     |
| Estrutura .....                                                              | 6     |
| 1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....                                   | 9     |
| 1.1. PROTOCOLO DA REVISÃO DE LITERATURA - PRISMA .....                       | 9     |
| 1.1.1. Identificação e Rastreio .....                                        | 10    |
| 1.1.2. Elegibilidade e Inclusão .....                                        | 12    |
| 1.2. ANÁLISE CONCEPTUAL E ESTADO DA ARTE .....                               | 12    |
| 1.2.1. Indústria militar .....                                               | 13    |
| 1.2.2. Lógica difusa em sistemas de apoio à decisão .....                    | 15    |
| 1.2.2.1 Modelo Mamdani .....                                                 | 16    |
| 2. TECNOLOGIAS EMERGENTES E DISRUPTIVAS DE DEFESA .....                      | 19    |
| 2.1. INDÚSTRIA DE DEFESA E BTID PORTUGAL .....                               | 19    |
| 2.1.1. Evolução industrial da Defesa internacional .....                     | 20    |
| 2.2. TECNOLOGIAS DISRUPTIVAS .....                                           | 24    |
| 2.2.1. Tecnologias emergentes e disruptivas do quadro da NATO e da EDA ..... | 27    |
| 2.2.2. NATO Innovation Fund .....                                            | 31    |
| 3. CRIAÇÃO DO MODELO DE LÓGICA DIFUSA .....                                  | 35    |

|         |                                                                   |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.    | ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO E MATRIZ DE RELAÇÃO DE VARIÁVEIS ..... | 35 |
| 3.1.1.  | Perfil demográfico.....                                           | 35 |
| 3.1.2.  | Nível de relevância das EDT .....                                 | 38 |
| 3.1.3.  | Nível de relevância dos critérios de aquisição.....               | 39 |
| 3.1.4.  | Regras de inferência difusa.....                                  | 39 |
| 3.1.5.  | Matriz de relação de variáveis .....                              | 40 |
| 3.2.    | DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO.....              | 40 |
| 3.2.1.  | Metodologia .....                                                 | 41 |
| 3.2.2.  | Variáveis de entrada .....                                        | 42 |
| 3.2.3.  | Discriminação das tecnologias.....                                | 45 |
| 3.2.4.  | Variável de saída .....                                           | 46 |
| 4.      | EXECUÇÃO DO MODELO DE LÓGICA DIFUSA.....                          | 51 |
| 4.1.    | APLICAÇÃO DOS DADOS .....                                         | 51 |
| 4.1.1.  | Inteligência Artificial e Big Data Analytics .....                | 51 |
| 4.1.2.  | Veículos não tripulados .....                                     | 52 |
| 4.1.3.  | Sistemas de armas autónomas .....                                 | 52 |
| 4.1.4.  | Criptografia quântica.....                                        | 53 |
| 4.1.5.  | Nanotecnologia .....                                              | 54 |
| 4.1.6.  | Veículos autónomos terrestres.....                                | 54 |
| 4.1.7.  | Realidade Aumentada e Virtual.....                                | 55 |
| 4.1.8.  | Robótica militar .....                                            | 56 |
| 4.1.9.  | Tecnologias de camuflagem .....                                   | 56 |
| 4.1.10. | Impressão 3D .....                                                | 57 |
| 4.1.11. | Tecnologias de propulsão e energia renovável .....                | 58 |
| 4.1.12. | Biotecnologia .....                                               | 58 |
| 4.1.13. | Tecnologia espacial.....                                          | 59 |
| 4.1.14. | Cibersegurança.....                                               | 60 |
| 4.1.15. | Tecnologia de armas hipersónicas .....                            | 60 |
| 4.1.16. | Materiais inovadores .....                                        | 61 |
| 4.2.    | RESULTADOS OBTIDOS.....                                           | 61 |
|         | CONCLUSÃO .....                                                   | 65 |
|         | LIMITAÇÕES ENCONTRADAS .....                                      | 65 |
|         | RECOMENDAÇÕES FUTURAS .....                                       | 66 |
|         | BIBLIOGRAFIA.....                                                 | 67 |

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| APÊNDICES.....                                                                                    | 71  |
| Apêndice A - Estrutura do Questionário .....                                                      | 72  |
| Apêndice B - Estrutura da matriz de relação de variáveis .....                                    | 86  |
| Apêndice C - Relevância das EDT dada pelos SME através do questionário.....                       | 87  |
| Apêndice D - Relevância dos critérios de aquisição dada pelos SME através do<br>questionário..... | 88  |
| Apêndice E - Código do programa .....                                                             | 89  |
| ANEXOS .....                                                                                      | 112 |
| Anexo I - Princípios de lógica difusa.....                                                        | 113 |
| Anexo II - Comparação entre lógica clássica e lógica difusa.....                                  | 114 |
| Anexo III - Checklist protocolo PRISMA.....                                                       | 115 |



## Índice de Figuras

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Planeamento para obter respostas ao problema de pesquisa. Extraído de Raupp <i>et al.</i> (2006)..... | 4  |
| Figura 2: Framework para a análise do estudo de caso. Extraído de (Pedron, 2008).....                           | 5  |
| Figura 3: Revisão de Literatura PRISMA.....                                                                     | 10 |
| Figura 4: Fase de Identificação e Rastreio .....                                                                | 11 |
| Figura 5: Pesquisa Primária .....                                                                               | 11 |
| Figura 6: Elegibilidade e Inclusão .....                                                                        | 12 |
| Figura 7: Estrutura do sistema de inferência de Mamdani. Extraído de (Nizar Chatti, 2010).16                    |    |
| Figura 8: Áreas de atuação da BTID .....                                                                        | 20 |
| Figura 9: Idade dos SME .....                                                                                   | 36 |
| Figura 10: Função na Defesa.....                                                                                | 36 |
| Figura 11: Categoria dos SME .....                                                                              | 37 |
| Figura 12: Ramo das Forças Armadas.....                                                                         | 37 |
| Figura 13: Tempo na atual função.....                                                                           | 38 |
| Figura 14: Nível de conhecimento em Tecnologias de Defesa dos SME.....                                          | 38 |
| Figura 15: Antecedentes do modelo de lógica difusa.....                                                         | 42 |
| Figura 16: Funções pertença - Importância Tecnológica (input) .....                                             | 43 |
| Figura 17: Funções pertença - Variável linguística (input).....                                                 | 44 |
| Figura 18: Dicionário aninhado para discriminação de tecnologias.....                                           | 45 |
| Figura 19: Funções pertença - Prioridade Tecnológica (output).....                                              | 46 |
| Figura 20: Gráfico de prioridade tecnológica - AI .....                                                         | 51 |
| Figura 21: Gráfico de prioridade tecnológica - Veículos não tripulados.....                                     | 52 |
| Figura 22: Gráfico de prioridade tecnológica - Sistemas de armas autónomas .....                                | 53 |
| Figura 23: Gráfico de prioridade tecnológica - Criptografia quântica .....                                      | 53 |
| Figura 24: Gráfico de prioridade tecnológica - Nanotecnologia.....                                              | 54 |
| Figura 25: Gráfico de prioridade tecnológica - Veículos autónomos terrestres.....                               | 55 |
| Figura 26: Gráfico de prioridade tecnológica - Realidade aumentada e virtual.....                               | 55 |
| Figura 27: Gráfico de prioridade tecnológica – Robótica militar .....                                           | 56 |
| Figura 28: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de camuflagem.....                                   | 57 |
| Figura 29: Gráfico de prioridade tecnológica - Impressão 3D.....                                                | 57 |
| Figura 30: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de propulsão.....                                    | 58 |
| Figura 31: Gráfico de prioridade tecnológica - Biotecnologia.....                                               | 59 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 32: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologia espacial.....                   | 59  |
| Figura 33: Gráfico de prioridade tecnológica - Cibersegurança .....                       | 60  |
| Figura 34: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de armas hipersónicas .....    | 60  |
| Figura 35: Gráfico de prioridade tecnológica - Materiais inovadores.....                  | 61  |
| Figura 36: Radarchart- Resultados obtidos.....                                            | 62  |
| Figura 37: Ilustração de Lógica Booleana e Lógica Difusa. Adaptado de (Sintra, 2021)..... | 113 |

## Índice de Tabelas

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Avaliação do impacto de tecnologias militares potencialmente disruptivas: problemas e possíveis causas de raiz. Extraído de Bartolomeu & Água. (2022)..... | 26  |
| Tabela 2: Parâmetros das funções de pertença - Importância Tecnológica .....                                                                                         | 43  |
| Tabela 3: Parâmetros das funções de pertença - Variáveis Linguísticas .....                                                                                          | 44  |
| Tabela 4: Parâmetros das funções de pertença – Prioridade Tecnológica .....                                                                                          | 46  |
| Tabela 5: Prioridade final das Tecnologias Emergentes e disruptivas inseridas no modelo ...                                                                          | 62  |
| Tabela 6: Comparação entre Lógica Booleana e Lógica difusa .....                                                                                                     | 114 |



## Índice de Gráficos

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1: Despesa militar dos EUA (1949-1991). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023).....     | 20 |
| Gráfico 2: Despesa militar de Portugal (1949-1991). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023)..... | 21 |
| Gráfico 3: Despesa militar de Portugal (1992-2022). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023)..... | 22 |



## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

**BTID** - Base Tecnológica e Industrial de Defesa

**BTIDE** - Base Tecnológica e Industrial de Defesa Europeia

**DIANA** - *Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*

**EDA** - *European Defense Agency*

**EDT** - Tecnologias Emergentes e Disruptivas

**ESA** - Agência Espacial Europeia

**EUA** - Estados Unidos da América

**FFAAP** - Forças Armadas Portuguesas

**IA** - Inteligência Artificial

**IdD** - Indústria de Defesa

**I&D** - Investigação e Desenvolvimento

**NATO** - Organização do Tratado do Atlântico Norte

**PAF** - *Portuguese Armed Forces*

**PIB** - Produto Interno Bruto

**PME** - Pequenas e Médias Empresas

**PRISMA** - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

**QP** - Questão Principal

**QD** - Questão Derivada

**RSL** - Revisão sistemática da literatura

**SAD** - Sistema de Apoio à Decisão

**SME** - *Subject Matter Experts*



## **Introdução**

A introdução encontra-se subdividida em quatro secções. Numa primeira fase, é feito um enquadramento temático, de forma a facilitar a compreensão do âmbito da dissertação. Numa segunda instância, é definido o problema que é objeto de estudo desta investigação. Posteriormente, são enunciados os objetivos da investigação e as questões a serem respondidas no desenvolvimento do tema. Na quarta subsecção, é apresentada a metodologia científica da dissertação. Por fim, a última subsecção, consiste na definição da estrutura da dissertação na qual é feita a descrição do conteúdo dos vários capítulos que a constituem.

## **Enquadramento**

Numa era de caos, instabilidade e incerteza, o processo de tomada de decisão torna-se cada vez menos linear. Esta dificuldade faz-se sentir muitas vezes no contexto estratégico-militar, de tal modo que constitui uma enorme adversidade à execução da missão da Defesa Nacional. O sucesso das organizações militares depende, essencialmente, das decisões que são tomadas nas mais variadas áreas. É, portanto, imprescindível para a soberania de uma nação, que a sua Defesa Nacional adote métodos capazes de auxiliar o processo de tomada de decisão.

Torna-se, assim, relevante mencionar a importância do contributo das Forças Armadas e da indústria relacionada com a Defesa para uma nação. A procura contínua por uma melhoria da qualidade da prestação do serviço das Forças Armadas impulsiona o desenvolvimento tecnológico e industrial de um país. As áreas como comunicações, tecnologias da informação, medicina, transporte e energia, são fortemente beneficiadas pelo investimento em investigação e desenvolvimento (I&D) por parte das organizações militares. Os desenvolvimentos nestas áreas beneficiam não apenas o setor militar, mas também a sociedade em geral. Contudo, o desenvolvimento tecnológico, o acréscimo de responsabilidades e exigências da sociedade, representam um grande desafio para a Defesa Nacional.

Devido à tensão que se tem vivido a nível mundial relativamente a assuntos de conflito, com especial foco na situação da Guerra na Ucrânia, cada vez mais os

compromissos da Organização do Tratado do Atlântico Norte (*NATO*) devem ser assegurados de forma a manter um clima de paz, segurança e bem-estar na vida dos cidadãos. É de especial relevância que os Países-Membros tomem medidas preventivas e corretivas relativamente a assuntos de Defesa, para que possam prevenir e antecipar este tipo de conflitos. Enquanto membro da *NATO*, Portugal necessita de garantir padrões de sustentabilidade tecnológica para que possa estar na vanguarda da inovação militar. É pertinente que seja feito um estudo das capacidades da Base Tecnológica e Industrial da Defesa (BTID) de Portugal para perceber o seu estado evolutivo e a capacidade de equipamento e sustentação tecnológico das FFAAP.

## **Definição do Problema**

Torna-se relevante, a título introdutório, efetuar uma análise etimológica de conceitos. Genericamente, as palavras tecnologia e técnica encontram-se diretamente relacionadas, uma vez que ambas têm origem da palavra grega *techné*, que consiste em fabricar, produzir, construir (Veraszto, 2009).

Inovação e desenvolvimento são coisas que naturalmente surgem com a criação e utilização de novas tecnologias. No entanto, acarretam grandes responsabilidades devido às repercussões que possam daí surgir.

Relativamente à implementação de tecnologia na Defesa Nacional, existem diversas variáveis a ter em conta. Variáveis como o investimento financeiro necessário devem ser tidas em conta, nomeadamente em períodos de restrição orçamental e escassez de recursos. Por outro lado, as novas tecnologias a serem implementadas requerem o treino e formação dos militares que as operam. A preparação para a sua utilização pode ter restrições ao nível do tempo e recursos necessários. Assim, torna-se necessário avaliar as disponibilidades para que as tecnologias sejam implementadas e operadas com sucesso.

As novas tecnologias podem também enfrentar desafios de interoperabilidade. Esta barreira traduz-se não só pela falta de compatibilidade entre as novas e as tecnologias já existentes, como também entre os vários ramos das Forças Armadas e a interoperabilidade com aliados. Alguns dos militares podem preferir recorrer aos métodos tradicionais constituindo, assim, um problema de resistência à mudança.

Muitas das barreiras acima mencionadas, revêm-se na realidade das FFAAP, algumas de forma significativa. Novas tecnologias que melhor se adequam às necessidades e objetivos da Defesa Nacional acabam por não ser implementadas devido às barreiras que a sua integração acarreta.

Portugal enfrenta grandes desafios no que diz respeito ao equipamento, sustentação e desenvolvimento tecnológico das Forças Armadas. Chegou-se a um ponto em que as necessidades são numerosas e que não existe um rumo certo para a implementação e priorização dessas tecnologias. A opinião nesta matéria é por vezes incerta, uma vez que cada perito na sua área tem o seu *Know-how* e, conseqüentemente, uma opinião distinta dos demais relativamente às prioridades tecnológicas da Defesa. Portanto, torna-se necessário e pertinente priorizar as tecnologias que a Defesa Nacional necessita ou deve seguir.

### **Objetivo e Questões de Investigação**

O objetivo principal da presente dissertação é estabelecer prioridades nacionais de entre as tecnologias emergentes e disruptivas (EDT) que foram estabelecidas pela NATO e pela EDA. Pretende-se fazer um levantamento aos peritos da Defesa de regras de priorização, critérios e regras de aquisição de EDT.

A questão principal (QP) que se pretende responder com esta investigação é a seguinte:

**Como atribuir prioridades às tecnologias disruptivas de Defesa emergentes no quadro da NATO e da EDA?**

Da QP surgem as questões derivadas (QD) que procuram dar uma resposta com uma base fundamentada à QP. Nesta dissertação, surgem as seguintes QD:

- **QD1:** Qual foi a evolução da despesa militar de Portugal?
- **QD2:** Quais são as tecnologias disruptivas estabelecidas pela NATO e pela EDA?
- **QD3:** Quais são as variáveis de decisão para a priorização tecnologias na Defesa?

Ao longo dos vários capítulos, são dadas as respostas às QD. Uma vez encontradas as respostas às QD, será possível atribuir uma resposta fundamentada à QP.

## Metodologia de pesquisa

A produção de conhecimento em problemas de investigação requer, primeiramente, a consideração da abordagem metodológica a ser adotada. A escolha da metodologia é orientada por critérios que se alinham aos objetivos e propósitos da investigação, bem como à natureza e formulação do problema, à sua questão central e às questões derivadas. Assim, a definição da metodologia é resultado da formulação do problema e da especificação dos objetivos.

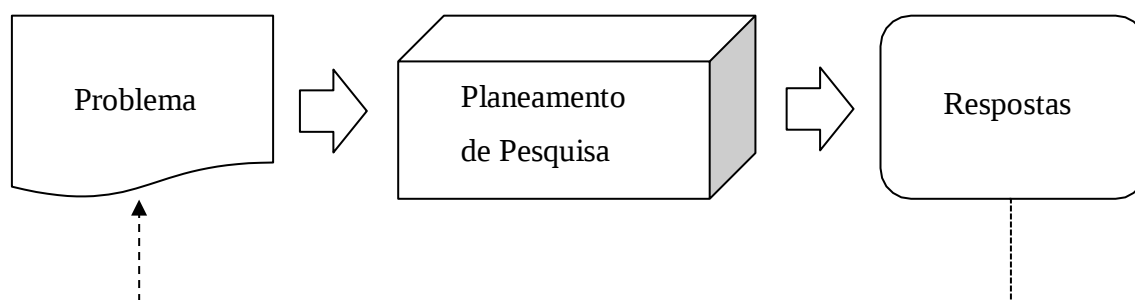


Figura 1: Planeamento para obter respostas ao problema de pesquisa. Extraído de Raupp *et al.* (2006)

Feita a definição do objetivo da investigação, efetuou-se uma pesquisa exploratória com o intuito de obter um entendimento geral sobre a natureza do problema. Um dos métodos utilizados em trabalhos de investigação é o estudo de caso. A investigação de estudo de caso, permite a exploração e compreensão de questões complexas. Pode ser considerado um método de investigação robusto, especialmente quando é necessária uma investigação holística e aprofundada sobre determinado tema (Zainal, 2007).

Conforme Yin as questões “Como” e “Porquê” são mais explanatórias e passíveis de conduzir ao uso de estudos de caso (Yin, 1994). Deste modo, considera-se adequado aos objetivos desta dissertação o recurso a este método de investigação.

O estudo de caso segue os passos mencionados na figura seguinte:

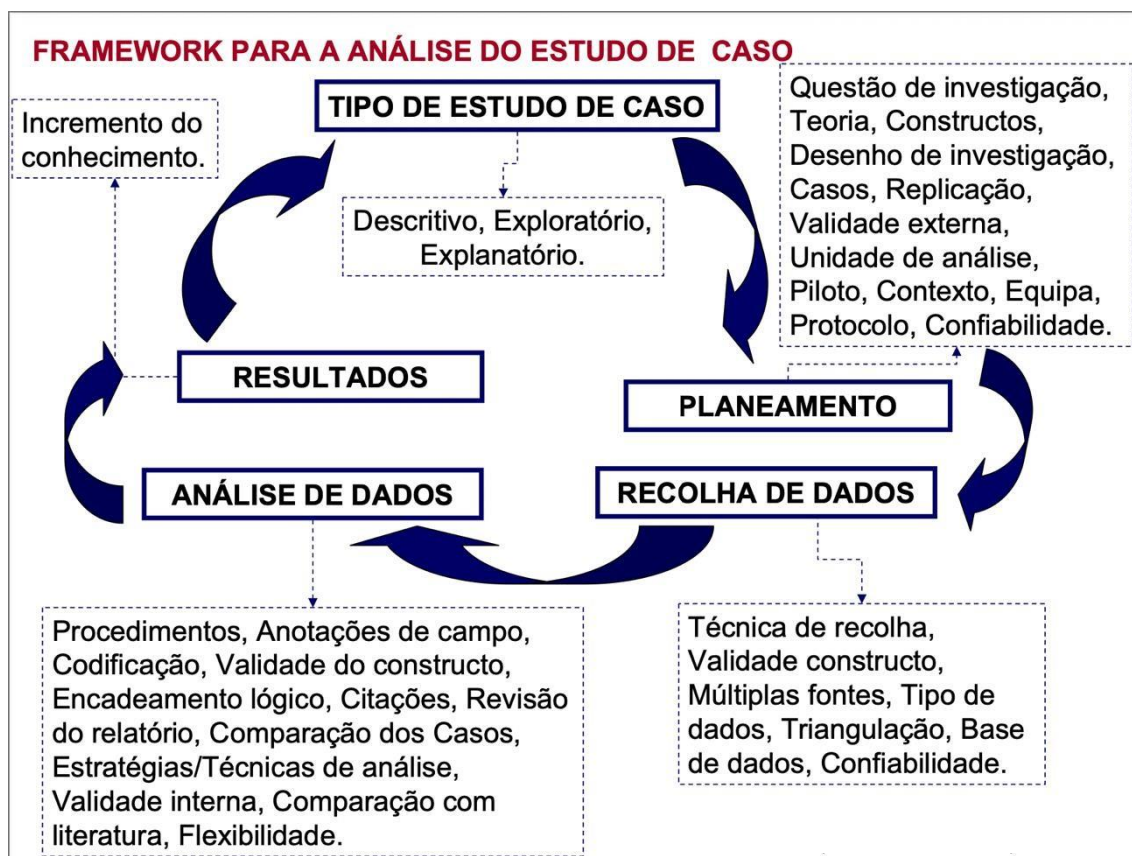


Figura 2: Framework para a análise do estudo de caso. Extraído de (Pedron, 2008)

O primeiro passo consiste na definição do tipo de estudo de caso. Sendo o objetivo desta dissertação estabelecer prioridades nacionais entre as EDT que foram estabelecidas pela NATO e pela EDA, aplica-se o estudo de caso do tipo explanatório único. De acordo com Meirinhos *et al.* (2010), os estudos explanatórios procuram informação que possibilite o estabelecimento de relações de causa-efeito, ou seja, procuram a causa que melhor explica o fenómeno estudado e todas as suas relações causais. (Meirinhos *et al.* , 2010).

O segundo passo traduz-se no planeamento do caso de estudo. O planeamento passa pela definição das questões, da teoria e estrutura da investigação, tendo já sido mencionados ao longo da secção anterior quais os objetivos e questões desta dissertação.

Por fim, será feita a recolha de dados para serem interpretados e discutidos. Após a obtenção dos resultados, será feita a elaboração de um método de priorização das EDT de Defesa, a nível nacional.

## Estrutura

Esta dissertação de mestrado é composta por cinco partes distintas.

No **Capítulo I - Revisão Sistemática da Literatura**, é enunciado o processo de revisão de literatura sistemática, onde é feita a análise conceptual, levantamento e análise do estado da arte sobre o tema. No **Capítulo II - Tecnologias emergentes e disruptivas de Defesa**, é feita uma análise do estado atual da indústria de Defesa de Portugal, bem como as suas perspetivas para o futuro e capacidades de sustentação. São também mencionadas as tecnologias emergentes com elevado potencial de disrupção tecnológica na Defesa Nacional de acordo com a *NATO* e EDA. No **Capítulo III - Criação do modelo de lógica difusa**, é explicado o processo de criação do sistema de suporte à decisão. Já no **Capítulo IV - Análise e discussão dos resultados obtidos**, é feita uma abordagem holística relativamente aos resultados. Por fim, segue-se a **Conclusão**, na qual são elaboradas as observações finais onde estão as deduções extraídas com base nos resultados obtidos.

# CAPÍTULO I

## **Revisão Sistemática da Literatura**

1.1. Protocolo da Revisão de Literatura - *PRISMA*

1.2. Análise conceptual e estado da arte



## 1. Revisão da Literatura

No decorrer desta investigação, foi possível identificar diversos estudos académicos que estão direta e indiretamente relacionados com a temática desta dissertação. Muitos destes estudos abrangem de um modo geral assuntos relacionados com a IdD e com a implementação de tecnologias disruptivas de Defesa na Europa e nos Estados Unidos da América (EUA). Um exemplo de referência muito utilizado neste tipo de estudos é a obra de Nostrand (1999) “*Fundable Knowledge*. Contudo, o caso específico de Portugal tem um número reduzido de estudos que abordem estas matérias. Ao longo deste capítulo é feita a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) da respetiva investigação, que se encontra subdivida em dois subcapítulos.

### 1.1. Protocolo da Revisão de Literatura - *PRISMA*

Uma RSL consiste na identificação, avaliação e interpretação da informação relevante para uma determinada questão de investigação, área temática, ou fenómeno de interesse (Kitchenham, 2004). O grande intuito das RSL é garantir a transparência, imparcialidade e a abrangência da revisão da literatura sobre determinado objeto de pesquisa.

Para tal efeito, a presente dissertação adota o *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)*, por ser reconhecido como um método robusto, confiável e iterativo para a análise do estado da arte da literatura existente. O protocolo *PRISMA* adotado para esta dissertação, consiste numa *check-list* de 27 itens, conforme o Anexo III (Moher *et al.*, 2009).

De um modo sucinto, a Figura 3 descreve to processo adotado na presente revisão de literatura, que irá ser detalhado nas subsecções seguintes.

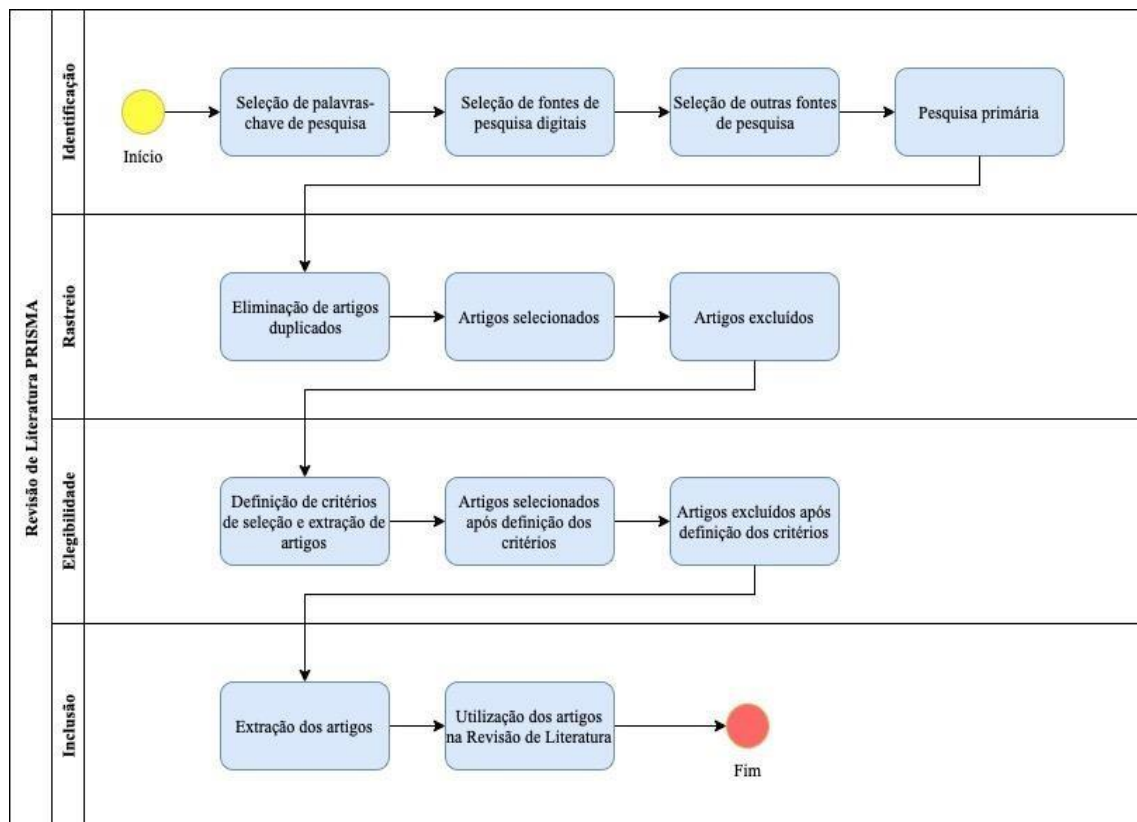


Figura 3: Revisão de Literatura PRISMA.

### 1.1.1. Identificação e Rastreamento

A primeira fase de uma RSL segundo o protocolo acima mencionado consiste na identificação de artigos. Feita uma pesquisa inicial, foram obtidos artigos alinhados com âmbito desta dissertação escritos em língua portuguesa e inglesa. Esta fase consistiu numa busca minuciosa nas bibliotecas digitais *Google Académico* e *Science Direct*.

A figura seguinte demonstra de um modo sintetizado a fase de identificação de uma RSL segundo o protocolo *PRISMA*.

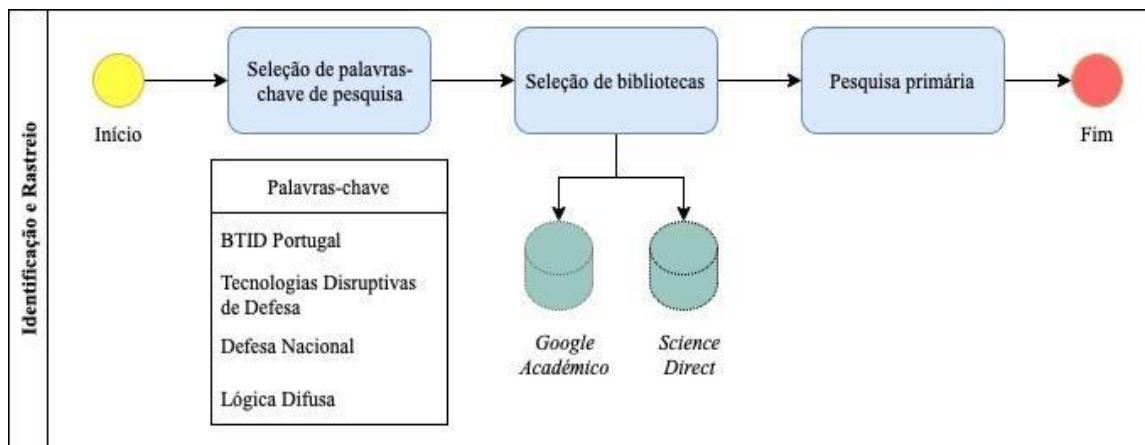


Figura 4: Fase de Identificação e Rastreio

Os artigos obtidos para a pesquisa primária tinham de conter as palavras-chave “BTID Portugal”, “Tecnologias Disruptivas de Defesa”, “Defesa Nacional” e “Lógica Difusa”. De forma a garantir um certo nível de relevância, apenas foram extraídos os 100 artigos mais relevantes em Português e Inglês de cada biblioteca digital, de forma a serem contabilizados para efeitos de pesquisa primária.

Relativamente aos artigos selecionados para análise primária, a Figura 3 mostra de forma resumida o processo de extração dos artigos das bases de dados, tendo em conta a exclusão de artigos duplicados e sem texto completo.

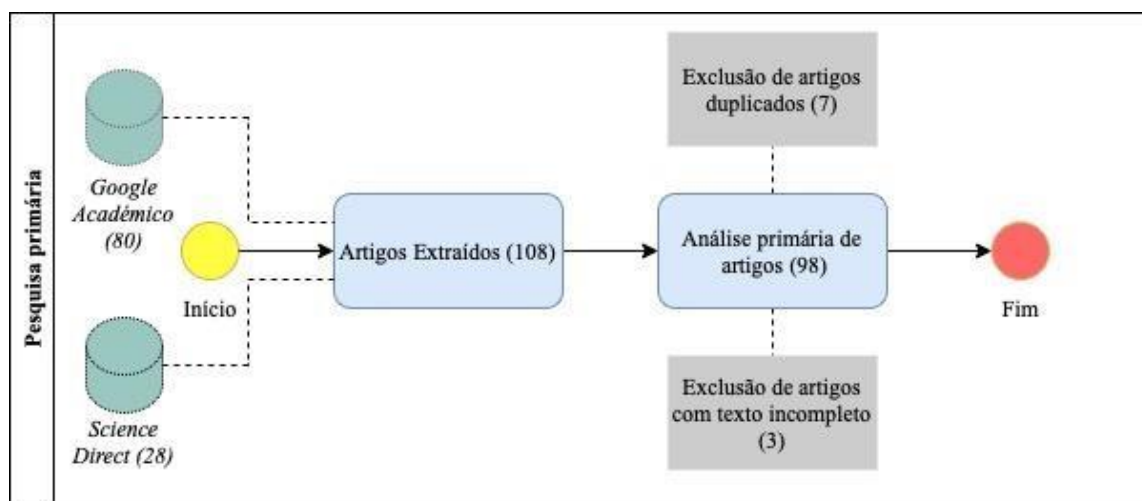


Figura 5: Pesquisa Primária

### 1.1.2. Elegibilidade e Inclusão

A fase de elegibilidade refere-se à etapa em que os estudos identificados durante a fase de identificação e rastreio são avaliados e selecionados com base nos critérios de inclusão e exclusão pré-definidos.

Para este estudo, os critérios levados a cabo no momento de pesquisa foram os seguintes:

- Título/*Title*;
  - Resumo/*Abstract*;
  - Palavras-Chave/*Keywords*;
  - Artigos escritos em Português e Inglês;
  - Período da publicação compreendido entre 1991-2023.
- Enquadrados com a QP e QD's da dissertação

Por fim, a fase de inclusão consistiu no recurso e leitura integral dos artigos selecionados.

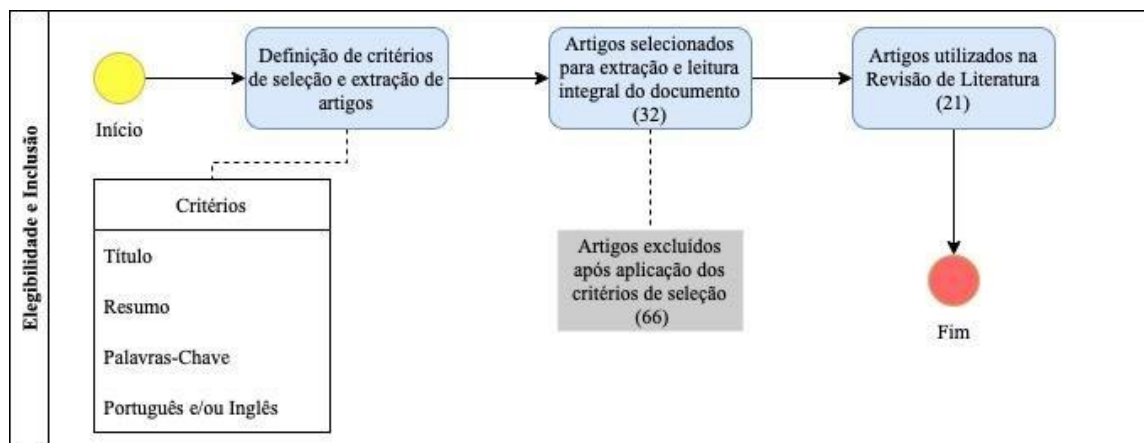


Figura 6: Elegibilidade e Inclusão

## 1.2. Análise conceptual e estado da arte

Neste subcapítulo é feita a análise dos 21 artigos selecionados (através do protocolo *PRISMA*) que se inserem na temática da dissertação, enunciando alguns conceitos chave que ajudam numa melhor compreensão do foco deste estudo. Este

subcapítulo divide-se em duas secções as quais abordam as principais conclusões dos estudos extraídos, respetivamente, nos contextos de:

- Indústria militar e tecnologia na Defesa
- Lógica difusa em sistemas de apoio à decisão (SAD)

### **1.2.1. Indústria militar**

Esta secção trata de analisar parte dos artigos extraídos que têm matérias relevantes para o contexto industrial militar, os quais apresentam diversas abordagens, perspetivas e conclusões. Contudo, vários autores efetuam críticas à pouca atenção que foi dada ao setor da Defesa por parte de académicos e profissionais. Sendo este setor industrial o principal responsável pelo equipamento e modernização das Forças Armadas, nomeadamente a nível de providenciar as tecnologias de ponta, torna-se pertinente fazer um breve enquadramento do setor na presente dissertação.

Tendo em conta que a presente dissertação se insere na temática das tecnologias de Defesa, importa fazer um enquadramento no contexto da Indústria de Defesa (IdD) e da BTID de Portugal. De acordo com a IdD Portugal Defence, a BTID é o conjunto de instituições, empresas e entidades científicas e tecnológicas nacionais públicas (incluindo capacidades orgânicas das Forças Armadas) e privadas, com capacidade para intervir nas diferentes fases do ciclo de vida dos sistemas e equipamentos das Forças Armadas, e que contribuem para a criação de emprego qualificado, o reforço das exportações e afirmação nacional nos mercados internacionais de Defesa (IdD Portugal Defence, 2023).

Vários estudos atribuem um elevado reconhecimento ao valor da BTID para a soberania de um Estado. Mirones *et al.* (2016) afirmam que a BTID é um instrumento que contribui para desenvolver a economia nacional e para a afirmação do potencial estratégico nacional, afirmando-se através da Base Tecnológica e Industrial de Defesa Europeia (BTIDE) (Mirones *et al.* , 2016).

De acordo com a EDA<sup>1</sup>, a BTIDE tem de ser:

---

<sup>1</sup> Fonte: [https://eda.europa.eu/docs/documents/Brochure\\_EDA\\_Strategic\\_Framework.pdf](https://eda.europa.eu/docs/documents/Brochure_EDA_Strategic_Framework.pdf)

- **Orientada para as capacidades** (ou seja, centrada na satisfação dos requisitos operacionais reais das Forças Armadas do futuro, mantendo simultaneamente os níveis necessários de soberania operacional europeia e nacional);
- **Competente** (denotando, em especial, a rápida exploração das melhores tecnologias);
- **Competitiva** (tanto dentro como fora da Europa).

Não é novidade que uma IdD forte e coesa representa uma ferramenta muito importante para os Estados, uma vez que gera inúmeras mais-valias que podem ser transversais para outros setores. Gomes (2011) considera que a IdD contribui positivamente para a I&D, quer pela sua influência no respetivo PIB e equilíbrio da balança comercial, quer pela capacidade de gerar e manter postos de trabalho em áreas de elevada competência tecnológica (Gomes, 2011).

Afonso (2011) reforça a necessidade de haver um investimento acrescido em “I&D tecnológico por parte do da indústria e, também aqui, o incentivo e participação nacional em projetos de desenvolvimento de equipamentos conjuntos quer no âmbito da EDA, quer da NATO, poderão trazer um maior conhecimento nesta área para as empresas nacionais”. Portanto, “o desenvolvimento da BTID nacional deve ser encarado como um projeto suscetível de dinamizar a economia, ao potenciar as capacidades e oportunidades do tecido tecnológico e industrial nacional na área da defesa” (Afonso, 2011).

Moran (1990) coloca a seguinte questão: “Deve um país insistir em confiar nas empresas externas, ou insistir em que a produção se realize no seu próprio território?” (Moran, 1990). Atualmente, a BTID nacional caracteriza-se pela sua dimensão reduzida, sendo constituída maioritariamente por Pequenas e Médias Empresas (PME). Alves (2023) afirma que o estudo de 2021 “Economia de Defesa em Portugal” tem um carácter enganador uma vez que refere a existência de 350 empresas agregadas na BTID nacional, quando maior parte destas empresas trabalha quase exclusivamente para fins civis e apenas quando surge uma oportunidade tenta readaptar os seus produtos e serviços para serem vendidos às FFAAP. Este refere ainda que “Foram muitos os sectores da sociedade que lutaram pelo desinvestimento na Defesa com o argumento demagógico de que seria dinheiro desperdiçado e que o que se devia era promover a paz e não a guerra. Isto apesar

de a Europa viver continuamente numa paz que se manteve por causa dos investimentos militares realizados pelos Estados Unidos.” (Alves, 2023).

Deste modo, torna-se pertinente refletir sobre as orientações da BTID para que se possam dinamizar os esforços económicos e logísticos relacionados com bens, tecnologias e serviços ao longo do ciclo de vida de sistemas de armas, subsistemas e seus componentes.

Lewis Branscomb (1995) define tecnologia como uma agregação de capacidades, instalações, *skills*, conhecimento e organização que são necessárias para criar um produto ou serviço útil (Branscomb, 1995). Nostrand (1999) conjuga a definição dada por Branscomb com a definição de tecnologia atribuída por Gallbraith (1967). A definição daí resultante traduz-se na “aplicação sistemática dos recursos disponíveis para a criação de um produto ou serviço útil. Os recursos disponíveis incluem as capacidades, instalações, *skills*, conhecimento, organização e a aplicação implica uma divisão sistemática da tarefa em subtarefas e a sua correspondência com os conhecimentos disponíveis” (Nostrand, 1999).

### **1.2.2. Lógica difusa em sistemas de apoio à decisão**

Lotfi A. Zadeh, considerado para muitos o pai da lógica difusa (ou lógica fuzzy), introduziu a teoria difusa no seu artigo "*Fuzzy Sets*" publicado em 1965 (Zadeh, 1965). Nesse trabalho, Zadeh propôs a utilização de conjuntos difusos, nos quais os elementos possuem graus de pertinência, permitindo a representação de valores intermédios entre o verdadeiro e o falso, isto é, valores que fossem parcialmente verdadeiros ou parcialmente falsos. Bart Kosko (1993), outro autor influente, desenvolveu a teoria dos conjuntos difusos e sua aplicação em sistemas de controlo. O seu trabalho "*Fuzzy Thinking*" publicado em 1993 ajudou a popularizar a lógica difusa e suas aplicações práticas em áreas como inteligência artificial, robótica e engenharia de controlo e automação (Kosko, 1993). A contribuição desses e de outros autores notáveis na área da lógica difusa permitiu avanços significativos em diversos campos, como reconhecimento de padrões, processamento de imagem e tomada de decisões em ambientes incertos.

### 1.2.2.1 Modelo Mamdani

Um dos modelos de inferência mais utilizados em lógica difusa é o modelo de Mamdani e Assilan (1975). Estes são concebidos para incorporar conhecimentos especializados sob a forma de regras do tipo “SE-ENTÃO” estabelecendo uma relação causa efeito entre as variáveis de decisão. (Izquierdo, 2017). Este modelo tem bastantes aplicações práticas, nomeadamente em situações cujas opiniões dos especialistas nessa matéria tendem a divergir.

De acordo com Zimmermann (1991), o mecanismo de inferência fuzzy proposto por Mamdani e Assilan (1975), segue a seguinte estrutura:

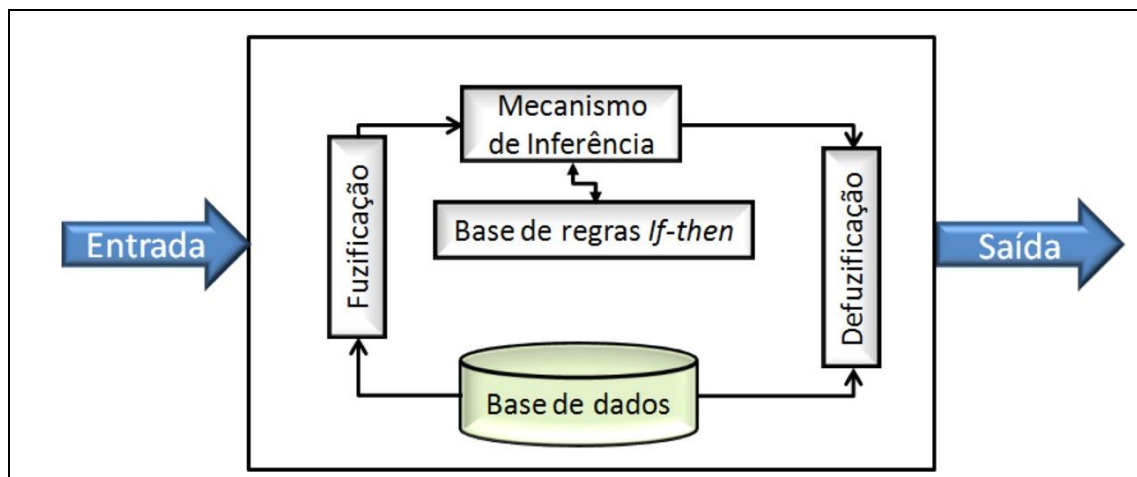


Figura 7: Estrutura do sistema de inferência de Mamdani. Extraído de (Nizar Chatti, 2010)

Este tipo de modelo de inferência interrelaciona as variáveis de entrada (antecedentes) com as de saída (consequentes) através de regras de inferência do tipo “SE-ENTÃO” adequadas ao problema. Estas regras relacionam os antecedentes com os consequentes através das variáveis linguísticas (Chatti, 2010).

# CAPÍTULO II

## **Tecnologias emergentes e disruptivas de Defesa**

2.1. Indústria de Defesa e BTID Portugal

2.2. Tecnologias Disruptivas



## **2. Tecnologias emergentes e disruptivas de Defesa**

O presente capítulo é constituído por duas secções. A primeira secção enquadra o a BTID de Portugal no contexto internacional da IdD. Na segunda secção faz-se um breve enquadramento de disrupção tecnológica e menciona-se as EDT consideradas pela *NATO* e pela EDA. No final deste capítulo é possível responder às QD1 e 2 desta investigação.

### **2.1. Indústria de Defesa e BTID Portugal**

No decorrer da Guerra Colonial, Portugal teve a necessidade de projeção e sustentação militar de forma a manter o esforço de guerra em África. Assim, desenvolveu uma IdD dedicada a providenciar ao país as capacidades bélicas necessárias para sustentar as FFAAP em África. De acordo com Pires (2017), uma IdD forte e coesa necessita de um cunho estatal, ou seja, os Estados desempenham um papel fulcral na sustentação e desenvolvimento do setor industrial da defesa de um país e, consequentemente, na sua capacidade militar (Pires, 2017). A Resolução do Conselho de Ministros, n.º 52/2023, 6 de maio 2023<sup>2</sup>, menciona vários aspetos relevantes para as responsabilidades do Estado no que respeita à BTID, nela intervindo como cliente, regulador, dinamizador e investidor. A base tecnológica e industrial nacional, tendo a capacidade de oferta na área da defesa, tem a responsabilidade de desempenhar um papel importante e crescente na satisfação das necessidades logísticas internas de bens, tecnologias e serviços ao longo das várias fases do ciclo de vida dos sistemas de armas, subsistemas e seus componentes, seja para reequipamento ou para atender à procura das FFAAP. Assim, a BTID atua nas seguintes áreas:

---

<sup>2</sup> Fonte: Diário da República n.º 52/2023, Série I de 2023-05-06. Presidência do Conselho de Ministros

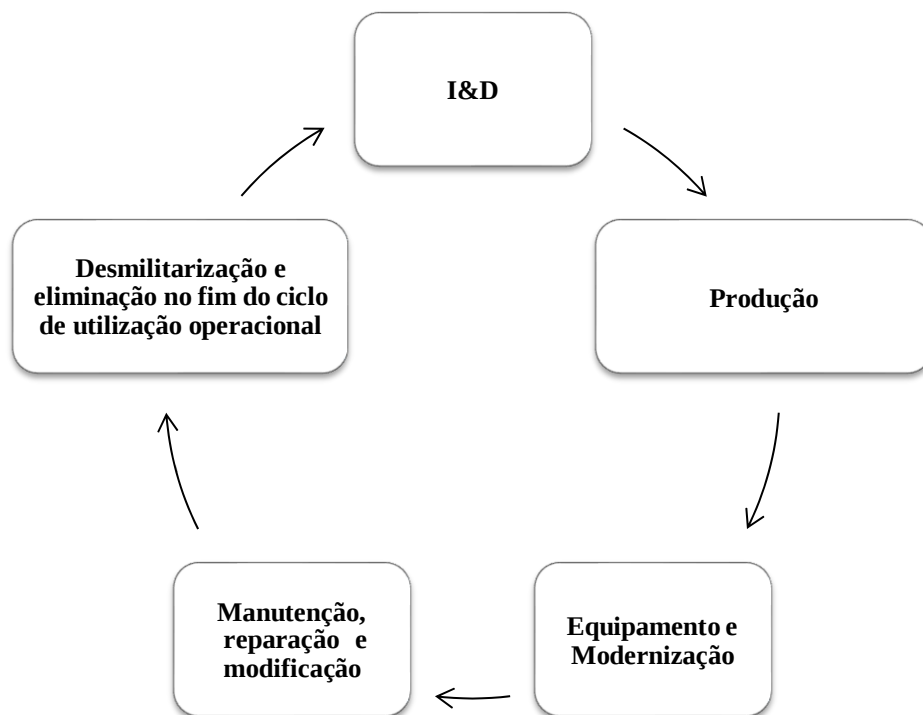


Figura 8: Áreas de atuação da BTID

### 2.1.1. Evolução industrial da Defesa internacional

O conceito de complexo industrial-militar dedicado a modernizar e equipar as forças militares obteve uma grande atenção por parte dos vários Estados durante a Guerra Fria (1947-1991). Durante este período, os aumentos que se verificaram na capacidade de produção militar nunca tinham tido precedentes históricos no que diz respeito à intensidade e longevidade (Vinha, 2008). A competitividade que se fazia sentir entre o bloco Ocidental e o bloco Soviético causou um grande desenvolvimento na IdD a nível internacional, tendo desde então sido os EUA o líder mundial deste mercado.

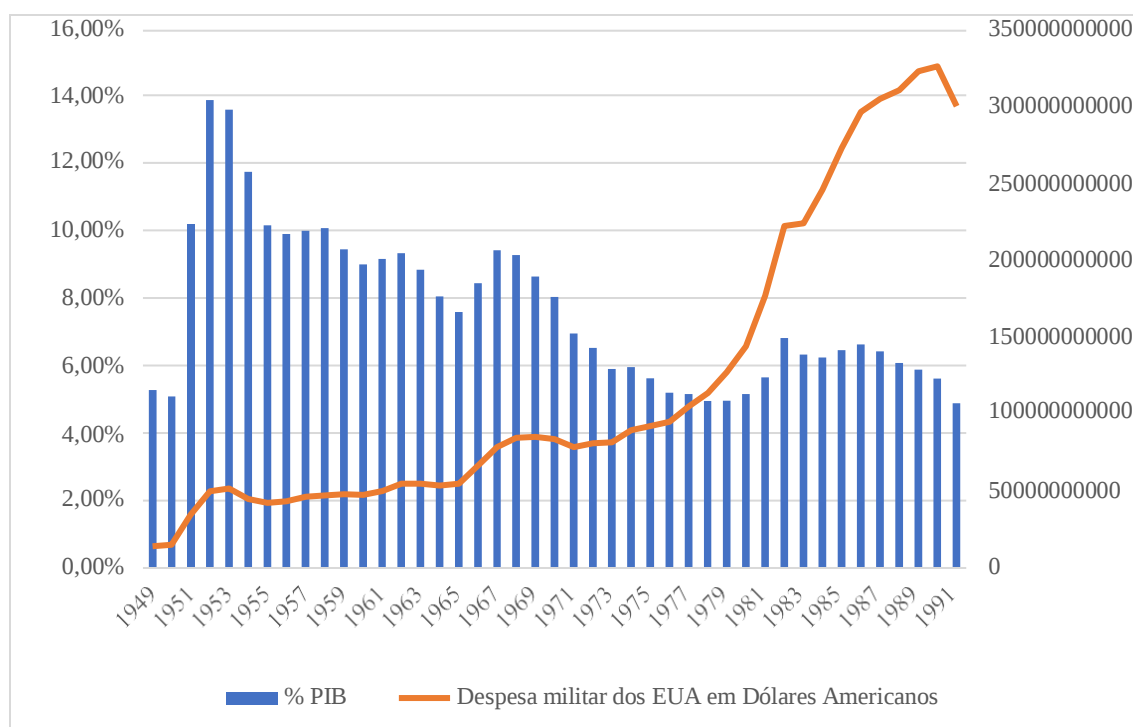


Gráfico 1: Despesa militar dos EUA (1949-1991). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023)

Através da análise do Gráfico 1, podemos verificar que no período da Guerra Fria, os EUA tiveram um aumento substancial ao longo dos anos na sua despesa militar. Importa também referir que embora este valor da despesa militar tenha aumentado ao longo dos anos, o valor da despesa em termos de percentagem do PIB diminuiu.

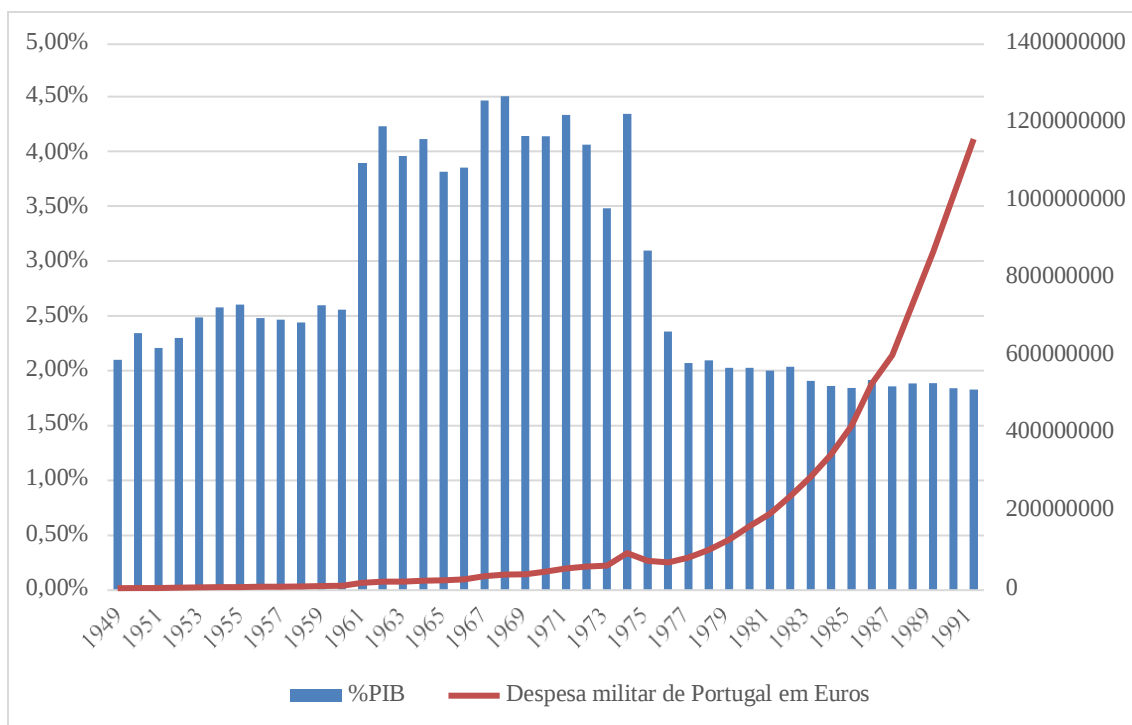


Gráfico 1: Despesa militar de Portugal (1949-1991). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023)

No caso de Portugal, e para a mesma janela temporal, devido à pressão que se vivia na Europa em termos de risco de conflitos armados de larga escala, também houve um aumento significativo da despesa militar ao longo dos anos. Contudo, os dados extraídos da *SIPRI Military Expenditure Database* apresentados no Gráfico 2 indicam que a despesa militar em termos percentuais do PIB registou os seus valores mais elevados nas décadas de 60/70 devido à Guerra Colonial, até que estabilizou até ao final da Guerra Fria em torno dos 2% do PIB.

De acordo com Bitzinger (2003), o fim da Guerra Fria deu origem a uma nova dinâmica internacional - militar, política e económica - que obrigou a uma forte contenção das indústrias de defesa nos principais países produtores de armamento. Apesar da persistência de conflitos regionais em todo o mundo, muitos dos quais envolvendo as grandes potências, as tensões noutras partes do globo diminuíram consideravelmente e, com elas, desapareceu grande parte da necessidade de grandes orçamentos de defesa e de forças armadas de dimensão considerável. O fim da Guerra Fria deixou o mundo com uma capacidade de desenvolvimento e produção de armas consideravelmente superior às suas necessidades e possibilidades económicas (Bitzinger, 2003).

Após a Guerra Fria, a despesa no contexto militar português verificou um ligeiro aumento ao longo dos anos. Contudo, os dados retirados da *SIPRI Military Expenditure Database*, revelam que a despesa militar à luz da percentagem do PIB português não verificou aumentos.

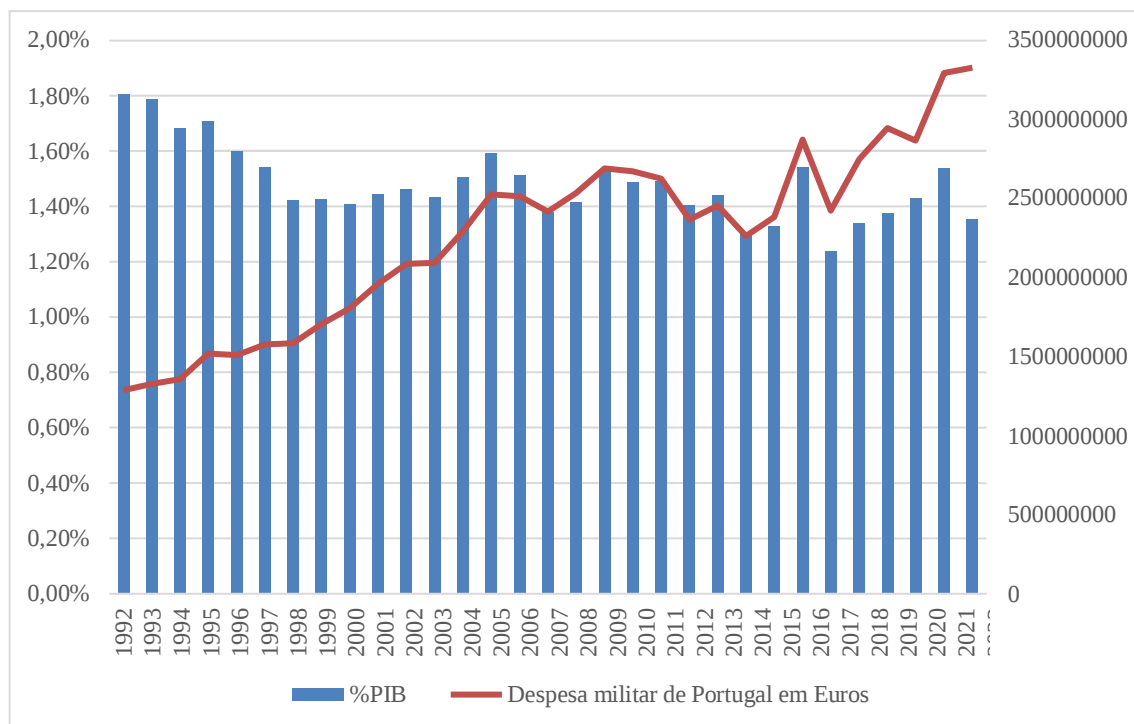


Gráfico 3: Despesa militar de Portugal (1992-2022). Extraído de SIPRI Military Expenditure Database (2023)

Segundo Lopes & Correia (2014), a crise económica e financeira que atingiu o nosso país assim como grande parte dos países europeus, e que se reflete de modo particular nas importantes reduções orçamentais nas áreas da segurança e defesa, é sem dúvida uma grande preocupação e um desafio gigantesco para as instituições e os cidadãos, mas deve também ser encarada como uma oportunidade e até um incentivo determinante para a implementação de reformas que há muito se impunham. No setor da defesa e da segurança é mesmo uma oportunidade ímpar para rever estratégias, missões e capacidades civis e militares e promover reformas profundas que, em circunstâncias normais, dificilmente seriam levadas a cabo (Lopes & Correia, 2014).

## 2.2. Tecnologias Disruptivas

Christensen *et al.* (2015) propôs a teoria de inovação disruptiva, na qual subdivide inovação tecnológica em duas grandes categorias, sendo estas as “sustentadoras” e as “disruptivas” (Christensen *et al.* , 2015). Entende-se por inovação sustentadora toda aquela que representa uma melhoria contínua no desempenho tecnológico, seguindo uma trajetória à qual os clientes se encontram familiarizados. Por outro lado, inovação disruptiva constitui uma mudança não só no segmento em que essa tecnologia é aplicada, devido ao modo como esta se distingue das restantes, como também para os próprios clientes que tiram proveito da mesma. (Drombowski & Eugene, 2009). “As tecnologias disruptivas podem ser uma nova combinação de tecnologias existentes ou novas tecnologias cuja aplicação a áreas problemáticas ou a novos desafios de comercialização (por exemplo, sistemas ou operações) pode causar grandes mudanças de paradigma de produtos tecnológicos ou criar outros inteiramente novos.” (Kostoff, Boylan, & Simons, 2003). A disrupção tecnológica ocorre quando uma nova tecnologia ou inovação transforma significativamente um setor ou mercado existente, interrompendo os modelos de negócios tradicionais, criando assim desafios e oportunidades.

No contexto de Defesa e Segurança, o termo “tecnologia disruptiva” refere-se a qualquer tecnologia inovadora que tenha o potencial de transformar fundamentalmente a forma como a Defesa e a Segurança são conduzidas. Estas tecnologias têm o poder de alterar as práticas tradicionais de defesa e segurança, introduzindo novas formas de alcançar objetivos, reduzindo custos, e aumentando a eficiência. Recentemente, o campo tecnológico tem sido foco de progresso e inovação, o qual tem resultado em mudanças significativas na forma de vida dos indivíduos, no funcionamento da sociedade e até mesmo no reposicionamento de alguns Estados dentro do sistema de relações internacionais (Oprisor, 2017).

Uma questão frequentemente colocada relativamente ao surgimento de tecnologias disruptivas é a seguinte: “Qual o impacto que as mesmas terão na sociedade como conhecemos?”. No campo da Defesa outras questões derivam desta questão principal. Constitui uma preocupação para qualquer Estado perceber o impacto que uma tecnologia disruptiva poderá ter na forma como a Defesa é conduzida. É comum

caracterizar-se a era em que vivemos como um ambiente volátil, incerto, complexo e ambíguo, *Volatile, Uncertain, Complex, Ambiguous (VUCA)*. Cascio (2020) opta por atribuir o termo *Brittle, Anxious, Nonlinear, and Incomprehensible (BANI)* que se traduz numa era frágil, preocupante, não linear e incompreensível (Cascio, 2020).

Gangidi (2018) e Wierzchaniak *et al.* (2017) sugerem a utilização do método “*five whys*”, isto é, “Cinco porquês” utilizado na tabela 1 para chegar à causa raiz do problema. “A execução eficaz desta metodologia pode proporcionar resultados extraordinários na redução de defeitos, na melhoria do rendimento, na melhoria da eficiência operacional e em projetos de gestão logística. A resolução de fontes de problemas de nível superior permite que uma organização evolua e mantenha uma vantagem competitiva no mercado.” (Gangidi, 2018) e (Wierzchaniak *et al.* , 2017).

Tabela 1: Avaliação do impacto de tecnologias militares potencialmente disruptivas: problemas e possíveis causas de raiz. Extraído de Bartolomeu & Água. (2022).

| <b>Problema principal</b>               | <b>Avaliação do impacto de tecnologias militares potencialmente disruptivas: problemas e possíveis causas de raiz</b>                                                                        |                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Causas iniciais</b>                  | Algumas tecnologias militares disruptivas são desconhecidas ou inesperadas                                                                                                                   | As avaliações existentes concentram-se em alguns fatores, mas outros não são considerados (por exemplo, OST da NATO, 2020)      |
| <b>Porque é que isto é um problema?</b> | Provoca efeitos súbitos e inesperados ou incapacidade de responder a potenciais ameaças e ataques                                                                                            | As avaliações não são as mais adequadas para apoiar o planeamento                                                               |
| <b>Porquê?</b>                          | Falta de capacidade e/ou incapacidade de ajustar os conceitos operacionais para o enfrentar a tempo ou de forma adequada                                                                     | O pensamento crítico, a inovação e os fatores criativos não estão incluídos na análise                                          |
| <b>Porquê?</b>                          | Falta de previsão tecnológica, inteligência (e/ou boa contrainformação exterior), formação, vontade, doutrina e/ou equipamento                                                               | As avaliações, assim como o planeamento, tendem a seguir padrões tradicionais                                                   |
| <b>Porquê?</b>                          | Falta de / maus processos de planeamento da defesa, falta de objetivos motivadores, falta de investimento em investigação e desenvolvimento, programas de defesa, e/ou capacidades militares | É mais fácil seguir procedimentos bem conhecidos e testados do que criar novos procedimentos que não estão incluídos na análise |
| <b>Porquê?</b>                          | Os decisores políticos e os líderes da indústria não são informados ou sensibilizados sobre o impacto da tecnologia militar potencialmente disruptiva em todas as dimensões relevantes       | Falta de quadros académicos e organizacionais para fazer avaliações adequadas                                                   |

Após a aplicação do método “*five whys*” na tabela 1, chegou-se à causa raiz do problema “impacto de tecnologias militares potencialmente disruptivas”. Os autores reforçam o facto de os decisores políticos e líderes da indústria necessitarem de mais meios de informação, avaliação de riscos e potencialidades das tecnologias emergentes e disruptivas. É precisamente neste aspeto que o reforço em I&D desempenha um papel

fundamental para a inovação e processo de tomada de decisão da gestão de topo da Defesa Nacional.

### **2.2.1. Tecnologias emergentes e disruptivas do quadro da NATO e da EDA**

A *NATO* desempenha um papel primordial na garantia da segurança coletiva e na promoção da estabilidade entre os países membros. Ao longo dos anos, a aliança tem demonstrado a capacidade de se adaptar às transformações no cenário global, enfrentando agora um novo desafio: o surgimento de tecnologias disruptivas de defesa. Contudo, a aliança está a entrar numa nova fase de adaptação em que a inovação e as EDT desempenham um papel crucial (Soare, 2023).

Os avanços tecnológicos rápidos e inovadores têm alterado significativamente a forma como as operações militares são conduzidas. Essas tecnologias disruptivas possuem um potencial revolucionário, capaz de aprimorar a eficiência, a precisão e a capacidade de resposta das forças militares. Entretanto, elas também levantam questões éticas, legais e de segurança que exigem uma abordagem cuidadosa e discussões aprofundadas.

A *NATO* reconhece a importância de se manter atualizada e adaptada às inovações tecnológicas para preservar a sua capacidade de defesa coletiva. Desta forma, a aliança procura promover a cooperação entre os países membros e a IdD, a fim de impulsionar a investigação, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias disruptivas com segurança e respeitando os valores éticos da sociedade moderna. Além disso, a *NATO* também está atenta aos desafios e riscos associados às tecnologias disruptivas, tais como ameaças cibernéticas, o uso inadequado de inteligência artificial em conflitos armados e a necessidade de se manter o controle humano sobre sistemas autônomos. Posto isto, a *NATO* enfrenta o desafio de encontrar um equilíbrio entre a adoção de tecnologias disruptivas de defesa, garantia da segurança e, simultaneamente, estar em conformidade com o direito internacional. A colaboração entre os países membros, a IdD e especialistas em defesa, segurança e ética é essencial para enfrentar esses desafios e explorar todo o potencial das tecnologias disruptivas para a defesa coletiva.

Em fevereiro de 2021, os Ministros da Defesa da *NATO* adotaram o " *Foster and Protect: NATO's Coherent Implementation Strategy on Emerging and Disruptive Technologies*". Esta é a estratégia global da *NATO* para orientar a sua relação com as EDT. Tem duas áreas principais: (1) a promoção de uma abordagem coerente ao desenvolvimento e adoção de tecnologias de dupla utilização (isto é, tecnologias que estão centradas em mercados e utilizações comerciais, mas que também podem ter aplicações de defesa e segurança) que reforçarão a vantagem da aliança; (2) a criação de um fórum para os Aliados ajudarem a proteger as suas EDT de serem utilizadas contra eles por potenciais adversários e concorrentes. Estes objetivos são fundamentais para garantir que a *NATO* mantém o seu domínio estratégico (*NATO*, 2022).

De forma a apoiar todos os seus projetos inovadores, em 2022 a *NATO* criou o programa *Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA)*. O *DIANA* integra nove aceleradores e mais de sessenta centros de teste. Existem ainda duas sedes regionais, uma no Reino Unido e outra no Canadá, responsáveis por um *Rapid Adoption Service* (para apoiar o desenvolvimento e adoção rápida das soluções do *DIANA* pelos aliados e pela *NATO*) e uma *Trusted Capital Database* (para facilitar e/ou ligar inovadores certificados e investidores certificados). A principal função desta iniciativa será promover os desafios de segurança e defesa indicados pelas Forças Armadas, por forma a que entidades inovadoras possam desenvolver soluções de adoção rápida que correspondam aos seus requisitos (IdD Portugal Defence, 2023). O principal foco deste programa será o desenvolvimento no âmbito das EDT que possam ser de duplo uso, ou seja, de aplicação comercial e para a Defesa.

Atualmente, as atividades de inovação da *NATO* centram-se em nove áreas tecnológicas prioritárias (*NATO*, 2022) e, paralelamente à *NATO*, a EDA define no seu quadro seis áreas comuns relativamente às EDT, que serão a seguir mencionadas.

### **1. Inteligência artificial (IA)**

O desenvolvimento vivenciado nos últimos tempos no campo da IA tem revolucionado o mundo. Com os avanços em áreas como aprendizagem máquina e redes neurais, a IA tem impulsionado a automação, aprimorado a análise de dados e desencadeado inovações em diversos setores. O contínuo progresso da IA promete

transformar ainda mais a sociedade e moldar o futuro com as suas aplicações cada vez mais sofisticadas.

Assim, é natural que as aplicações militares com recurso à IA apresentem tanto oportunidades como desafios para a cooperação militar multinacional. Embora tenha havido uma série de desenvolvimentos recentes nas estratégias e políticas nacionais de IA, os debates a nível da *NATO* estão ainda numa fase inicial (Hill, 2020).

A IA representa também uma tecnologia prioritária no quadro da EDA (European Parliament, 2022).

## **2. *Big Data Analytics***

De acordo com Yang *et al.* (2019) *Big Data* está associado a conjuntos de dados maciços "com estruturas maiores, mais variadas e complexas que são difíceis de armazenar, analisar e visualizar com recurso às tecnologias tradicionais de processamento de dados" (Yang et al, 2019).

Dado o volume da informação que a *NATO* e a EDA necessitam de processar, ambas consideram o “*Big Data*” como uma tecnologia prioritária para a Defesa.

## **3. Sistemas de armas autónomos**

Altmann *et al.* (2013) descreve os sistemas de armas autónomos como armas robotizadas que, uma vez acionadas, selecionam e atacam alvos sem qualquer necessidade de intervenção humana (Altmann *et al.* , 2013). A utilização deste tipo de sistemas levanta questões éticas relativamente a um possível aumento do número de erros e crimes em operações militares (Sio, 2018), pelo que a sua implementação constitui um grande desafio quer para a *NATO* quer para a EDA.

## **4. Tecnologias de criptografia quântica**

A *NATO* identificou a quântica como uma tecnologia emergente fundamental cujas aplicações podem permitir aos Aliados alargar as suas capacidades de combate. As implicações das tecnologias quânticas para a Defesa são vastas e incluem aplicações importantes nos domínios da computação, da comunicação e da detecção. Estes três subdomínios contêm subcategorias adicionais, cada uma com aplicações e capacidades

potenciais que influenciarão todos os domínios da guerra (*NATO Allied Command Transformation*, 2022).

## **5. Biotecnologia e biologia sintética**

A biotecnologia desempenha um papel significativo no domínio da defesa. A *NATO* reconhece o potencial da biotecnologia para melhorar as capacidades de defesa e enfrentar os desafios de segurança emergentes. A biotecnologia oferece oportunidades para o desenvolvimento de soluções inovadoras em áreas como as contramedidas médicas, a detecção e identificação de ameaças biológicas, os biossensores e a biodefesa.

Atualmente, a Science and Technology Organization da *NATO* apoia diversos projetos de I&D na área da biologia sintética, nomeadamente no desenvolvimento novos medicamentos, sensores biológicos e sistemas de detecção de ameaças.

## **6. Tecnologias hipersónicas**

As tecnologias hipersónicas referem-se a sistemas que podem viajar a velocidades superiores a *Mach* 5 (cinco vezes a velocidade do som). Estas tecnologias têm o potencial de revolucionar as capacidades de defesa, oferecendo maior velocidade, alcance e capacidade de manobra.

Weitz (2022) enaltece para o facto de nos próximos anos, a criação de um meio eficaz de dissuasão e defesa contra o arsenal emergente de mísseis hipersónicos ofensivos da Rússia constitui um grande desafio para a *NATO* e para a EDA (Weitz, 2022) e (European Parliament, 2022).

## **7. Tecnologias espaciais**

O espaço é um domínio dinâmico e em rápida evolução, essencial para a dissuasão e a defesa da Aliança. Em 2019, os aliados adotaram a *NATO Space Policy* e reconheceram o espaço como um novo domínio operacional, tal como o ar, a terra, o mar e o ciberespaço. As tecnologias espaciais acarretam várias vantagens para as comunicações, vigilância, inteligência e reconhecimento, além de serem uma parte essencial da rede de GPS que fornece orientação e posicionamento para as forças militares.

## **8. Materiais inovadores e impressão 3D**

Os materiais inovadores (também conhecidos por *Novel Materials*) são materiais que possuem características únicas e avançadas em termos das suas propriedades físicas, químicas ou mecânicas. Dentro do contexto da *NATO* e da EDA os "*Novel Materials*" são de interesse estratégico, uma vez que podem proporcionar avanços tecnológicos e operacionais cruciais para enfrentar os desafios emergentes. Esses materiais podem incluir metais de alta resistência, compósitos leves e resistentes, materiais inteligentes ou sensíveis a estímulos, nano materiais, cerâmicas de alto desempenho, entre outros. A implementação de materiais inovadores depende do *Additive manufacturing* (Impressão 3D) devido à capacidade de produção rápida de peças e componentes que esta permite, eliminando stocks (Clement, 2023).

## **9. Tecnologia de propulsão / energias renováveis**

As EDT no domínio da propulsão e energias renováveis são de grande interesse no âmbito da *NATO*. Estas tecnologias têm como objetivo revolucionar os sistemas de energia e propulsão utilizados em aplicações militares, oferecendo um melhor desempenho, eficiência e sustentabilidade.

### **2.2.2. NATO Innovation Fund**

O *NATO Innovation Fund (NIF)* é uma parceria financeira entre os Aliados da *NATO* participantes como sócios limitados e um braço de gestão de investimentos criado especificamente para este fundo. Os Aliados participantes acordaram previamente em domiciliar a parceria no Luxemburgo. O Fundo investirá mil milhões de euros em empresas em fase de arranque que desenvolvam tecnologias emergentes e disruptivas e noutros fundos de capital de risco que desenvolvam tecnologias emergentes e disruptivas de dupla utilização. A criação deste fundo na cimeira da *NATO* de 2021 permitirá que as empresas, em particular as start-ups, que desenvolvem soluções para assentes nas EDT. Portugal é um dos países a participarem neste fundo.



# CAPÍTULO III

## **Criação do modelo**

3.1. Elaboração do questionário e matriz de relação de variáveis

3.2. Desenvolvimento do sistema de suporte à decisão



### 3. Criação do modelo

Ao longo deste capítulo, é feita uma explicação detalhada do método adotado para desenhar o modelo de lógica difusa do problema. A explicação da criação do modelo é feita em paralelo com a análise dos resultados obtidos do questionário *Google Forms* e da matriz de relação de variáveis criada no *Google Sheets*, que foram submetidos para resposta dos *SME*.

No final deste capítulo será possível atribuir uma resposta à QD3 da dissertação.

#### 3.1. Elaboração do questionário e matriz de relação de variáveis

O método adotado para a recolha de dados foi a elaboração de um questionário na plataforma *Google Forms*, composto por quatro fases. A primeira fase do questionário consistiu na recolha de informação relativamente ao perfil demográfico dos *SME*. É de referir que não foi solicitado qualquer tipo de dados de cariz pessoal que pudessem comprometer a privacidade dos inquiridos. A segunda parte teve o intuito de estabelecer o nível de relevância (peso a atribuir) a cada EDT. De seguida, numa terceira fase foi solicitado aos inquiridos que estabelecessem o nível de relevância (peso a atribuir) entre os critérios de aquisição (designadas “variáveis linguísticas” numa ótica difusa). Por fim, na quarta fase foi elaborado um conjunto de regras que interrelacionavam os critérios de aquisição a fim de obter as regras de inferência difusa para o algoritmo em questão.

Após o término do questionário foi solicitado aos *SME* que preenchessem a matriz de relação de variáveis na plataforma *Google Sheets*. Inicialmente foi feita uma seleção de um grupo de peritos da Defesa sendo que, por motivos de indisponibilidade, apenas se obtiveram quatro respostas. Esta seleção teve em conta alguns contactos estabelecidos e a experiência que estes peritos tiveram ao longo da sua carreira militar/docente com tecnologias de Defesa.

A estrutura do questionário *Google Forms* encontra-se no Apêndice A.

##### 3.1.1. Perfil demográfico

Os dados obtidos dos inquiridos nesta secção foram os seguintes:

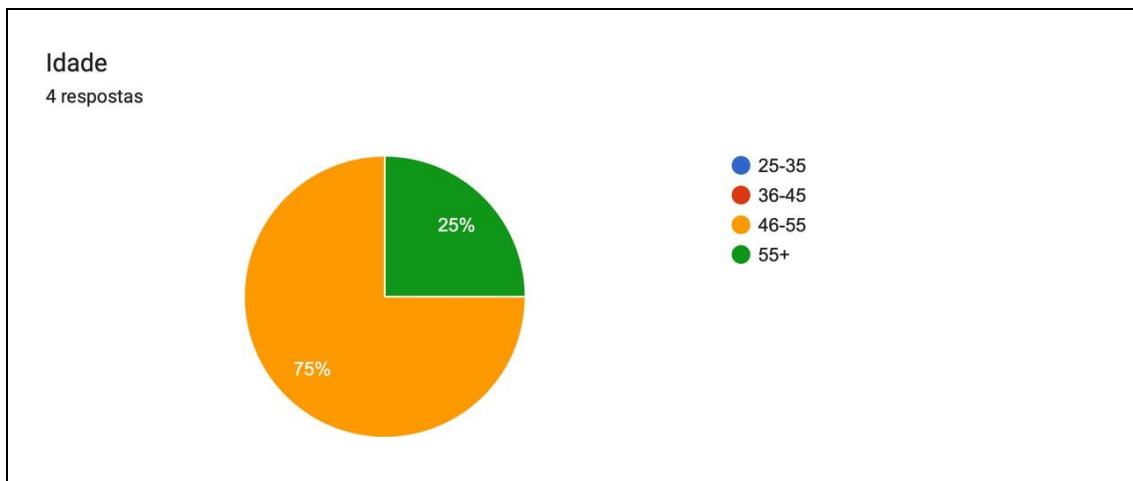


Figura 9: Idade dos *SME*

Por observação da Figura 9, é possível verificar que os peritos pertenciam sensivelmente todos à mesma faixa etária com 75% (3) com idades compreendidas entre 46-55 anos e 25% (1) com idade superior a 55 anos.

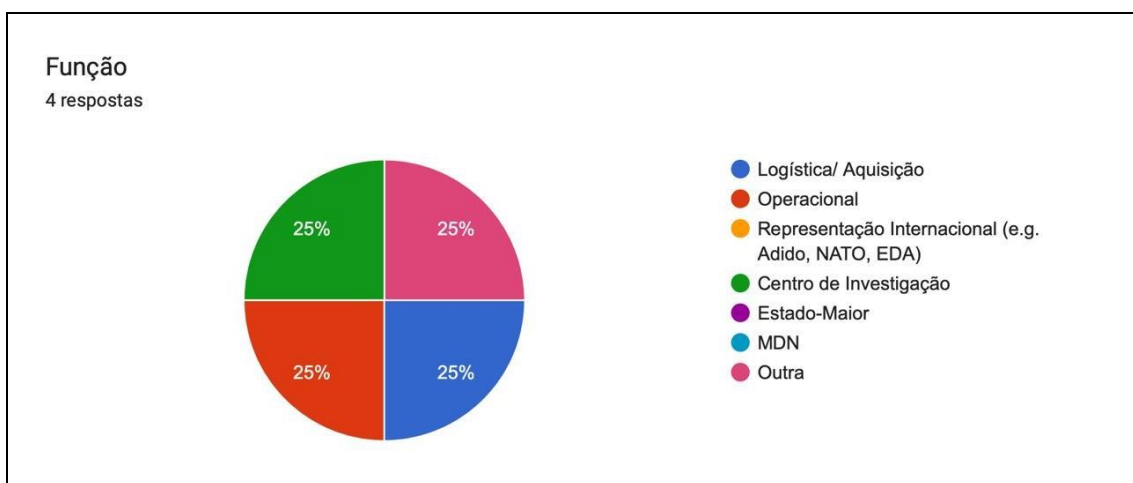


Figura 10: Função na Defesa

A Figura 10 é referente à área funcional atualmente desempenhada pelos inquiridos, tendo-se obtido respostas de peritos associados a:

1. Centro de Investigação;
2. Atividade Operacional;
3. Logística/Aquisição;
4. Outra área não referida.

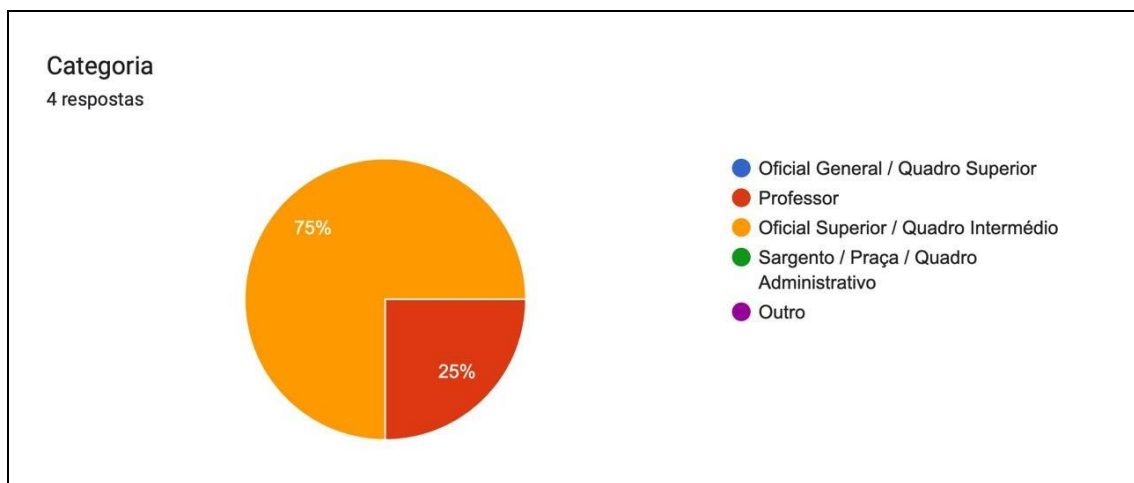


Figura 11: Categoria dos *SME*

A Figura 11 refere-se à categoria dos inquiridos, sendo que 75% (3) dos inquiridos é Oficial Superior e 25% (1) é Professor.

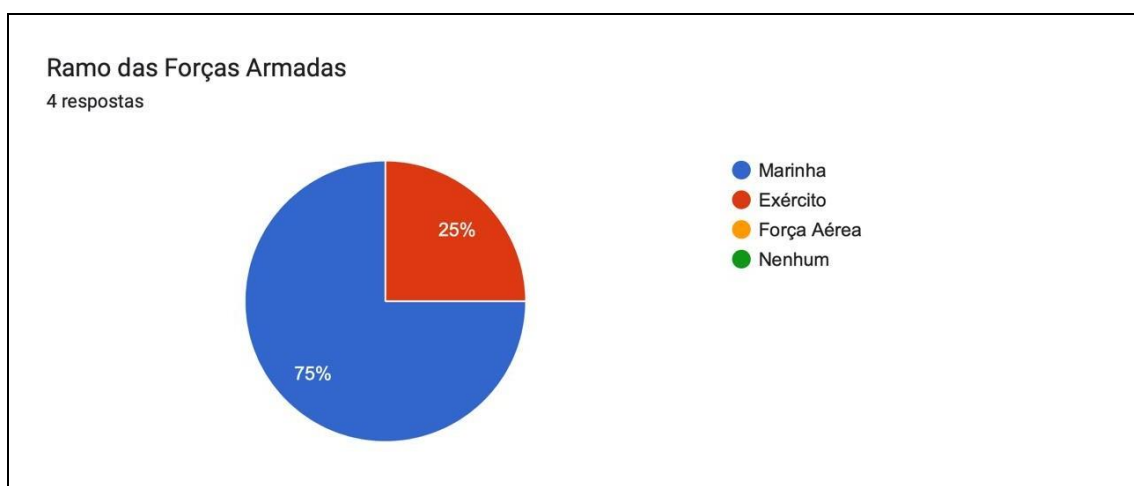


Figura 12: Ramo das Forças Armadas

De acordo com a Figura 12, foi possível obter resposta de peritos ligados aos três ramos das FFAAP, sendo que um deles é docente.

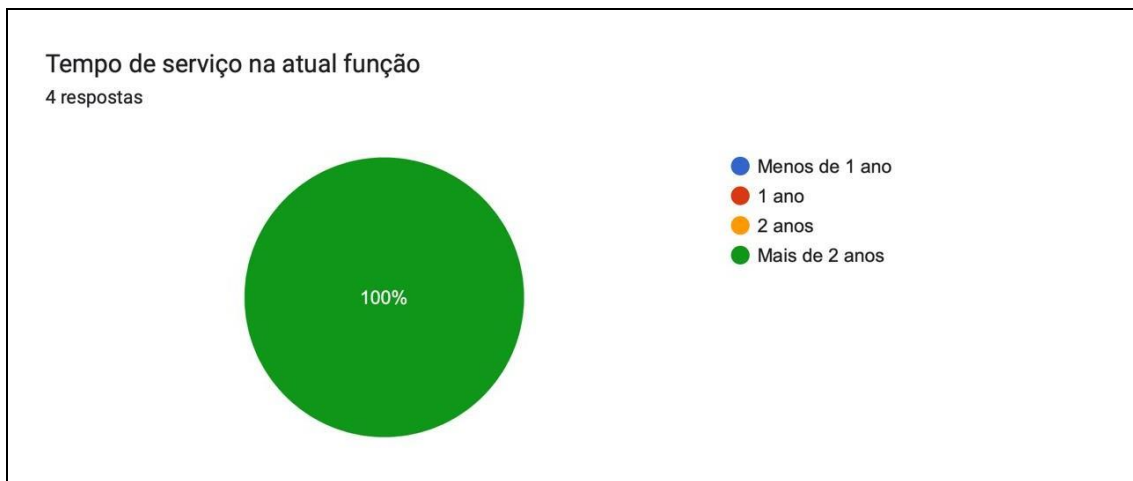


Figura 13: Tempo na atual função

Segundo a Figura 13, todos os inquiridos se encontram prestar serviço nas respetivas funções há mais de 2 anos.

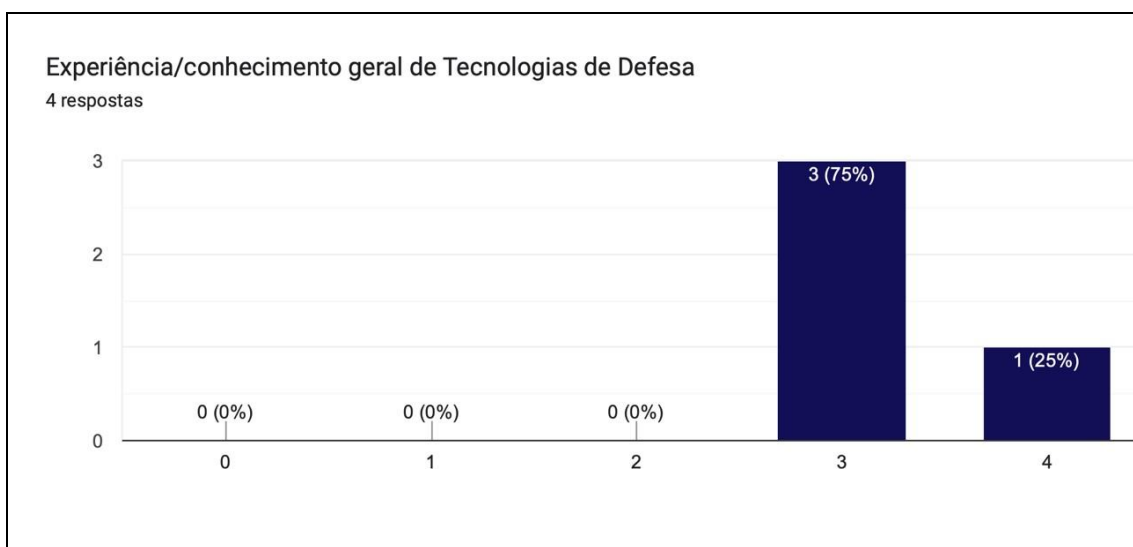


Figura 14: Nível de conhecimento em Tecnologias de Defesa dos SME

Os SME selecionados autoavaliaram o seu nível de conhecimento em 3 (75%) e 4 (25%).

### 3.1.2. Nível de relevância das EDT

Nesta secção, os inquiridos estabeleceram o nível de relevância das EDT selecionadas, de acordo com a seguinte escala:

- 0 – Irrelevante;
- 1 – Pouco relevante;
- 2 – Algo relevante;
- 3 – Relevante;
- 4 – Muito relevante;
- 5 – Extremamente relevante.

Posteriormente, estas tecnologias farão parte do grupo de antecedentes do modelo de lógica difusa. Os dados obtidos nesta secção encontram-se no Apêndice C, sendo que a numeração atribuída a cada tecnologia corresponde ao número da respetiva questão do questionário, tal como apresentado no Apêndice A.

### **3.1.3. Nível de relevância dos critérios de aquisição**

Nesta secção, os inquiridos estabeleceram o nível de relevância critérios de aquisição (variáveis linguísticas), de acordo com a seguinte escala:

- 0 – Irrelevante;
- 1 – Pouco relevante;
- 2 – Algo relevante;
- 3 – Relevante;
- 4 – Muito relevante;
- 5 – Extremamente relevante.

Posteriormente estes critérios de aquisição farão parte do grupo de antecedentes do modelo de lógica difusa. Alguns dos critérios inicialmente mencionados no questionário foram mais tarde descartados devido às regras de inferência consideradas como verdadeiras pelos *SME*. Os dados obtidos nesta secção encontram-se no Apêndice D, sendo que a numeração atribuída a cada tecnologia corresponde ao número da respetiva questão do questionário, tal como apresentado no Apêndice A.

### **3.1.4. Regras de inferência difusa**

O objetivo desta etapa foi a criação e seleção de regras *fuzzy* que consistem na relação das variáveis antecedentes e consequentes, de acordo com o formato seguinte:

**SE** << proposição difusa >> **ENTÃO** << proposição difusa >>

Onde a << proposição difusa >> consiste numa proposição “E” ou “OU” relativa às variáveis linguísticas.

Deste modo, nesta secção foi solicitado aos peritos que atribuissem uma resposta do tipo “verdadeiro” ou “falso” relativamente às regras de inferência difusa para que se pudessem seleccionar quais delas inserir no modelo.

### **3.1.5. Matriz de relação de variáveis**

A elaboração desta matriz teve como principal intuito estabelecer relações entre critérios de aquisição (variáveis linguísticas) e EDT, isto é, obtenção de inputs para os antecedentes.

A estrutura da matriz de relação de variáveis encontra-se no Apêndice B.

## **3.2. Desenvolvimento do sistema de suporte à decisão**

A escolha e priorização das tecnologias disruptivas adequadas para a Defesa é uma tarefa de extrema importância, mas deveras complexa. Existem um elevado número de fatores a considerar no momento de tomada de decisão que, por sua vez, não é linear.

Considerando a complexidade que esta análise requer, o processo de tomada de decisão torna-se demorado e sujeito à subjetividade de cada especialista que a realiza. Portanto, é necessário desenvolver soluções que possam agilizar esse processo. A utilização de sistemas de inferência difusa neste tipo de análise revela-se altamente benéfica, pois reduz o tempo de decisão e minimiza imprecisões nas escolhas, aproximando-se sempre do raciocínio do pesquisador.

Assim, devido às vantagens e vasta aplicação deste tipo de métodos, foi criado um sistema inteligente com recurso à linguagem *Python* utilizando a biblioteca *scikit-learn*, mais concretamente a ferramenta *scikit-fuzzy*. A plataforma utilizada para efeitos elaboração de código foi o *Google Colab*.

### 3.2.1. Metodologia

A criação do sistema de inferência difusa seguiu os seguintes passos:

#### 1. Definição de antecedentes e funções de pertença;

As tecnologias consideradas no quadro da *NATO*, EDA (já mencionadas no Capítulo II) e outras tecnologias disruptivas não presentes em nenhum dos quadros, mas com potencial para a Defesa. As variáveis linguísticas foram criadas com base em potenciais critérios de seleção de tecnologias tidos em conta pela gestão topo da Defesa.

#### 2. Criação de regras de inferência difusa;

Do questionário realizado apenas foram seleccionadas as regras que tiveram um nível de aceitação superior a 75%, isto é, que pelo menos 3 dos 4 inquiridos consideraram como verdadeiras.

#### 3. Criação do sistema de controlo de regras para a variável consequente;

As regras foram aplicadas de forma a devolver um nível de pertença do consequente.

#### 4. Atribuição dos pesos às tecnologias e variáveis linguísticas;

A atribuição dos pesos das tecnologias e das variáveis linguísticas foi feita consoante a avaliação dada por cada perito relativamente ao nível de relevância (escala de 0-5) na secção A do questionário *Google Forms*.

#### 5. Atribuição dos *inputs* às tecnologias e variáveis linguísticas;

A atribuição dos *inputs* das tecnologias e das variáveis linguísticas foi feita consoante a avaliação dada por cada perito relativamente ao nível de relevância (baixo, médio ou alto) numa matriz do *Google Sheets* de acordo com o modelo apresentado no Apêndice B.

#### 6. Avaliação das prioridades tecnológicas e visualização dos resultados.

Por fim, é feita a avaliação dos inputs e pesos atribuídos pelos peritos às variáveis linguísticas e tecnologias e apresentada a priorização final de acordo com as opiniões recolhidas e respetiva visualização em gráficos de pertença.

### 3.2.2. Variáveis de entrada

Para se proceder ao início do desenvolvimento do modelo, foram criadas as variáveis de entrada designadas de “Antecedentes”, as quais se encontram discriminadas na Figura 15.

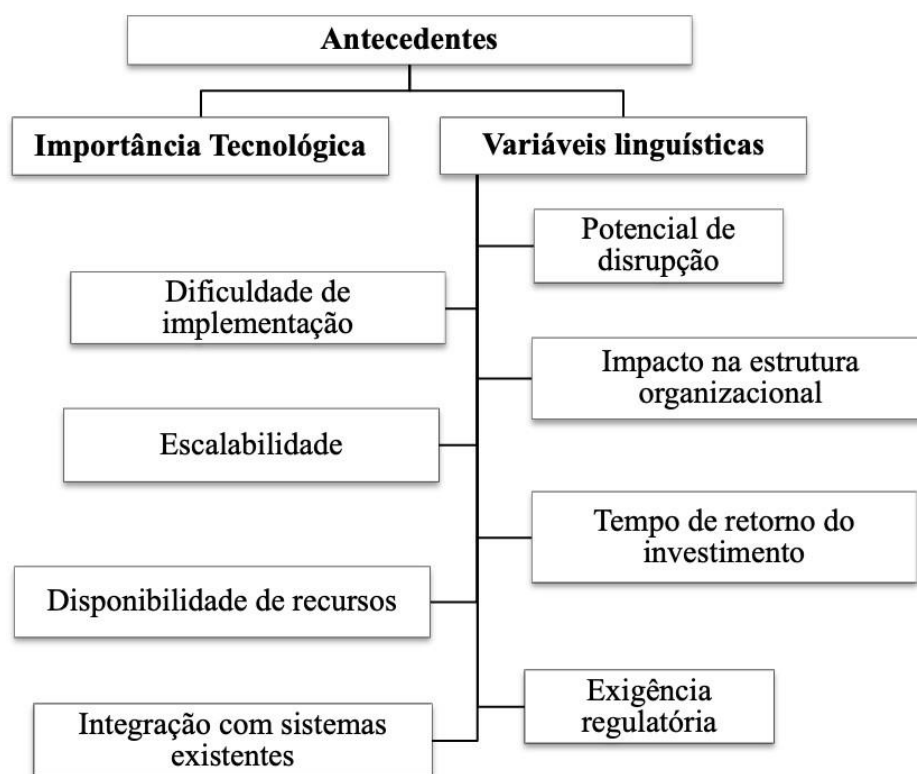


Figura 15: Antecedentes do modelo de lógica difusa

Todas as variáveis acima mencionadas têm associadas a si um valor de “input”, referente à atribuição dada na matriz de relação de variáveis (0-baixo, 1-médio, 2-alto) e um valor de “peso” (*weight*), referente à atribuição dada no questionário *Google Forms* (0 – irrelevante; 1 – pouco relevante; 2 – algo relevante; 3 – relevante; 4 – muito relevante; 5 – extremamente relevante).

A primeira categoria de variáveis antecedentes a ser criada foi a referente à importância tecnológica, cujo nome utilizado para efeito de código foi *Technology\_Importance*. Esta categoria serviu para atribuir às tecnologias um nível de relevância compreendido entre 0 e 5, pelo que foi possível obter 6 conjuntos difusos {0 – irrelevante; 1 – pouco relevante; 2 – algo relevante; 3 – relevante; 4 – muito relevante; 5 – extremamente relevante}. A função de pertença utilizada para as variáveis foi a função triangular, como se pode observar na Figura 16. Na Tabela 2, encontram-se os conjuntos difusos e valor dos respectivos parâmetros.

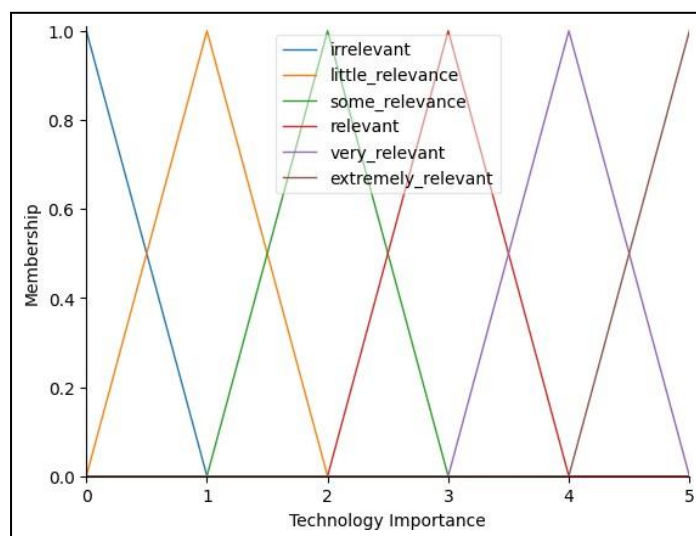


Figura 16: Funções pertença - Importância Tecnológica (input)

Tabela 2: Parâmetros das funções de pertença - Importância Tecnológica

| Conjuntos Difusos      | a | b | c |
|------------------------|---|---|---|
| Irrelevante            | 0 | 0 | 1 |
| Pouco Relevante        | 0 | 1 | 2 |
| Algo Relevante         | 1 | 2 | 3 |
| Relevante              | 2 | 3 | 4 |
| Muito Relevante        | 3 | 4 | 5 |
| Extremamente Relevante | 4 | 5 | 5 |

- A segunda categoria de variáveis antecedentes criada foi referente às 8 variáveis linguísticas do modelo, que são alusivas aos critérios de aquisição das tecnologias solicitados no questionário. Foi atribuído às variáveis linguísticas valores entre 0 e 2, tendo sido possível identificar 3 conjuntos difusos {0 - baixo, 1 - médio, 2 - alto}. Para efeitos de código, os nomes atribuídos às variáveis linguísticas foram,

respetivamente:

- ***Disruption\_Potential***
- ***Implementation\_Difficulty***,
- ***OrganizationalS\_Impact***,
- ***Scalability***,
- ***Time\_ROI***,
- ***Resource\_Availability***,
- ***Regulatory\_Requirement***,
- ***Integration\_ExistingSystems***.

A Figura 17 mostra o exemplo de um gráfico da função de pertença da variável linguística ***Disruption\_Potential***, sendo que todas as restantes têm a mesma configuração. A Tabela 3 corresponde aos parâmetros de configuração das funções de pertença das variáveis linguísticas acima mencionadas.

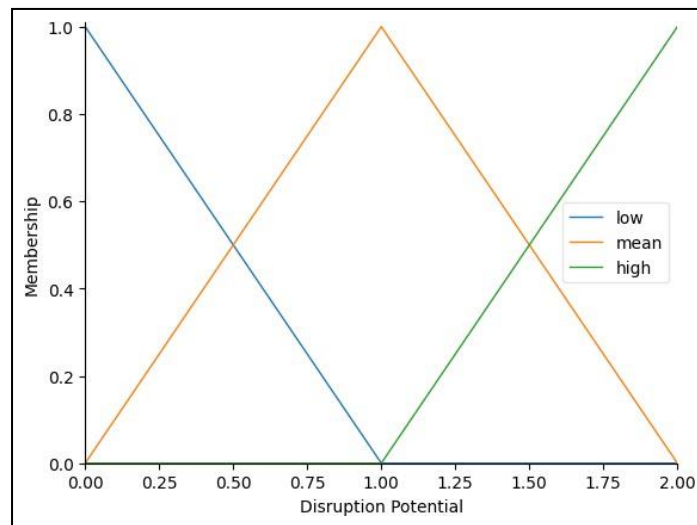


Figura 17: Funções pertença - Variável linguística (input)

Tabela 3: Parâmetros das funções de pertença - Variáveis Linguísticas

| Conjuntos Difusos | a | b |
|-------------------|---|---|
| Baixo             | 0 |   |
| Médio             |   |   |

De acordo com o modelo de Mamdani mencionado no Capítulo I, a fase seguinte consiste na criação da base de regras. Esta foi feita e moldada consoante as respostas obtidas nos questionários realizados (Apêndice A).

Dados os conjuntos determinados pelas variáveis antecedentes, as regras são expressas da seguinte forma:

1. REGRA 1 - SE *Disruption\_Potential* “Alto” E *Implementation\_Difficulty* “Alto” ENTÃO *Tech\_Priority* “Arriscada”;
2. REGRA 2 - SE *OrganizationalS\_Impact* “Alto” E *Time\_ROI* “Alto” ENTÃO *Tech\_Priority* “Arriscada”;
3. ...
4. REGRA 29 - SE *Resource\_Availability* “Alto” E *Regulatory\_Requirement* “Baixo” ENTÃO *Tech\_Priority* “Promissora”.

### 3.2.3. Discriminação das tecnologias

Uma vez que o objetivo do Sistema é priorizar as tecnologias introduzidas no questionário, é necessário fazer a discriminação das mesmas no modelo. Para esse efeito

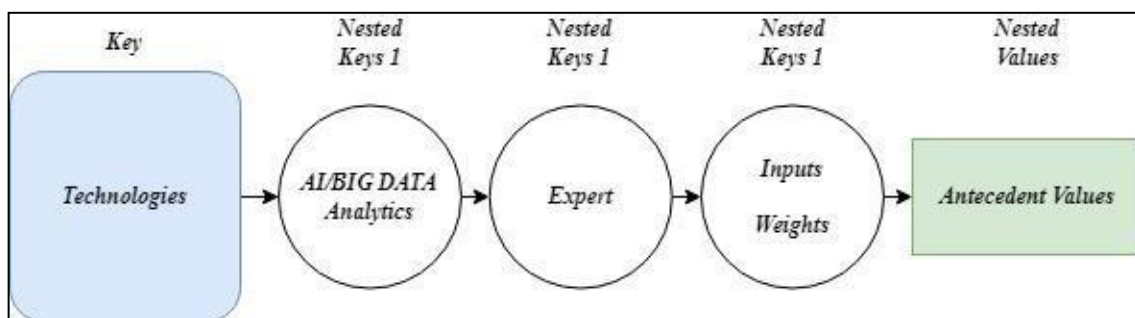


Figura 18: Dicionário aninhado para discriminação de tecnologias

recorreu-se ao método *Nested Dictionary*, isto é, dos dicionários aninhados. Em *Python*, *Nested Dictionary* é o conceito de representação de informação estrutural, em que os dados são armazenados em pares *key-value*. O esquema deste método adaptado ao problema em questão encontra-se representado na Figura 18.

### 3.2.4. Variável de saída

Para que as regras de inferência anteriormente mencionadas funcionem, é necessário definir a variável de saída. O sistema desenvolvido tem como variável de saída (variável consequente numa ótica difusa) a prioridade tecnológica, cujo nome atribuído em termos de código foi ***Tech\_Priority***. Esta foi definida por 3 conjuntos difusos {0 – Arriscada, 0.5 – Promissora, 1 – Recomendada}, cujas funções de pertença foram igualmente definidas através de uma função triangular, conforme se pode observar na Figura 19. Por sua vez, a Tabela 4 discrimina os parâmetros de configuração das respetivas funções de pertença.

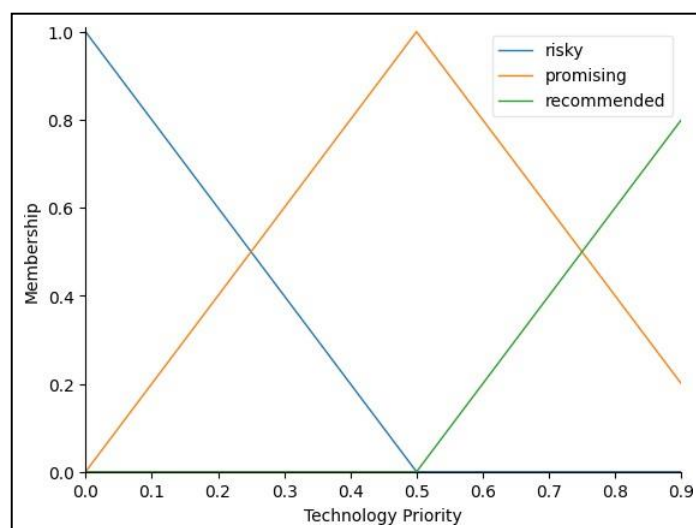


Figura 19: Funções pertença - Prioridade Tecnológica (output)

Tabela 4: Parâmetros das funções de pertença – Prioridade Tecnológica

| Conjuntos Difusos | a   | b   | c   |
|-------------------|-----|-----|-----|
| Arriscada         | 0   | 0   | 0.5 |
| Promissora        | 0   | 0.5 | 1   |
| Recomendada       | 0.5 | 1   | 1   |

Os valores a, b e c da Tabela 4, foram moldados para que os conjuntos tivessem todos o mesmo, havendo uma discriminação mais equilibrada entre os três conjuntos.

No final, o sistema devolve um valor correspondente à ***Tech\_Priority***, isto é, prioridade tecnológica de cada tecnologia indicada no dicionário aninhado, que é calculada em função dos pesos atribuídos por cada perito.



# CAPÍTULO IV

## **Execução do modelo de lógica difusa**

4.1. Aplicação dos dados

4.2. Resultados Obtidos



## 4. Execução do modelo

Neste capítulo, serão apresentados e justificados os valores adotados nas diferentes tecnologias para cada um dos critérios a avaliar. No final será possível dar uma resposta final à QP da dissertação.

### 4.1. Aplicação dos dados

Esta secção corresponde à aplicação dos dados obtidos do questionário *Google Forms* e da matriz de relação de variáveis do *Google Sheets*. A aplicação consiste na atribuição desses valores às variáveis antecedentes do algoritmo difuso.

#### 4.1.1. Inteligência Artificial e *Big Data Analytics*

Relativamente à tecnologia “Inteligência Artificial/*Big Data Analytics*”, a classificação dada pelo sistema a esta EDT encontra-se representada na Figura 20.

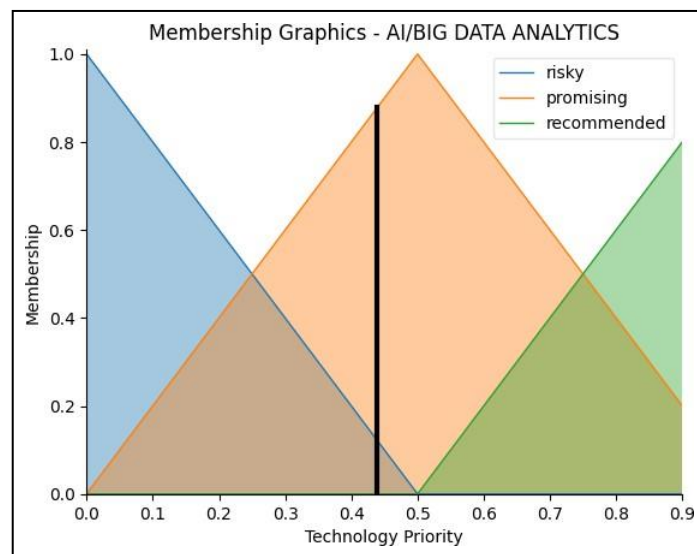


Figura 20: Gráfico de prioridade tecnológica - AI

Através da análise da Figura 20, podemos verificar que a tecnologia *AI/Big Data Analytics*, tem um maior grau de pertença à categoria “Promissora”. Contudo, era esperada alguma discrepância nas opiniões dado o seu potencial disruptivo, o que se confirmou.

#### 4.1.2. Veículos não tripulados

Quanto à tecnologia “Veículos não tripulados”, a classificação atribuída pelo sistema foi a seguinte (Figura 21):

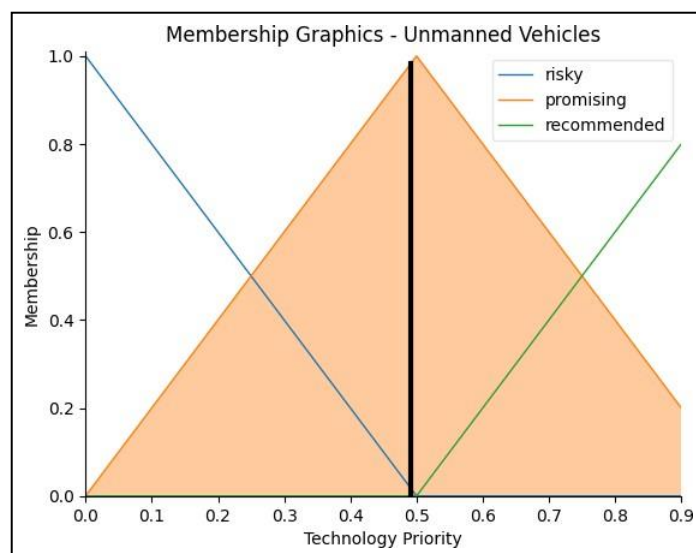


Figura 21: Gráfico de prioridade tecnológica - Veículos não tripulados

Neste caso, a tecnologia em questão é classificada como “Promissora”.

#### 4.1.3. Sistemas de armas autónomas

Os sistemas de armas autónomas obtiveram por parte do sistema a classificação de “Promissora”. Através da análise da Figura 22, é possível verificar que a tecnologia “sistemas de armas autónomas” obteve um *score* inferior ao das tecnologias mencionadas anteriormente. Embora o sistema tenha classificado esta tecnologia como promissora, é de referir que houve uma porção de opiniões que convergiu para a categoria “arriscada”. Essa convergência deve-se, possivelmente, ao facto das questões éticas e morais que estes tipos de tecnologias implicam.

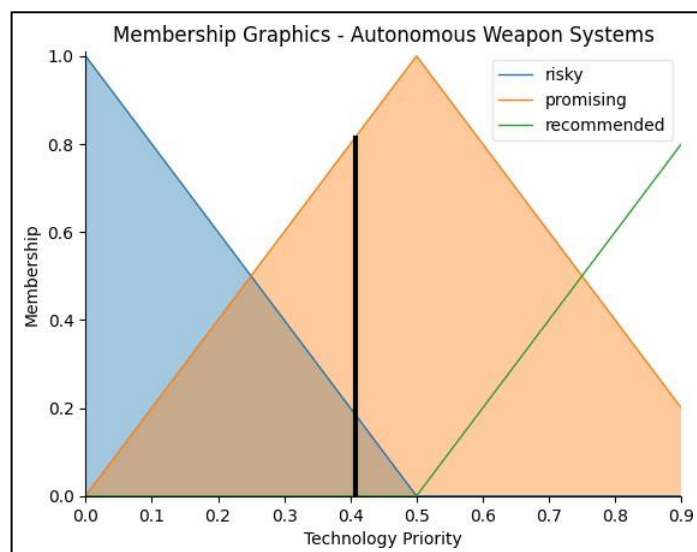


Figura 22: Gráfico de prioridade tecnológica - Sistemas de armas autónomas

#### 4.1.4. Criptografia quântica

No que toca à tecnologia “criptografia quântica”, o sistema classificou-a da seguinte forma:

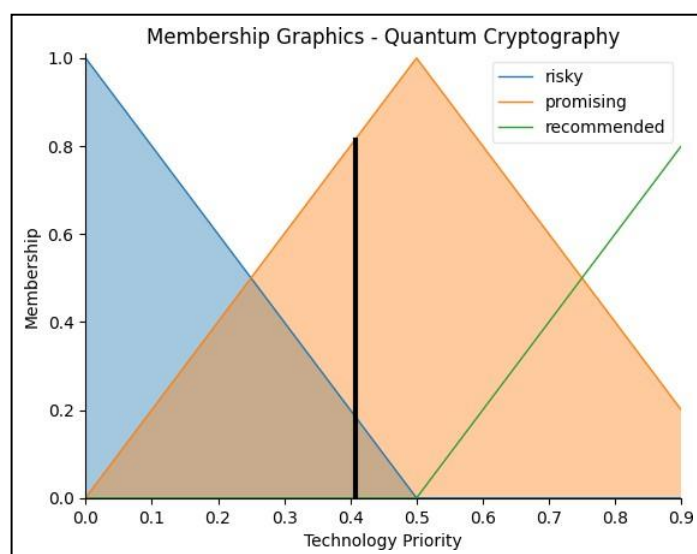


Figura 23: Gráfico de prioridade tecnológica - Criptografia quântica

Através da observação da Figura 23, verifica-se uma quantidade de peritos a considerar este tipo de tecnologia como “Arriscada”. Contudo existe um grau de pertença superior na classificação “Promissora”.

#### 4.1.5. Nanotecnologia

A “nanotecnologia” obteve uma maior rejeição por parte dos peritos, pelo que o sistema a classificou como “Arriscada”.

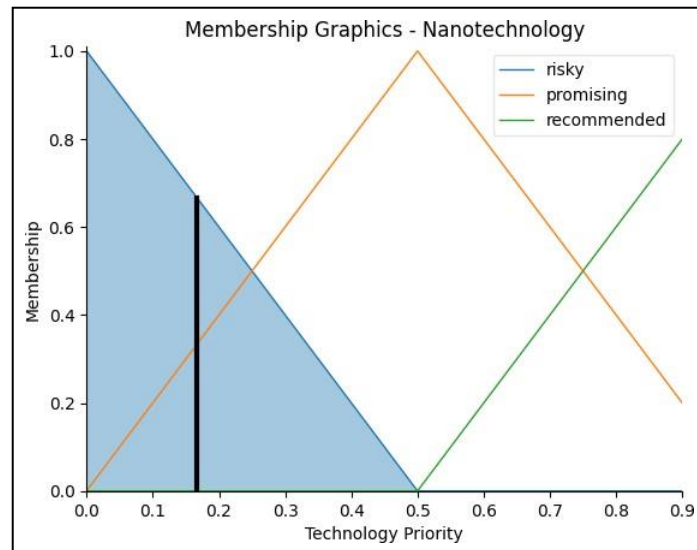


Figura 24: Gráfico de prioridade tecnológica - Nanotecnologia

Por observação da Figura 24, é possível verificar um score bastante inferior relativamente às tecnologias até então mencionadas.

#### 4.1.6. Veículos autónomos terrestres

Os “veículos autónomos terrestres” obtiveram do sistema a classificação de “Promissora” e um score bastante idêntico ao das tecnologias acima mencionadas.

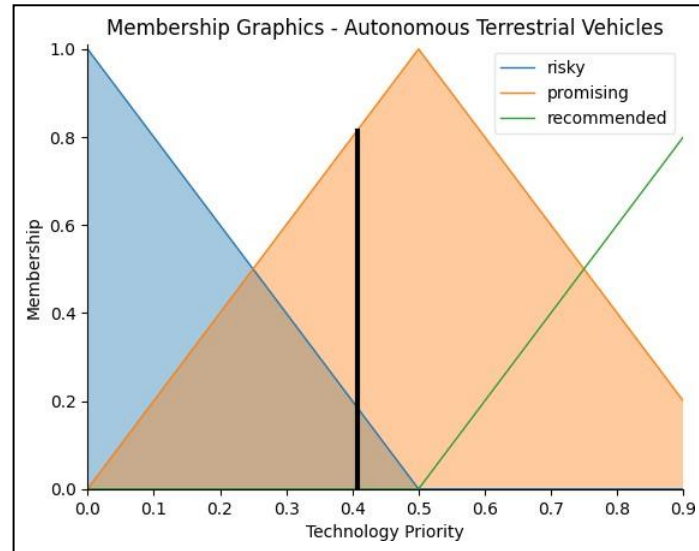


Figura 25: Gráfico de prioridade tecnológica - Veículos autônomos terrestres

#### 4.1.7. Realidade Aumentada e Virtual

Ao analisar o gráfico da figura seguinte, é possível obter do sistema a classificação de “Promissora” para a tecnologia em questão, com um grau de pertença de aproximadamente 1.

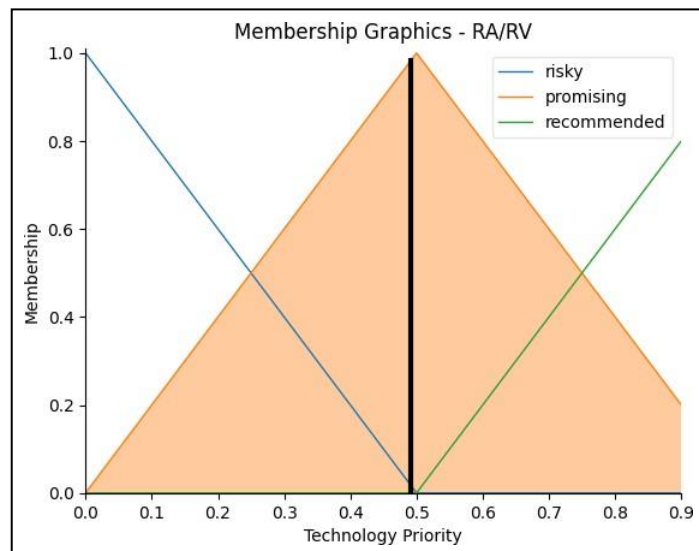


Figura 26: Gráfico de prioridade tecnológica - Realidade aumentada e virtual

#### 4.1.8. Robótica militar

No que diz respeito à robótica militar, houve uma maior disparidade entre as opiniões pelo que alguns consideraram a tecnologia arriscada e outros consideraram como promissora.

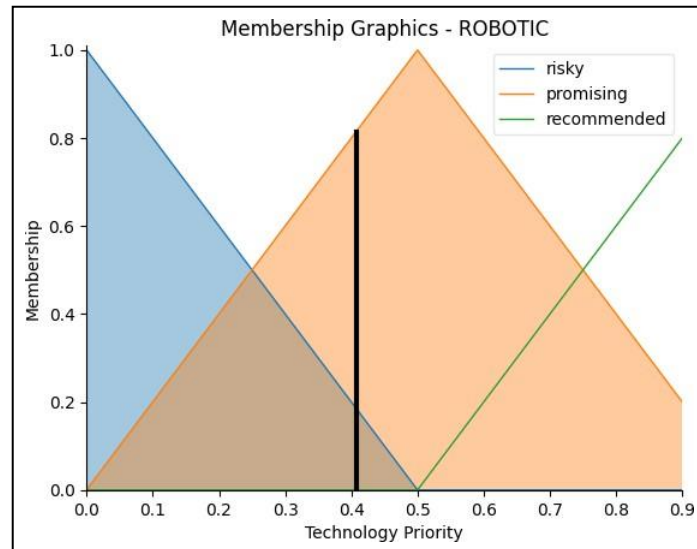


Figura 27: Gráfico de prioridade tecnológica – Robótica militar

Ao analisar a Figura 27, é possível afirmar que há um maior nível de pertinência à categoria “Promissora”.

#### 4.1.9. Tecnologias de camuflagem

No que diz respeito às tecnologias de camuflagem, houve uma maior disparidade entre as opiniões. Alguns dos peritos classificaram-nas como promissoras e os restantes como recomendadas. Contudo, a figura seguinte revela que houve uma convergência para a categoria “Promissora”.

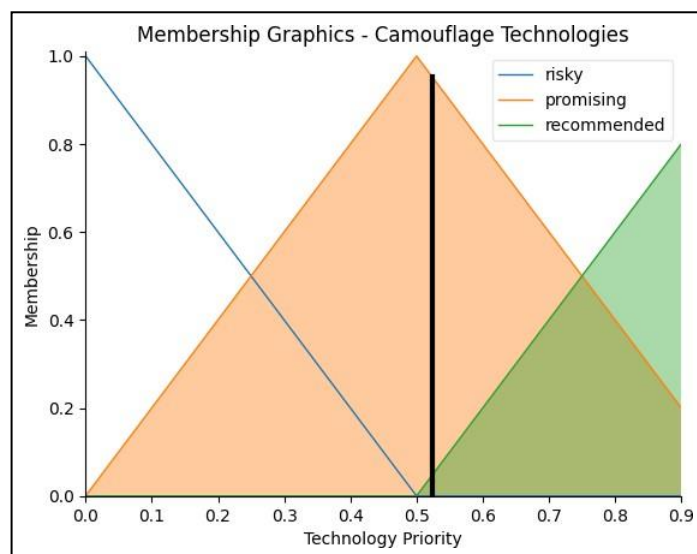


Figura 28: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de camuflagem

#### 4.1.10. Impressão 3D

Os dados extraídos da Figura 29 revelam que a impressão 3D obteve a categoria de “Promissora”. No entanto, houve uma porção dos inquiridos que considerou esta tecnologia como “Recomendada”.

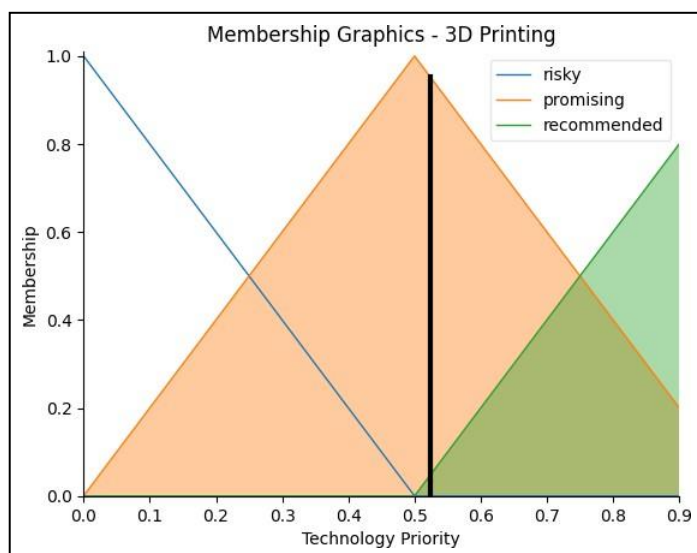


Figura 29: Gráfico de prioridade tecnológica - Impressão 3D

#### 4.1.11. Tecnologias de propulsão e energia renovável

As tecnologias de propulsão fazem parte do grupo de tecnologias que o sistema atribuiu um maior nível de rejeição.

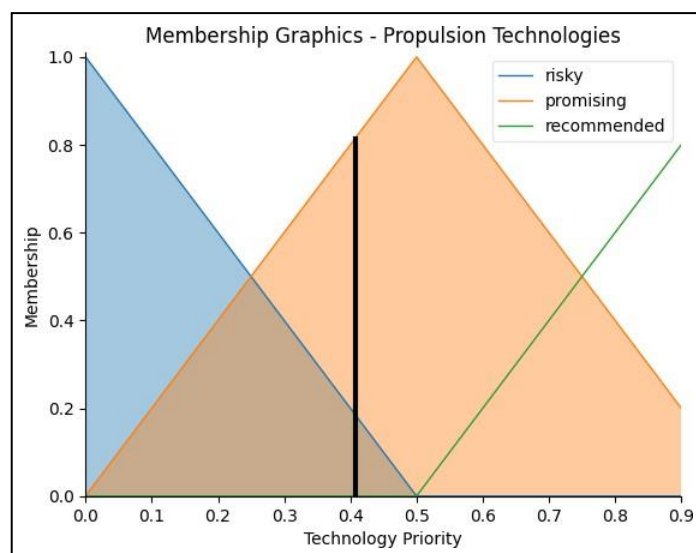


Figura 30: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de propulsão

Embora a classificação final atribuída pelo sistema tenha sido “Promissora”, houve uma porção de peritos a considerar este grupo de tecnologias como “Arriscada”.

#### 4.1.12. Biotecnologia

A biotecnologia foi das tecnologias com um maior nível de rejeição por parte dos *SME*. Ao observar a Figura 31, é possível verificar que o sistema atribuiu a esta tecnologia a classificação de “Arriscada”.

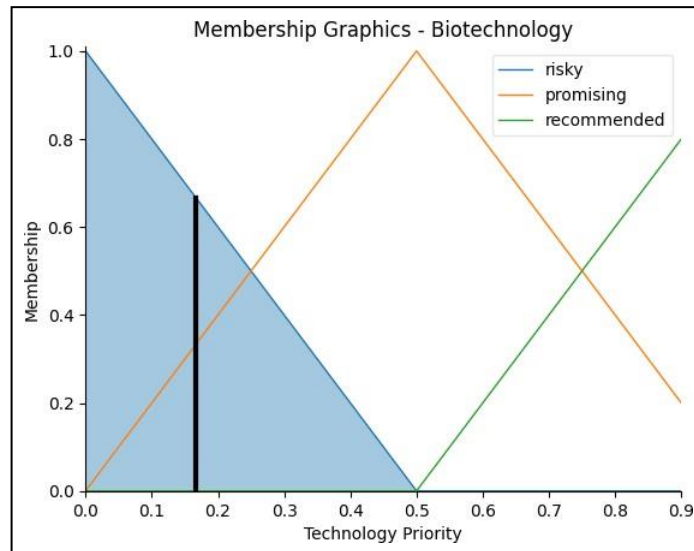


Figura 31: Gráfico de prioridade tecnológica - Biotecnologia

#### 4.1.13. Tecnologia espacial

No que toca à tecnologia espacial, o sistema classificou-a como sendo “Promissora”. Embora a disponibilidade de recursos para este tipo de tecnologias seja baixa, é recomendado que sejam implementadas na Defesa cada vez mais tecnologias espaciais.

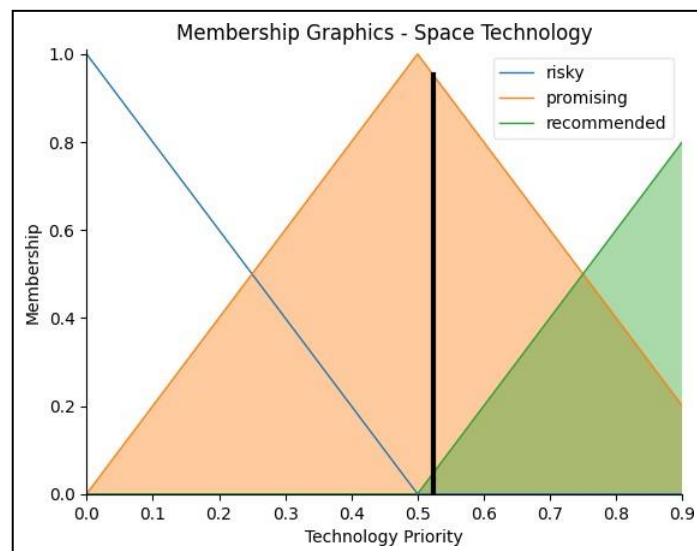


Figura 32: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologia espacial

#### 4.1.14. Cibersegurança

A cibersegurança foi classificada como tecnologia promissora pelo sistema. Contudo, houve uma percentagem dos peritos que atribuiu valores que consideravam a cibersegurança como uma área arriscada.

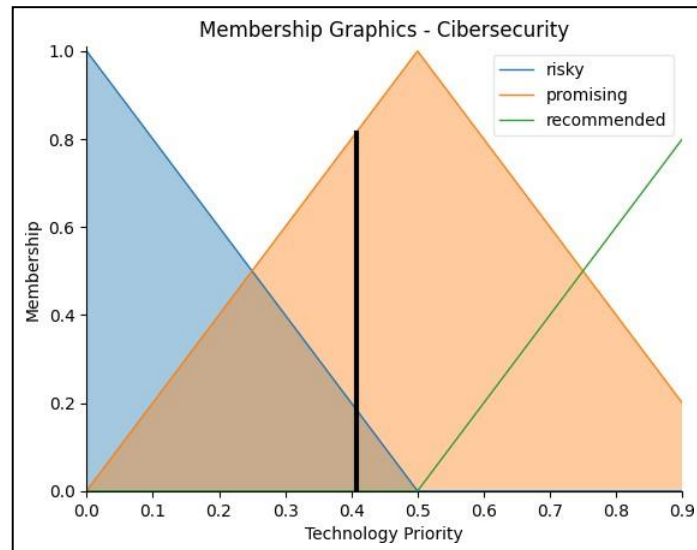


Figura 33: Gráfico de prioridade tecnológica - Cibersegurança

#### 4.1.15. Tecnologia de armas hipersônicas

Embora este tipo de tecnologias seja dos mais críticos para a *NATO*, existem muitos fatores que podem levar à rejeição deste tipo de tecnologias (ex: investimento necessário).

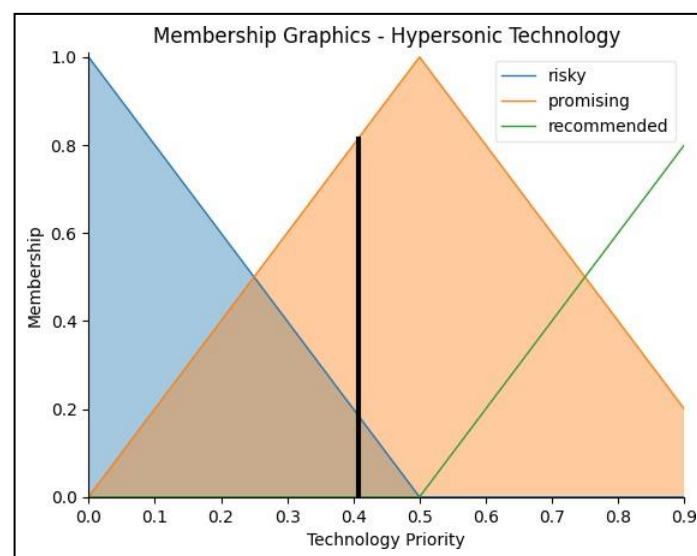


Figura 34: Gráfico de prioridade tecnológica - Tecnologias de armas hipersônicas

Embora alguns peritos tenham considerado esta área tecnológica como “Arriscada”, o sistema atribuiu-lhe a classificação de “Promissora”.

#### 4.1.16. Materiais inovadores

O sistema considerou que os materiais inovadores fossem promissores para a Defesa. O gráfico da Figura 35 ilustra o *output* dado pelo sistema.

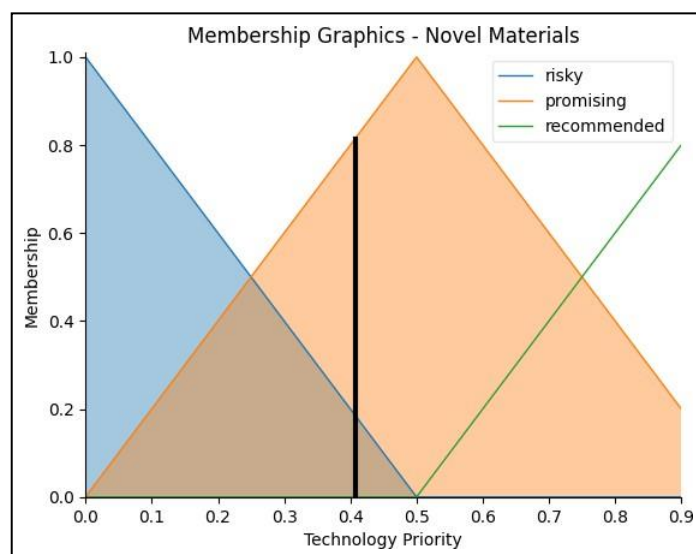


Figura 35: Gráfico de prioridade tecnológica - Materiais inovadores

Embora o sistema tenha classificado esta tecnologia como “promissora”, verifica-se que parte dos peritos classificou a tecnologia como “Arriscada”.

## 4.2. Resultados obtidos

Através da análise do *Radarchart* da Figura 36, é possível verificar que a IA se destaca das restantes tecnologias relativamente à prioridade atribuída pelos peritos da Defesa. Outras tecnologias que obtiveram um elevado nível de aceitação foram: Impressão 3D, veículos não tripulados, tecnologias de camuflagem, cibersegurança, tecnologias espaciais, veículos autónomos terrestres, criptografia quântica e realidade aumentada/virtual. Por outro lado, a biotecnologia e a nanotecnologia, obtiveram o maior nível de rejeição. O *Radarchart* foi elaborado com recurso à biblioteca *Plotly* do *Python*.

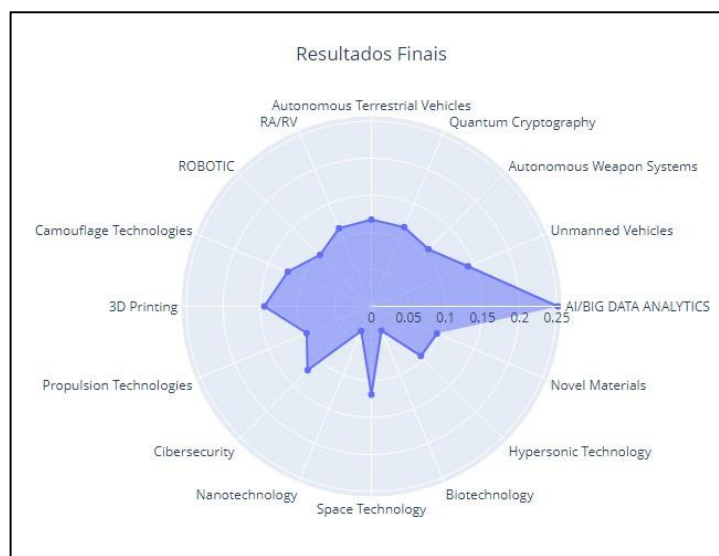


Figura 36: Radarchart- Resultados obtidos

A Tabela 5 resume os resultados obtidos pelo sistema, estabelecendo a prioridade final às tecnologias disruptivas inseridas no modelo.

Tabela 5: Prioridade final das Tecnologias Emergentes e disruptivas inseridas no modelo

| Ordem de prioridade | Tecnologia emergente e disruptiva                  |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| 1                   | Inteligência Artificial/ <i>Big Data Analytics</i> |
| 2                   | Impressão 3D                                       |
| 3                   | Veículos Não Tripulados                            |
| 4                   | Tecnologias de Camuflagem                          |
| 5                   | Cibersegurança                                     |
| 6                   | Tecnologias Espaciais                              |
| 7                   | Veículos Autônomos Terrestres                      |
| 8                   | Criptografia Quântica                              |
| 9                   | Realidade Aumentada e Virtual                      |
| 10                  | Sistemas de Armas Autônomos                        |
| 11                  | Robótica Militar                                   |
| 12                  | Materiais Inovadores                               |
| 13                  | Tecnologias de propulsão e energia renovável       |
| 14                  | Tecnologia de armas hipersônicas                   |
| 15                  | Nanotecnologia                                     |
| 16                  | Biotecnologia                                      |

Uma vez obtidos os resultados do SAD, importa estabelecer uma ponte de ligação entre a priorização obtida para as EDT e as capacidades da BTID para providenciar as mesmas. Por observação da Tabela 5, verifica-se que houve uma atribuição de prioridades a tecnologias que não se enquadram com as capacidades atuais da BTID nacional.

Portugal prevê que, na próxima década, seja um ator relevante no contexto europeu da indústria espacial. Contudo, as capacidades atuais da BTID para providenciar tecnologias espaciais são reduzidas. Apesar das “Tecnologias espaciais” terem obtido a 6ª posição relativamente à prioridade tecnológica, importa referir que não existem, atualmente, capacidades de criação e implementação de tecnologias espaciais impactantes para a Defesa Nacional. No entanto, como membro da União Europeia e da Agência Espacial Europeia (ESA), Portugal participa em projetos e programas espaciais europeus. Através da ESA, Portugal tem acesso a oportunidades de colaboração e desenvolvimento de tecnologias espaciais. Em 2019, foi criada a *Portugal Space*, uma agência espacial portuguesa que tem como objetivo promover e coordenar as atividades espaciais do país. Através da *Portugal Space*, o governo português tem vindo a impulsionar o desenvolvimento da indústria espacial nacional e a participação em projetos espaciais internacionais. Embora Portugal ainda não tenha uma indústria espacial desenvolvida como alguns países, atualmente está a investir em programas e parcerias para fortalecer a sua presença no setor. Através da BTID, é possível que haja esforços para impulsionar a capacidade tecnológica e industrial de Portugal também no setor espacial, estimulando o desenvolvimento de empresas e tecnologias relacionadas ao espaço.

Relativamente aos veículos não tripulados, sejam eles aéreos, terrestres ou marítimos, estes inserem-se num setor que tem verificado um desenvolvimento acrescido em Portugal. A sua reconhecida utilidade para operações militares, nomeadamente vigilância, reconhecimento e apoio logístico, fez com que houvesse uma maior preocupação com este setor tecnológico, constituindo assim área promissora para a Defesa Nacional.

Quanto às tecnologias de camuflagem militar, este é um campo que tem vindo a evoluir rapidamente nos últimos anos. Alguns exemplos de aplicação deste tipo de tecnologias são: (1) Camuflagem ótica ativa; (2) Tecidos camuflados inteligentes; (3) Camuflagem térmica; (4) Camuflagem acústica; (5) Camuflagem eletrónica; (6)

Camuflagem por dissimulação. Importa salientar que este tipo de tecnologias depende de componentes como materiais inteligentes que requerem uma capacidade acrescida da BTID para a produção deste tipo de equipamentos.

Embora o campo da criptografia quântica seja uma área tecnológica emergente e disruptiva, também se encontra numa fase bastante preliminar relativamente ao seu desenvolvimento. A implementação da criptografia quântica requer avanços tecnológicos significativos, tanto em termos de hardware como de software. Embora algumas empresas e instituições de pesquisa estejam a desenvolver projetos nessa área, esta ainda está numa fase inicial de desenvolvimento e adoção generalizada.

## **Conclusão**

O objetivo deste estudo foi a escolha e utilização de um método capaz de estabelecer prioridades relativamente às EDT com interesse para a Defesa. O recurso à lógica *fuzzy* através da linguagem de programação *Python*, para o desenvolvimento do SAD revelou-se uma ferramenta extremamente útil, uma vez que permitiu a representação e o processamento dos dados obtidos dos *SME*. Esta abordagem permitiu considerar e quantificar a incerteza inerente ao processo de tomada de decisão, oferecendo uma visão mais abrangente das prioridades tecnológicas disruptivas da Defesa. Importa referir que a incerteza no processo de tomada de decisão estratégica é uma adversidade que surge em diversas situações nas organizações militares. A aplicação deste tipo de abordagens, permite lidar com a complexidade e a incerteza inerentes ao ambiente de Defesa, fornecendo uma ferramenta robusta e eficaz para os *decision makers*. Ao implementar um sistema deste tipo, os gestores e especialistas da Defesa podem considerar uma gama ampla de critérios e variáveis de seleção das EDT, como o potencial de disrupção, o impacto na estrutura organizacional, a disponibilidade de recursos (materiais, pessoais e financeiros) e interoperabilidade. Através da modelação dos critérios utilizando conjuntos difusos, é possível quantificar a importância relativa de cada um deles e obter uma visão abrangente da situação. Além disso, o SAD baseado em lógica difusa permite a flexibilidade na incorporação de novos conhecimentos e informações à medida que se tornam disponíveis. Isso possibilita uma abordagem adaptável e iterativa, garantindo que as decisões sejam atualizadas e aprimoradas ao longo do tempo.

Em suma, o desenvolvimento de um SAD baseado na lógica difusa para a priorização das tecnologias com interesse para a Defesa representa uma ferramenta bastante útil no campo da tomada de decisões estratégicas.

## **Limitações encontradas**

As principais limitações encontradas passaram sobretudo pela obtenção de informação especializada e técnica. A dificuldade de obtenção de um maior volume de informação deveu-se ao número reduzido de peritos disponíveis para colaborar nestas matérias. O número reduzido de peritos inquiridos trouxe também algumas dificuldades no desenvolvimento do sistema. A definição adequada dos conjuntos difusos, a escolha

das regras de inferência, a defuzzificação e a determinação dos pesos dos critérios exigiram um processo de ajuste cuidadoso para que o sistema fosse o mais realista possível. Além disso, a obtenção e validação dos dados necessários para alimentar o sistema também se mostraram desafiadoras, exigindo esforços adicionais de pesquisa e recolha de informação.

### **Recomendações futuras**

A elaboração desta dissertação permitiu a escolha de um método de tomada de decisão para as tecnologias com interesse para a Defesa. Contudo, existem diversos fatores que não foram considerados devido à complexidade inerente destas matérias. É recomendado que seja feito um estudo mais aprofundado das capacidades da BTID uma vez que esta representa o conjunto de entidades responsáveis pela conceção, desenvolvimento, produção e manutenção de equipamentos e sistemas de Defesa. Essa seria uma variável com elevado peso a considerar em futuros projetos da mesma natureza.

## Bibliografia

- Afonso (2011). *Implicações da mudança de paradigmas dos conceitos de Segurança e de Defesa no desenvolvimento da Base Tecnológica e Industrial de Defesa (BTID) Nacional*. Lisboa, Portugal: ISCSP.
- Bartolomeu & Água. (2022). A framework for assessing the impacts of potentially disruptive military technologies. *Defence S&T Technical Bulletin*, 15(2), 258–269.
- Altmann, J., Asaro, P., Sharkey, N., & Sparrow, R. (2013). Armed military robots: editorial. *Ethics and Information Technology*, 15(2), 73–76. <https://doi.org/10.1007/s10676-013-9318-1>
- Alves, R. P. (2023, June 9). Onde está a Economia de Defesa portuguesa? ECO. <https://eco.sapo.pt/opiniao/onde-esta-a-economia-de-defesa-portuguesa/>
- Bitzinger, R. A. (2003). Chapter 3: Towards a Brave New Arms Industry? *The Adelphi Papers*, 43(356), 63–79. <https://doi.org/10.1080/714027876>
- Branscomb, L. M. (1994). Empowering technology: Implementing a US strategy. *Long Range Planning*, 27(4), 148. [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(94\)90077-9](https://doi.org/10.1016/0024-6301(94)90077-9)
- Cascio, J. (2022). Facing the Age of Chaos - Jamais Cascio - Medium. Medium. <https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d>
- Clement, S. (2023). *Novel Materials and Additive Manufacturing*. Luxemburgo: Science and Technology Committee.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Dombrowski, P., & Gholz, E. (2009). Identifying Disruptive Innovation: Innovation Theory and the Defense Industry. *Innovations*. <https://doi.org/10.1162/itgg.2009.4.2.101>
- Gangidi, P. (2019). A systematic approach to root cause analysis using 3 × 5 why's technique. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(1), 295–310. <https://doi.org/10.1108/ijlss-10-2017-0114>
- Gomes, A. M. (2011). *A Indústria de Defesa e a modernização das Forças Armadas Portuguesas*. Lisboa, Portugal: IUM.
- Hill, S. C. (2020). AI's Impact on Multilateral Military Cooperation: Experience from NATO. *AJIL Unbound*, 114, 147–151. <https://doi.org/10.1017/aju.2020.27>

- Portugal, I. (n.d.). Base Tecnológica e Industrial de Defesa (BTID). idD Portugal Defence. <https://www.iddportugal.pt/base-tecnologica-e-industrial-de-defesa-btid/>
- Portugal, I. (2023). Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA). idD Portugal Defence. <https://www.iddportugal.pt/defence-innovation-accelerator-for-the-north-atlantic-diana/>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. p. 28.
- Kosko, B. (1993). Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic. (1993). Choice Reviews Online, 31(04), 31–2050. <https://doi.org/10.5860/choice.31-2050>
- Kostoff, R. N., Boylan, R., & Simons, G. R. (2004). Disruptive technology roadmaps. Technological Forecasting and Social Change, 71(1–2), 141–159. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(03\)00048-9](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(03)00048-9)
- Meirinhos, M., & Osório, A. J. (2016). O estudo de caso como estratégia de investigação em educação. Eduser - Revista De Educação, 2(2). <https://doi.org/10.34620/eduser.v2i2.24>
- Moran, T. H. (1990). Deve um país insistir em confiar nas suas "próprias" empresas, ou insistir em que a produção se realize no seu próprio território. *The MIT Press*, 57-99.
- NATO. (n.d.). *Emerging and disruptive technologies*. NATO. [https://www.NATO.int/cps/en/NATOHQ/topics\\_184303.htm](https://www.NATO.int/cps/en/NATOHQ/topics_184303.htm)
- NATO Allied Command Transformation. (14 de outubro de 2022). *act.NATO*. Obtido de <https://www.act.NATO.int/article/NATO-exploring-quantum-technology-for-future-challenges/>
- Chatti, N., & Chatti, A. (2010). Robust adaptive fuzzy control and strategy of avoidance of obstacles for a manipulator arm to serve the people Disabilities. IFAC Proceedings Volumes, 43(8), 402–409. <https://doi.org/10.3182/20100712-3-fr-2020.00067>
- Nostrand, A. D. V. (1999). Fundable knowledge: the marketing of defense technology. IEEE Transactions on Professional Communication, 42(2), 143–144. <https://doi.org/10.1109/tpc.1999.768172>
- Oprisor, I. (2017). The impact of emerging and disruptive technologies on security. *Land Forces Academy Review*, 261.
- Parliament, E. (2022). *Europarl*. Obtido de Emerging disruptive technologies in defence: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733647/EPRS\\_AT\\_A\(2022\)733647\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/733647/EPRS_AT_A(2022)733647_EN.pdf)
- Pedron, C. D. (2008). *iseg.ulisboa*. Obtido de ISEG Lisboa: <https://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/getFile.do?fileId=16421&method=getFile>

- Pires, P. A. (2017). *O potencial estratégico da base tecnológica de indústrias de Defesa para Portugal*. Portugal: JTSOR.
- Raupp, F. M., & Beuren, I. M. (2006). Metodologia da pesquisa aplicável às Ciências Sociais. In I. M. Beuren (Ed.), *Como Elaborar Trabalhos Monográficos em Contabilidade: Teoria e Prática* (3rd ed., pp. 76-97). São Paulo: Atlas.
- Izquierdo, L., & Izquierdo, L. (2018). Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(3). <https://doi.org/10.18564/jasss.3660>
- De Sio, F. S., & Van Den Hoven, J. (2018). Meaningful Human Control over Autonomous Systems: A Philosophical Account. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00015>
- Wieczerniak, S., Cyplik, P., & Milczarek, J. (2017). ROOT CAUSE ANALYSIS METHODS AS A TOOL OF EFFECTIVE CHANGE. *Business Logistics in Modern Management*, 17, 611–627. <https://econpapers.repec.org/RePEc:osi:bulimm:v:17:y:2017:p:611-627>
- Sintra, A. (2021). *Estudo comparativo dos diferentes sistemas AIP existentes utilizando lógica difusa (dissertação de mestrado)*. Escola Naval, Marinha Portuguesa. Lisboa.
- SIPRI Military Expenditure Database. (n.d.). SIPRI. <https://www.sipri.org/databases/milex>
- Soare, S. R. (2023). *Innovation as Adaptation: NATO and Emerging Technologies*. Obtido de The German Marshall Fund of the United States (GMF): <https://www.gmfus.org/news/innovation-adaptation-NATO-and-emerging-technologies>
- Mirones *et al.* (2016). A Indústria de Defesa em Portugal e BTID, uma visão prospetiva. Pedrouços, Portugal: IUM.
- Veraszto, E. V., Da Silva, D., De Miranda, N. A., & Simon, F. O. (2009). Tecnologia: Buscando uma definição para o conceito. *PRISMA*, 24(8), 19–46. <http://193.137.34.194/index.php/prismacom/article/view/2065>.
- Vinha, L. M. (2008). A Indústria de Defesa Nacional no Contexto da Transformação do Mercado de Defesa Global. *Geo-Working Papers*, p. 5.
- Weitz, R. (2022). *NATO's Hypersonic Challenge*. Estonia: RKK ICDS.
- Yang, L., Li, J., Elisa, N., Prickett, T., & Chao, F. (2019). Towards Big data Governance in Cybersecurity. *Data-Enabled Discovery and Applications*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s41688-019-0034-9>
- Yin, R. K. (2018). *Pesquisa Estudo de Caso - Desenho e Métodos* (2 ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

[https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x)

Zainal, Z. (2007). Case Study As a Research Method.  
<https://jurnalkemanusiaan.utm.my/index.php/kemanusiaan/article/view/165>

## **Apêndices**

A - Estrutura do Questionário

B - Estrutura da matriz de relação de variáveis

C - Relevância das EDT dada pelos *SME*

D - Relevância dos critérios de aquisição dada pelos *SME*

E - Código do programa

## Apêndice A - Estrutura do Questionário

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div><b>ESCOLA</b>  <b>NAVAL</b><br/><i>talant de bi-faire</i></div></div>                                                                                                                                                                           |
| <div><h3>Priorização das tecnologias com interesse para a Defesa</h3><p>O presente questionário insere-se no âmbito da Dissertação de Mestrado do Aspirante de Administração Naval Sousa D'Almeida (Ano letivo 2022-2023).</p><ul style="list-style-type: none"><li>• Os dados recolhidos neste questionário serão utilizados para <b>fins exclusivamente académicos</b>.</li><li>• Assegura-se a <b>privacidade</b> e a <b>reserva</b> dos dados recolhidos.</li></ul><p>Obrigado pela colaboração!</p></div> |
| <div><h3>Objetivo do questionário</h3><ul style="list-style-type: none"><li>• O presente questionário visa obter uma <b>opinião</b> de peritos da Defesa relativamente ao <b>critério de escolha</b> de tecnologias disruptivas de Defesa, com a finalidade de criação de um <b>modelo de suporte à decisão</b>, recorrendo à abordagem da <b>Lógica Difusa (Fuzzy Logic)</b>.</li></ul></div>                                                                                                                 |

## Estrutura

- O questionário é constituído por **5 secções**.
- As questões que se seguem destinam-se a obter os dados para a investigação a desenvolver, nomeadamente:
  1. Demografia dos participantes
  2. Priorização das **Tecnologias Disruptivas** na Defesa
  3. Priorização dos **Critérios de Aquisição** da Defesa
  4. Definição de **Regras para a Aquisição**
  5. **Critérios de Aquisição** nacionais face às **Tecnologias Disruptivas**

## Instruções de preenchimento

- As perguntas são de resposta **obrigatória**.
- **Na última secção (Secção D)**, o inquirido deverá aceder ao link fornecido e preencher a folha de cálculo disponibilizada.
- Tempo médio de preenchimento: **aproximadamente 30 minutos**.
- No final do questionário o inquirido deverá carregar em **"ENVIAR"** para submeter a sua resposta

## Perfil demográfico

Nesta secção será efetuada a recolha de dados para traçar o perfil pessoal/profissional do participante no inquérito

### Idade \*

- ☐ 25-35
- ☐ 36-45
- ☐ 46-55
- ☐ 55+

### Função \*

- ☐ Logística/ Aquisição
- ☐ Operacional
- ☐ Representação Internacional (e.g. Adido, NATO, EDA)
- ☐ Centro de Investigação
- ☐ Estado-Maior
- ☐ MDN
- ☐ Outra

**Categoria \***

- ☐ Oficial General / Quadro Superior
- ☐ Professor
- ☐ Oficial Superior / Quadro Intermédio
- ☐ Sargento / Praça / Quadro Administrativo
- ☐ Outro

**Ramo das Forças Armadas \***

- ☐ Marinha
- ☐ Exército
- ☐ Força Aérea
- ☐ Nenhum

**Tempo de serviço na atual função \***

- ☐ Menos de 1 ano
- ☐ 1 ano
- ☐ 2 anos
- ☐ Mais de 2 anos

## Experiência/conhecimento geral de Tecnologias de Defesa \*

|        |                       |                       |                       |                       |                       |        |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
|        | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     |        |
| Nenhum | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Perito |

**A. Estão a emergir **Tecnologias Disruptivas** na defesa que têm o potencial de transformar significativamente o modo futuro de realizar a defesa nacional. Numa escala de 0 a 5, estabeleça a prioridade de utilização relativamente às tecnologias apresentadas a seguir:**

(0 – irrelevante; 1 – pouco relevante; 2 – algo relevante; 3 – relevante; 4 – muito relevante; 5 – extremamente relevante):

**1. Inteligência Artificial (IA)/ Analítica de Dados (Big Data):** A IA pode ser usada em diversas aplicações militares, como análise de dados, operações autônomas e deteção de ameaças. A IA pode também ajudar a melhorar a tomada de decisão em situações de combate.

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**2. Veículos Não Tripulados (VNTs):** Os VNTs podem ser usados em missões de reconhecimento, vigilância e ataque, além de serem usados em operações de busca e salvamento e em operações humanitárias.

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

...

**3. Sistemas de armas autônomas:** Os sistemas de armas autônomas, como drones armados, podem ser usados para ataques precisos e remotos, sem a necessidade de forças no local (ter em conta questões éticas).

\*

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente relevante

**4. Realidade Aumentada e Virtual (RA/RV):** A RA e a RV podem ser usadas em treino militar, simulação de batalhas e apoio à tomada de decisão em situações de combate.

\*

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente relevante

...

**5. Comunicações/criptografia quântica:** As comunicações quânticas podem fornecer uma comunicação segura e criptografada, que não pode ser interceptada ou hackeada.

\*

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente relevante

**6. Veículos autônomos terrestres:** Os veículos autônomos terrestres podem ser usados para transporte de tropas, logística e até mesmo em operações de combate.

\*

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente relevante

...

**7. Tecnologias de camuflagem:** As tecnologias de camuflagem avançadas, <sup>\*</sup> como tecidos inteligentes, podem ser usadas para proteger soldados e veículos de detecção.

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**8. Robótica militar:** Os robôs militares podem ser usados em várias aplicações, incluindo desativação de bombas, busca e resgate e apoio logístico. <sup>\*</sup>

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**9. Impressão / Manufatura 3D:** A impressão 3D pode ser usada para fabricação rápida de peças e componentes, reduzindo a necessidade de stock e permitindo reparos rápidos em campo. <sup>\*</sup>

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

...

**10. Tecnologias de Propulsão / energia renovável:** As tecnologias de energia renovável, como células solares e sistemas de energia eólica, podem fornecer energia limpa e confiável em áreas remotas e em operações de campo. <sup>\*</sup>

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**11. Cibersegurança:** A segurança cibernética é uma preocupação crescente para as forças armadas, à medida que as operações militares se tornam cada vez mais dependentes de tecnologias digitais e de rede. A cibersegurança será fundamental para garantir a proteção de informações e sistemas militares críticos. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**12. Nanotecnologia:** A nanotecnologia pode ser usada para desenvolver materiais mais leves e resistentes, sensores mais sensíveis e sistemas de armas mais avançados. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**13. Tecnologia de satélites/ Espaciais:** Os satélites podem ser usados para comunicações, vigilância, inteligência e reconhecimento, além de serem uma parte essencial da rede de GPS que fornece orientação e posicionamento para as forças militares. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**14. Biotecnologia / Biologia sintética:** A biologia sintética pode ser usada para desenvolver novos medicamentos, sensores biológicos e sistemas de detecção de ameaças. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente relevante |

**15. Tecnologia de armas de energia dirigida / Hipersônicas:** As armas de energia dirigida, como lasers e raios, podem ser usadas para atacar alvos a longa distância e com alta precisão. \*

0 1 2 3 4 5

Irrelevante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Extremamente relevante

**16. Tecnologia de materiais inteligentes:** Os materiais inteligentes podem ser usados em equipamentos militares, permitindo que eles se adaptem às condições de campo e forneçam proteção adicional aos soldados. \*

0 1 2 3 4 5

Irrelevante ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Extremamente relevante

**17. Outras tecnologias disruptivas,** não listadas anteriormente, consideradas relevantes (no caso de não ter nada a acrescentar, escreva "nada a referir")

Texto de resposta longa

---

**B.** Para seleccionar as tecnologias disruptivas, torna-se necessário definir e estabelecer as prioridades (numa escala de 0 a 5) relativamente aos **Critérios de Aquisição** a utilizar pela Defesa:

(0 – irrelevante; 1 – pouco relevante; 2 – algo relevante; 3 – relevante; 4 – muito relevante; 5 – extremamente relevante)

⋮

**1. Potencial de Disrupção:** a medida em que a tecnologia pode mudar radicalmente a forma como a defesa é efetuada e a indústria de defesa será estruturada. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**2. Investimento necessário:** o montante de investimento financeiro e recursos humanos necessários para implementar a tecnologia. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**3. Risco de investimento:** o grau de incerteza associado à implementação <sup>\*</sup> da tecnologia, incluindo riscos financeiros, tecnológicos e de mercado.

|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**4. Aceitação do mercado:** a receptividade e procura do mercado pela tecnologia. <sup>\*</sup>

|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**5. Nível de maturidade:** o estágio de desenvolvimento da tecnologia e a prontidão para o mercado. <sup>\*</sup>

|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**6. Concorrência:** o número e a qualidade dos concorrentes no mercado da tecnologia. <sup>\*</sup>

|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

⋮

**7. Potencial de retorno sobre o investimento (ROI):** a estimativa da taxa de <sup>\*</sup> retorno financeiro/operacional esperado em relação ao investimento necessário.

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente Relevante

**8. Tempo de retorno do investimento:** o período necessário para que o <sup>\*</sup> investimento na tecnologia seja recuperado.

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente Relevante

**9. Impacto na estrutura organizacional:** a medida em que a tecnologia <sup>\*</sup> pode afetar a estrutura da organização e sua cultura.

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente Relevante

**10. Dificuldade de implementação:** o nível de dificuldade técnica e <sup>\*</sup> organizacional para implementar a tecnologia.

0      1      2      3      4      5

Irrelevante   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   ☐   Extremamente Relevante

**11. Integração com sistemas existentes:** a facilidade com que a tecnologia pode ser integrada com sistemas e processos existentes na organização. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

...

**12. Escalabilidade:** a capacidade da tecnologia de se adaptar a diferentes níveis de uso, desde pequenas implementações até grandes sistemas trans organizacionais. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

**13. Disponibilidade de recursos:** a quantidade e qualidade de recursos humanos e financeiros disponíveis para implementar e gerir a tecnologia. \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

...

**14. Exigência regulatória:** o grau de incerteza em relação à regulamentação e legislação que pode afetar a tecnologia (e.g. privacidade, direitos humanos, convenção de genebra). \*

|             |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|             | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |                        |
| Irrelevante | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Extremamente Relevante |

C. As afirmações seguintes servirão de base à construção do modelo de apoio à decisão para seleção das **Tecnologias Disruptivas** da Defesa Nacional, em função de **Critérios de Aquisição**. Classifique cada afirmação seguinte, como Verdadeira/Falsa, quanto à natureza (**Arriscada, Promissora** ou **Recomendada**) da tecnologia disruptiva:

Descrição (opcional)

1. **SE** o potencial de disrupção é alto **E** a dificuldade de implementação é alta **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

2. **SE** o impacto na estrutura organizacional é alto **E** o tempo de retorno do investimento é longo **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

3. **SE** a escalabilidade é alta **E** a disponibilidade de recursos é alta **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

4. **SE** a exigência regulatória é alta **E** a dificuldade de implementação é alta **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

|                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div>...</div><p>5. <b>SE</b> o potencial de disrupção é baixo <b>E</b> o impacto na estrutura organizacional é baixo <b>ENTÃO</b> a tecnologia é arriscada. *</p><p><input type="radio"/> Verdadeiro</p><p><input type="radio"/> Falso</p></div>       |
| <div><p>6. <b>SE</b> o tempo de retorno do investimento é curto <b>E</b> a integração com sistemas existentes é alta <b>ENTÃO</b> a tecnologia é recomendada. *</p><p><input type="radio"/> Verdadeiro</p><p><input type="radio"/> Falso</p></div>           |
| <div><p>7. <b>SE</b> a escalabilidade é baixa <b>E</b> a disponibilidade de recursos é baixa <b>ENTÃO</b> a tecnologia é arriscada. *</p><p><input type="radio"/> Verdadeiro</p><p><input type="radio"/> Falso</p></div>                                     |
| <div><p>8. <b>SE</b> o potencial de disrupção é alto <b>E</b> a escalabilidade é alta <b>ENTÃO</b> a tecnologia é promissora. *</p><p><input type="radio"/> Verdadeiro</p><p><input type="radio"/> Falso</p></div>                                           |
| <div><div>...</div><p>9. <b>SE</b> a dificuldade de implementação é baixa <b>E</b> a integração com sistemas existentes é alta <b>ENTÃO</b> a tecnologia é recomendada. *</p><p><input type="radio"/> Verdadeiro</p><p><input type="radio"/> Falso</p></div> |

10. **SE** a disponibilidade de recursos é baixa **E** a exigência regulatória é alta <sup>\*</sup>  
**ENTÃO** a tecnologia é arriscada.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

11. **SE** o impacto na estrutura organizacional é alto **E** a disponibilidade de <sup>\*</sup>  
recursos é alta **ENTÃO** a tecnologia é promissora.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

12. **SE** a escalabilidade é média **E** a integração com sistemas existentes é <sup>\*</sup>  
média **ENTÃO** a tecnologia é promissora.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

13. **SE** o potencial de disrupção é alto **E** a exigência regulatória é baixa <sup>\*</sup>  
**ENTÃO** a tecnologia é recomendada.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

...

**14. SE** o tempo de retorno do investimento é longo **E** a disponibilidade de recursos é baixa **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**15. SE** o impacto na estrutura organizacional é baixo **E** a escalabilidade é alta **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**16. SE** a exigência regulatória é baixa **E** a dificuldade de implementação é baixa **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

...

**17. SE** a disponibilidade de recursos é média **E** a escalabilidade é média **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**18. SE** o potencial de disrupção é médio **E** a integração com sistemas existentes é alta **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**19. SE** a exigência regulatória é média **E** a escalabilidade é média **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**20. SE** o tempo de retorno do investimento é médio **E** a dificuldade de implementação é média **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**21. SE** a dificuldade de implementação é baixa **E** a exigência regulatória é baixa **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**22. SE** a escalabilidade é alta **E** a dificuldade de implementação é baixa **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**23. SE** o tempo de retorno do investimento é curto **E** a exigência regulatória é baixa **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**24. SE** o potencial de disrupção é alto **E** a exigência regulatória é média **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**25. SE** a escalabilidade é baixa **E** a dificuldade de implementação é alta **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**26. SE** a disponibilidade de recursos é alta **E** a integração com sistemas existentes é alta **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

...

**27. SE** o impacto na estrutura organizacional é alto **E** a integração com sistemas existentes é baixa **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**28. SE** a exigência regulatória é baixa **E** o tempo de retorno do investimento é curto **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**29. SE** o potencial de disrupção é baixo **E** a dificuldade de implementação é baixa **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**30. SE** a escalabilidade é alta **E** a disponibilidade de recursos é média \*  
**ENTÃO** a tecnologia é promissora.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**31. SE** a disponibilidade de recursos é baixa **E** a escalabilidade é média \*  
**ENTÃO** a tecnologia é arriscada.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**32. SE** o potencial de disrupção é alto **E** a integração com sistemas existentes é baixa **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**33. SE** a exigência regulatória é alta **E** a disponibilidade de recursos é baixa \*  
**ENTÃO** a tecnologia é arriscada.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**34. SE** a escalabilidade é média **E** a integração com sistemas existentes é alta **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**35. SE** o impacto na estrutura organizacional é baixo **E** o tempo de retorno do investimento é curto **ENTÃO** a tecnologia é recomendada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**36. SE** a dificuldade de implementação é alta **E** a integração com sistemas existentes é baixa **ENTÃO** a tecnologia é arriscada. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**37. SE** a disponibilidade de recursos é alta **E** a exigência regulatória é baixa **ENTÃO** a tecnologia é promissora. \*

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**38. SE** o potencial de disrupção é médio **E** a dificuldade de implementação <sup>\*</sup> é média **ENTÃO** a tecnologia é promissora.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**39. SE** a escalabilidade é baixa **E** a disponibilidade de recursos é baixa <sup>\*</sup> **ENTÃO** a tecnologia é arriscada.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

**40. SE** a exigência regulatória é média **E** o impacto na estrutura organizacional é baixo <sup>\*</sup> **ENTÃO** a tecnologia é promissora.

☐ Verdadeiro

☐ Falso

## Apêndice B - Estrutura da matriz de relação de variáveis

Na tabela seguinte, classifique (como **Baixo**, **Médio** e **Alto**) o nível de cada um dos Critérios de Aquisição da Defesa Nacional (Questão B do questionário) para cada uma das previstas Tecnologias de Defesa disruptivas (Questão A do questionário).

| Tecnologia disruptiva\Critério de aquisição          | Potencial de disrupção | Investimento necessário | Risco de Investimento | Aceitação do mercado (considere se o mercado tem capacidade de resposta) | Nível de maturidade | Concorrência (concorrência a nível do mercado externo) | Potencial de retorno sobre o investimento | Tempo de retorno do investimento | Impacto na estrutura organizacional | Dificuldade de implementação | Integração com Sistemas Existentes | Escalabilidade | Disponibilidade de recursos (a nível interno, pois a nível externo assume que o mercado tem dimensão e recursos suficientes para oferecer produtos) | Exigência regulatória (vou considerar UE, pois muita da legislação nacional decorre de legislação europeia) |
|------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inteligência Artificial                              | Alto                   | Médio                   | Baixo                 | Alto                                                                     | Médio               | Alto                                                   | Médio                                     | Baixo                            | Alto                                | Alto                         | Médio                              | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Veículos não tripulados                              | Médio                  | Médio                   | Baixo                 | Alto                                                                     | Alto                | Alto                                                   | Alto                                      | Baixo                            | Médio                               | Baixo                        | Médio                              | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Médio                                                                                                       |
| Sistemas de Armas Autônomos                          | Alto                   | Alto                    | Médio                 | Médio                                                                    | Médio               | Baixo                                                  | Médio                                     | Médio                            | Alto                                | Médio                        | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Médio                                                                                                       |
| Realidade aumentada e virtual                        | Médio                  | Baixo                   | Baixo                 | Baixo                                                                    | Alto                | Baixo                                                  | Médio                                     | Baixo                            | Baixo                               | Baixo                        | Médio                              | Médio          | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Comunicações/Criptografia quântica                   | Alto                   | Alto                    | Alto                  | Baixo                                                                    | Baixo               | Baixo                                                  | Alto                                      | Médio                            | Alto                                | Médio                        | Baixo                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Veículos autônomos terrestres                        | Médio                  | Alto                    | Médio                 | Alto                                                                     | Alto                | Alto                                                   | Médio                                     | Baixo                            | Médio                               | Médio                        | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Tecnologias de camuflagem                            | Alto                   | Baixo                   | Baixo                 | Médio                                                                    | Médio               | Baixo                                                  | Alto                                      | Médio                            | Médio                               | Baixo                        | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Robótica militar                                     | Alto                   | Alto                    | Médio                 | Médio                                                                    | Médio               | Médio                                                  | Médio                                     | Baixo                            | Médio                               | Alto                         | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Impressão/manufatura 3D                              | Médio                  | Baixo                   | Baixo                 | Alto                                                                     | Alto                | Alto                                                   | Alto                                      | Baixo                            | Baixo                               | Baixo                        | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Tecnologias de propulsão/energia renovável           | Médio                  | Alto                    | Alto                  | Alto                                                                     | Médio               | Médio                                                  | Alto                                      | Médio                            | Médio                               | Baixo                        | Médio                              | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Cibersegurança                                       | Alto                   | Médio                   | Baixo                 | Médio                                                                    | Alto                | Alto                                                   | Alto                                      | Médio                            | Alto                                | Médio                        | Médio                              | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Baixo                                                                                                       |
| Nanotecnologia                                       | Alto                   | Alto                    | Alto                  | Baixo                                                                    | Baixo               | Baixo                                                  | Médio                                     | Alto                             | Alto                                | Alto                         | Médio                              | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Tecnologia de satélites/espaciais                    | Alto                   | Alto                    | Médio                 | Alto                                                                     | Alto                | Alto                                                   | Alto                                      | Médio                            | Alto                                | Médio                        | Alto                               | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Biotecnologia/Biologia sintética                     | Alto                   | Alto                    | Alto                  | Baixo                                                                    | Baixo               | Médio                                                  | Médio                                     | Alto                             | Alto                                | Alto                         | Alto                               | Alto           | Baixo                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Tecnologia de armas de energia dirigida/Hipersônicas | Alto                   | Alto                    | Alto                  | Baixo                                                                    | Baixo               | Baixo                                                  | Médio                                     | Alto                             | Alto                                | Alto                         | Médio                              | Médio          | Baixo                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Tecnologia de materiais inteligentes                 | Alto                   | Médio                   | Baixo                 | Médio                                                                    | Médio               | Médio                                                  | Alto                                      | Baixo                            | Médio                               | Baixo                        | Alto                               | Alto           | Médio                                                                                                                                               | Alto                                                                                                        |
| Outras tecnologias disruptivas                       | Médio                  | Médio                   | Médio                 | Médio                                                                    | Médio               | Médio                                                  | Médio                                     | Médio                            | Médio                               | Médio                        | Médio                              | Médio          | Médio                                                                                                                                               | Médio                                                                                                       |

**Apêndice C - Relevância das EDT dada pelos SME através do questionário**

| <b>Tecnologia</b>                                       | <b>Perito</b> | <b>Peso</b> | <b>Tecnologia</b>                                 | <b>Perito</b> | <b>Peso</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------------|---------------|-------------|
| <b>Inteligência Artificial &amp; Big Data Analytics</b> | 1             | 4           | <b>Impressão 3D</b>                               | 1             | 3           |
|                                                         | 2             | 4           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 5           |                                                   | 3             | 4           |
|                                                         | 4             | 5           |                                                   | 4             | 5           |
| <b>Veículos Não Tripulados</b>                          | 1             | 5           | <b>Tecnologias de Propulsão/energia renovável</b> | 1             | 4           |
|                                                         | 2             | 5           |                                                   | 2             | 4           |
|                                                         | 3             | 5           |                                                   | 3             | 3           |
|                                                         | 4             | 5           |                                                   | 4             | 4           |
| <b>Sistemas de armas autónomos</b>                      | 1             | 1           | <b>Cibersegurança</b>                             | 1             | 5           |
|                                                         | 2             | 4           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 4           |                                                   | 3             | 5           |
|                                                         | 4             | 5           |                                                   | 4             | 5           |
| <b>Criptografia Quântica</b>                            | 1             | 5           | <b>Tecnologia espacial</b>                        | 1             | 3           |
|                                                         | 2             | 4           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 3           |                                                   | 3             | 3           |
|                                                         | 4             | 4           |                                                   | 4             | 3           |
| <b>Veículos Autónomos Terrestres</b>                    | 1             | 4           | <b>Nanotecnologia</b>                             | 1             | 5           |
|                                                         | 2             | 4           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 3           |                                                   | 3             | 4           |
|                                                         | 4             | 5           |                                                   | 4             | 4           |
| <b>Realidade Aumentada e Virtual</b>                    | 1             | 4           | <b>Biotecnologia</b>                              | 1             | 4           |
|                                                         | 2             | 5           |                                                   | 2             | 4           |
|                                                         | 3             | 3           |                                                   | 3             | 2           |
|                                                         | 4             | 5           |                                                   | 4             | 3           |
| <b>Robótica militar</b>                                 | 1             | 5           | <b>Tecnologia de armas hipersónicas</b>           | 1             | 4           |
|                                                         | 2             | 5           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 3           |                                                   | 3             | 4           |
|                                                         | 4             | 4           |                                                   | 4             | 4           |
| <b>Tecnologias de camuflagem</b>                        | 1             | 5           | <b>Tecnologia de materiais inteligentes</b>       | 1             | 4           |
|                                                         | 2             | 5           |                                                   | 2             | 5           |
|                                                         | 3             | 4           |                                                   | 3             | 2           |
|                                                         | 4             | 4           |                                                   | 4             | 4           |

**Apêndice D - Relevância dos critérios de aquisição dada pelos *SME* através do questionário**

| <b>Critério de aquisição</b>                   | <b>Perito</b> | <b>Peso</b> |
|------------------------------------------------|---------------|-------------|
| <b>Potencial de<br/>disrupção</b>              | 1             | 5           |
|                                                | 2             | 3           |
|                                                | 3             | 5           |
|                                                | 4             | 5           |
| <b>Tempo de retorno do<br/>investimento</b>    | 1             | 5           |
|                                                | 2             | 3           |
|                                                | 3             | 1           |
|                                                | 4             | 4           |
| <b>Impacto na estrutura<br/>Organizacional</b> | 1             | 5           |
|                                                | 2             | 4           |
|                                                | 3             | 3           |
|                                                | 4             | 4           |
| <b>Dificuldade de<br/>implementação</b>        | 1             | 5           |
|                                                | 2             | 4           |
|                                                | 3             | 4           |
|                                                | 4             | 4           |
| <b>Integração com<br/>sistemas existentes</b>  | 1             | 5           |
|                                                | 2             | 4           |
|                                                | 3             | 4           |
|                                                | 4             | 5           |
| <b>Escalabilidade</b>                          | 1             | 4           |
|                                                | 2             | 3           |
|                                                | 3             | 2           |
|                                                | 4             | 4           |
| <b>Disponibilidade de<br/>recursos</b>         | 1             | 4           |
|                                                | 2             | 5           |
|                                                | 3             | 4           |
|                                                | 4             | 5           |
| <b>Exigência regulatória</b>                   | 1             | 4           |
|                                                | 2             | 4           |
|                                                | 3             | 2           |
|                                                | 4             | 3           |

## Apêndice E - Código do programa

### 1. Definição de antecedentes, consequentes e funções de pertença

```
# Import libraries
import numpy as np
import skfuzzy as fuzz
from skfuzzy import control as ctrl
import matplotlib.pyplot as plt

# Define the Antecedents
Technology_Importance = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 6, 1),
    'Technology Importance')

Disruption_Potential = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Disruption Potential')
Implementation_Difficulty = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Implementation Difficulty')
OrganizationalS_Impact = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Organizational Structure Impact')
Scalability = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1), 'Scalability')
Time_ROI = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1), 'Return Over
Investment Time')
Resource_Availability = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Resource Availability')
Regulatory_Requirement = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Regulatory Requirement')
Integration_ExistingSystems = ctrl.Antecedent(np.arange(0, 3, 1),
    'Integration Existing Systems')

# Generate fuzzy membership functions
for antecedent in [Technology_Importance]:
    antecedent['irrelevant'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [0, 0,
1])
    antecedent['little_relevance'] = fuzz.trimf(antecedent.universe,
[0, 1, 2])
    antecedent['some_relevance'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [1,
2, 3])
    antecedent['relevant'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [2, 3,
4])
    antecedent['very_relevant'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [3,
4, 5])
    antecedent['extremely_relevant'] = fuzz.trimf(antecedent.universe,
[4, 5, 5])
```

```

for antecedent in [Disruption_Potential, Implementation_Difficulty,
OrganizationalS_Impact, Scalability, Time_ROI,
Resource_Availability, Regulatory_Requirement,
Integration_ExistingSystems]:
    antecedent['low'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [0, 0, 1])
    antecedent['mean'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [0, 1, 2])
    antecedent['high'] = fuzz.trimf(antecedent.universe, [1, 2, 2])

Technology_Importance.view ()
Disruption_Potential.view ()
Implementation_Difficulty.view ()
OrganizationalS_Impact.view ()
Scalability.view ()
Time_ROI.view ()
Resource_Availability.view ()
Regulatory_Requirement.view ()
Integration_ExistingSystems.view ()

# Define the Consequent
Tech_Priority = ctrl.Consequent(np.arange(0, 1, 0.1), 'Technology
Priority')
Tech_Priority['risky'] = fuzz.trimf(Tech_Priority.universe, [0, 0,
0.5])
Tech_Priority['promising'] = fuzz.trimf(Tech_Priority.universe, [0,
0.5, 1])
Tech_Priority['recommended'] = fuzz.trimf(Tech_Priority.universe,
[0.5, 1, 1])

Tech_Priority.view ()

```

## 2. Definição de regras de inferência difusa e do sistema de controle

```

# Define the rules
rules = [
    ctrl.Rule(Disruption_Potential['high'] &
Implementation_Difficulty['high'], Tech_Priority['risky']),
    ctrl.Rule(OrganizationalS_Impact['high'] & Time_ROI['high'],
Tech_Priority['risky']),
    ctrl.Rule(Scalability['high'] & Resource_Availability['high'],
Tech_Priority['promising']),
    ctrl.Rule(Regulatory_Requirement['high'] &
Implementation_Difficulty['high'], Tech_Priority['risky']),
    ctrl.Rule(Disruption_Potential['low'] &
OrganizationalS_Impact['low'], Tech_Priority['risky']),

```

```

    ctrl.Rule(Time_ROI['low'] & Integration_ExistingSystems['high'],
Tech_Priority['recommended']),
    ctrl.Rule(Scalability['low'] & Resource_Availability['low'],
Tech_Priority['risky']),
    ctrl.Rule(Disruption_Potential['high'] & Scalability['high'],
Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Implementation_Difficulty['low'] &
Integration_ExistingSystems['high'], Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Resource_Availability['low'] &
Regulatory_Requirement['high'], Tech_Priority['risky']),
        ctrl.Rule(OrganizationalS_Impact['high'] &
Resource_Availability['high'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Scalability['mean'] &
Integration_ExistingSystems['mean'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Disruption_Potential['high'] &
Regulatory_Requirement['low'], Tech_Priority['recommended']),
    ctrl.Rule(Time_ROI['high'] & Resource_Availability['low'],
Tech_Priority['risky']),
        ctrl.Rule(Regulatory_Requirement['low'] &
Implementation_Difficulty['low'], Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Resource_Availability['mean'] & Scalability['mean'],
Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Disruption_Potential['mean'] &
Integration_ExistingSystems['high'], Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Regulatory_Requirement['mean'] & Scalability['mean'],
Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Implementation_Difficulty['low'] &
Regulatory_Requirement['low'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Scalability['high'] &
Implementation_Difficulty['low'], Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Time_ROI['low'] & Regulatory_Requirement['low'],
Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Scalability['low'] &
Implementation_Difficulty['high'], Tech_Priority['risky']),
        ctrl.Rule(Resource_Availability['high'] &
Integration_ExistingSystems['high'], Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Regulatory_Requirement['low'] & Time_ROI['low'],
Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Scalability['high'] & Resource_Availability['mean'],
Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Resource_Availability['low'] & Scalability['mean'],
Tech_Priority['risky']),
        ctrl.Rule(Scalability['mean'] &
Integration_ExistingSystems['high'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Implementation_Difficulty['high'] &
Integration_ExistingSystems['low'], Tech_Priority['risky']),

```

```

        ctrl.Rule(Resource_Availability['high'] &
Regulatory_Requirement['low'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Disruption_Potential['mean'] &
Implementation_Difficulty['mean'], Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Technology_Importance['extremely_relevant'] |
Technology_Importance['very_relevant']
Tech_Priority['recommended']),
        ctrl.Rule(Technology_Importance['relevant'] |
Technology_Importance['some_relevance'],
Tech_Priority['promising']),
        ctrl.Rule(Technology_Importance['little_relevance'] |
Technology_Importance['irrelevant'], Tech_Priority['risky'])
]

# Create the control system with these rules
Technology_Priority_Control_System = ctrl.ControlSystem(rules)

```

### 3. Definição das tecnologias e adição dos inputs e pesos dados pelos *Experts*

```

technologies = {
    'AI/BIG DATA ANALYTICS':{
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 2,
'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':5,
'Organizational Structure Impact':5,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':5,
'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,

```

```

        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Unmanned Vehicles': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 1, 'Implementation Difficulty': 0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':2}},

```

```

        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Autonomous Weapon Systems': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 0, 'Disruption
Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 1,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,

```

```

        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Quantum Cryptography': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance':2, 'Disruption
Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,

```

```

        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Autonomous Terrestrial Vehicles': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 1, 'Implementation Difficulty': 1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1},

```

```

        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'RA/RV': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 1, 'Implementation Difficulty': 0,

```

```

        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },

```

```

    'ROBOTIC': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty':2,
                                'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
                                'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':1}},
                    'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
                                'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
                                'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
                                'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
                                'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0}},
                    'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
                                'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
                                'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
                                'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':0,
                                'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
                    'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
                                'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
                                'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
                                'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
                                'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0}},
                    'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
                                'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,

```

```

        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Camouflage Technologies': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},

```

```

        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    } ,
    '3D Printing': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 1,
'Disruption Potential': 1, 'Implementation Difficulty': 0,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 3,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,

```

```

        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}

    },
    'Propulsion Technologies': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty': 0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,

```

```

        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}

    },
    'Cibersecurity': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1},
        'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':2},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':2},

```

```

        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Nanotechnology': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 3,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':0, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':2,

```

```

        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':0, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Space Technology': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance': 5,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,

```

```

        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':0,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Biotechnology': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential': 2, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':2}},
        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0}},

```

```

        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
        , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':1,
'Disruption Potential':0, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0}},
        'weights': {'Technology Importance':3,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Hypersonic Technology': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':1}},
        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
        , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':0, 'Implementation Difficulty':2,

```

```

        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':2, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':0, 'Implementation Difficulty':2,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':2,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    },
    'Novel Materials': {
        'Expert 1': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':2, 'Implementation Difficulty': 0,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':0,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':2},
        'weights': {'Technology Importance': 4,
'Disruption Potential': 5, 'Implementation Difficulty': 2,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':5,

```

```

        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 2': {'inputs': {'Technology Importance': 2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':1, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':0},
        'weights': {'Technology Importance':5,
'Disruption Potential':3, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':3, 'Return Over Investment Time':3,
        'Resource Availability':3, 'Regulatory
Requirement':4, 'Integration Existing Systems':1 }}
    , 'Expert 3': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':0,
'Scalability':1, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':0, 'Integration Existing Systems':1},
        'weights': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':3,
'Scalability':2, 'Return Over Investment Time':1,
        'Resource Availability':4, 'Regulatory
Requirement':2, 'Integration Existing Systems':4 }}
    , 'Expert 4': {'inputs': {'Technology Importance':2,
'Disruption Potential':1, 'Implementation Difficulty':1,
        'Organizational Structure Impact':1,
'Scalability':0, 'Return Over Investment Time':2,
        'Resource Availability':0, 'Regulatory
Requirement':1, 'Integration Existing Systems':1},
        'weights': {'Technology Importance':4,
'Disruption Potential':5, 'Implementation Difficulty':4,
        'Organizational Structure Impact':4,
'Scalability':4, 'Return Over Investment Time':4,
        'Resource Availability':5, 'Regulatory
Requirement':3, 'Integration Existing Systems':5 }}
    }
}

```

#### 4. Simulação baseada nos inputs dos experts

```

# Evaluate each technology
for tech, experts in technologies.items():
    tech priorities = [] # Store each expert's assessment here

```

```

for expert, data in experts.items():
    # Create the simulation
    Technology_Priority_Simulator =
ctrl.ControlSystemSimulation(Technology_Priority_Control_System)

    # Provide inputs to the simulation
    for antecedent, value in data['inputs'].items():
        Technology_Priority_Simulator.input[antecedent] = value

    # Run the simulation
    Technology_Priority_Simulator.compute()

    # Store the result, scaled by the weight for each Antecedent
    tech_priority =
Technology_Priority_Simulator.output['Technology Priority']
    for antecedent, weight in data['weights'].items():
        tech_priority *= ((weight * 100) / 5) / 100
    tech_priorities.append(tech_priority)

# Compute the sum of all expert's assessments
sum_tech_priority = np.sum(tech_priorities)

```

## 5. Resultados da priorização

```

# View the results

Tech_Priority.view (sim = Technology_Priority_Simulator)
    print(f"Technology Priority for {tech} (sum of all expert
opinions): {sum_tech_priority}")

# Set custom titles
plt.title(f"Membership Graphics - {tech}")

# Show the plot
plt.show()

```

## 6. Visualização dos resultados finais - *Radarchart*

```
import plotly.graph_objects as go

categories = ['AI/BIG DATA ANALYTICS', 'Unmanned Vehicles',
'Autonomous Weapon Systems', 'Quantum Cryptography', 'Autonomous
Terrestrial Vehicles', 'RA/RV', 'ROBOTIC', 'Camouflage
Technologies', '3D Printing', 'Propulsion Technologies',
'Cibersecurity', 'Nanotechnology', 'Space Technology',
'Biotechnology', 'Hypersonic Technology', 'Novel Materials']

r_values = [0.25168577571834605, 0.14130265089722774,
0.10904363272258065, 0.11569833492186381, 0.11708769812186381,
0.11401928837358787, 0.09815375650686367, 0.12210208152128249,
0.14456653351907134, 0.09464808021757877, 0.12176263860454004,
0.0358900295734232, 0.11901928265710873, 0.03555359710967742,
0.09462050683870966, 0.09585453027986247]

r_category_map = {r: category for r, category in zip(r_values,
categories)} # Create dictionary mapping r values to categories

r_values_sorEDT = sorEDT(r_values) # Sort the r values

fig = go.Figure()
fig.add_trace(go.Scatterpolar(
    r=r_values,
    theta=categories,
    fill='toself',
    name='Prioridade Tecnológica'
))

for r in r_values_sorEDT: # Iterate over the sorEDT r values
    category = r_category_map[r] # Retrieve the associaEDT category
    print(category, r)

fig.update_layout(title='Resultados Finais', title_x=0.5)
fig.show()
```

## **Anexos**

I - Princípios de lógica difusa

II - Comparação entre lógica clássica e lógica difusa

III - *Checklist* protocolo *PRISMA*

## Anexo I - Princípios de lógica difusa

De acordo com Zadeh (1965), a lógica booleana tradicional que lida apenas com valores binários como “verdadeiro” e “falso”, ou “0” e “1”, não é indicada para a tomada de decisão em situações incertas em que as variáveis possam tomar valores intermédios entre “0” e “1”. Um exemplo prático são os valores que variam de acordo com opiniões e por isso, podem não ser “totalmente verdadeiros” ou “totalmente falsos”, tomando um grau de pertinência de um dos conjuntos.

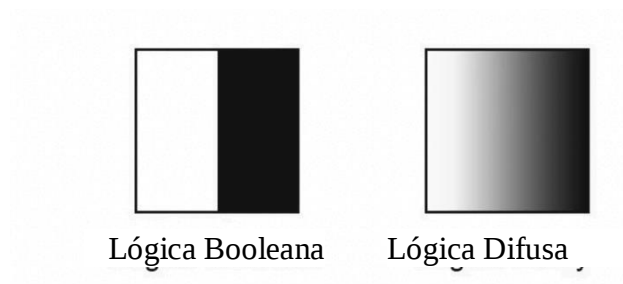


Figura 37: Ilustração de Lógica Booleana e Lógica Difusa. Adaptado de (Sintra, 2021)

A Figura 37 ilustra de um modo sucinto a principal diferença entre lógica booleana e lógica difusa ou *Fuzzy*. Na imagem da esquerda apenas é possível tomar dois valores “preto” e “branco”, por outro lado na imagem da direita não existe uma divisão certa das cores podendo ser “parcialmente branco” e “parcialmente preto”, ou seja, existem valores intermédios incertos. Em suma, a lógica difusa adequa-se melhor do que a lógica booleana a situações incertas.

## Anexo II - Comparação entre lógica clássica e lógica difusa

Tabela 6: Comparação entre Lógica Booleana e Lógica difusa

|                                | <b>Lógica Booleana</b>                             | <b>Lógica Difusa</b>                                                    |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Valores de verdade</b>      | Verdadeiro ou Falso                                | Valores intermédios entre Verdadeiro e Falso (0 a 1)                    |
| <b>Conjuntos e pertinência</b> | Pertinência precisa                                | Pertinência parcial e funções de pertinência                            |
| <b>Operadores Lógicos</b>      | Operadores binários (e, ou, não, implicação, etc.) | Operadores difusos (mínimo, máximo, negação, implicação, etc.)          |
| <b>Composição Lógica</b>       | Baseada em álgebra booleana                        | Baseada em lógica difusa e teoria de conjuntos                          |
| <b>Tomada de decisão</b>       | Raciocínio preciso e exato                         | Raciocínio flexível e adaptável                                         |
| <b>Tratamento de Incerteza</b> | Não lida diretamente com a incerteza               | Lida com incerteza, imprecisão e ambiguidade de forma natural           |
| <b>Aplicações</b>              | Matemática, sistemas de computação determinísticos | Controle de processos, sistemas de decisão e reconhecimento de padrões. |

### Anexo III - Checklist protocolo PRISMA

| Section and Topic             | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Location where item is reported |
|-------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>TITLE</b>                  |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Title                         | 1      | Identify the report as a systematic review.                                                                                                                                                                                                                                                          |                                 |
| <b>ABSTRACT</b>               |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Abstract                      | 2      | See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.                                                                                                                                                                                                                                                         |                                 |
| <b>INTRODUCTION</b>           |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Rationale                     | 3      | Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.                                                                                                                                                                                                                          |                                 |
| Objectives                    | 4      | Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.                                                                                                                                                                                                               |                                 |
| <b>METHODS</b>                |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Eligibility criteria          | 5      | Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.                                                                                                                                                                                          |                                 |
| Information sources           | 6      | Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.                                                                                            |                                 |
| Search strategy               | 7      | Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.                                                                                                                                                                                 |                                 |
| Selection process             | 8      | Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.                     |                                 |
| Data collection process       | 9      | Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process. |                                 |
| Data items                    | 10a    | List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.                        |                                 |
|                               | 10b    | List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.                                                                                         |                                 |
| Study risk of bias assessment | 11     | Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.                                    |                                 |

| Section and Topic             | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                                                                       | Location where item is reporEDT |
|-------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Effect measures               | 12     | Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.                                                                                                                                                  |                                 |
| Synthesis methods             | 13a    | Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).                                                                 |                                 |
|                               | 13b    | Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.                                                                                                                                |                                 |
|                               | 13c    | Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.                                                                                                                                                                               |                                 |
|                               | 13d    | Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.                          |                                 |
|                               | 13e    | Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).                                                                                                                                                 |                                 |
|                               | 13f    | Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.                                                                                                                                                                                         |                                 |
| Reporting bias assessment     | 14     | Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).                                                                                                                                                              |                                 |
| Certainty assessment          | 15     | Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.                                                                                                                                                                                |                                 |
| <b>RESULTS</b>                |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Study selection               | 16a    | Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.                                                                                         |                                 |
|                               | 16b    | Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.                                                                                                                                                          |                                 |
| Study characteristics         | 17     | Cite each included study and present its characteristics.                                                                                                                                                                                                                            |                                 |
| Risk of bias in studies       | 18     | Present assessments of risk of bias for each included study.                                                                                                                                                                                                                         |                                 |
| Results of individual studies | 19     | For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.                                                     |                                 |
| Results of syntheses          | 20a    | For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.                                                                                                                                                                               |                                 |
|                               | 20b    | Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect. |                                 |
|                               | 20c    | Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.                                                                                                                                                                                       |                                 |

| Section and Topic                              | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                             | Location where item is reported |
|------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                                                | 20d    | Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.                                                                                                                                 |                                 |
| Reporting biases                               | 21     | Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.                                                                                                                    |                                 |
| Certainty of evidence                          | 22     | Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.                                                                                                                                        |                                 |
| <b>DISCUSSION</b>                              |        |                                                                                                                                                                                                                                            |                                 |
| Discussion                                     | 23a    | Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.                                                                                                                                                          |                                 |
|                                                | 23b    | Discuss any limitations of the evidence included in the review.                                                                                                                                                                            |                                 |
|                                                | 23c    | Discuss any limitations of the review processes used.                                                                                                                                                                                      |                                 |
|                                                | 23d    | Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.                                                                                                                                                             |                                 |
| <b>OTHER INFORMATION</b>                       |        |                                                                                                                                                                                                                                            |                                 |
| Registration and protocol                      | 24a    | Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.                                                                                             |                                 |
|                                                | 24b    | Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.                                                                                                                                             |                                 |
|                                                | 24c    | Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.                                                                                                                                            |                                 |
| Support                                        | 25     | Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.                                                                                                              |                                 |
| Competing interests                            | 26     | Declare any competing interests of review authors.                                                                                                                                                                                         |                                 |
| Availability of data, code and other materials | 27     | Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review. |                                 |