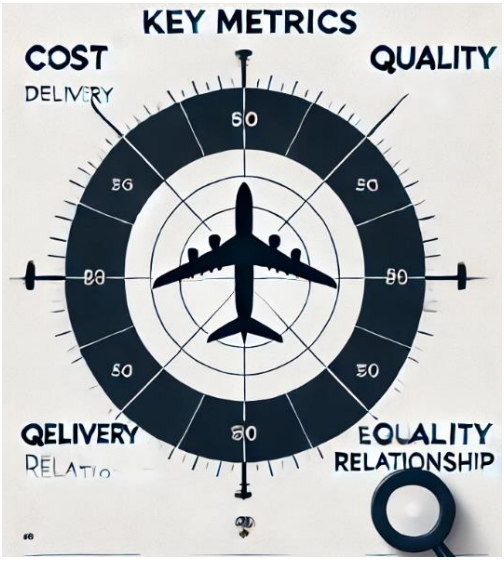

Desenvolvimento de um modelo de avaliação de fornecedores para a indústria aeronáutica

Bruno Miguel Gonçalves Valente
(Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)

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

Orientador (es):
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu,

Júri:
Presidente: Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes
Vogais:
Doutor José Miguel Aragão Celestino Soares,
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu,

Novembro de 2024

Desenvolvimento de um modelo de avaliação de fornecedores para a indústria aeronáutica

Bruno Miguel Gonçalves Valente
(Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores)

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

Orientador (es):
Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa

Júri:
Presidente: Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa
Vogais:
Doutor José Miguel Aragão Celestino Soares
Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa

Doutor António João Pina da Costa Feliciano Abreu
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Politécnico de Lisboa

Novembro de 2024

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Retomar os estudos após alguns anos foi um grande desafio, ainda mais com a aventura de ser pai pela primeira vez. O nascimento do nosso filho trouxe não só dificuldades acrescidas, mas também uma motivação imensa para seguir em frente e superar cada obstáculo.

A minha profunda gratidão à minha esposa Tânia, cuja paciência, compreensão e apoio incondicional foram fundamentais para que este percurso fosse possível. A sua presença constante e o seu encorajamento nos momentos mais exigentes deram-me a força necessária para alcançar este objetivo. Agradeço também ao Rafael, o pré-adolescente desafiado, que, em muitas ocasiões ajudou a cuidar do irmão, permitindo que me dedicasse a este projeto.

Quero expressar um especial agradecimento ao meu orientador, Doutor António Abreu, pelo apoio inestimável, pela orientação sempre atente e pela partilha de conhecimentos ao longo deste percurso. Agradeço ainda à minha família, amigos e colegas, cujo encorajamento e sugestões foram essenciais para o progresso deste trabalho.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta jornada académica e pessoal, fica o meu mais profundo agradecimento.

Declaração de integridade

Declaro que esta dissertação é resultado da minha investigação pessoal e independente. O seu conteúdo é original e todas as fontes listadas nas referências bibliográficas foram consultadas e estão devidamente mencionadas no texto. Mais declaro que todas as referências científicas e técnicas relevantes para o desenvolvimento do trabalho estão devidamente citadas e constam das referências bibliográficas.

O autor

Lisboa, 30 de setembro de 2024

Desenvolvimento de um modelo de avaliação de fornecedores para a indústria aeronáutica

Resumo

Escolher o fornecedor certo ou errado tem um impacto significativo nas operações de uma empresa, torna-se assim fundamental avaliar o desempenho de fornecedores para uma gestão eficaz da cadeia de abastecimento, especialmente na indústria aeronáutica, onde os fatores de qualidade, a fiabilidade e o cumprimento de normas rigorosas são essenciais para garantir a segurança da operação.

No presente documento é proposto um modelo de avaliação de fornecedores adaptado ao setor aeronáutico, baseado na lógica difusa de modo a abordar a complexidade e incerteza no momento da avaliação do desempenho dos fornecedores. O modelo proposto integra critérios qualitativos, como a fiabilidade de entrega, compromisso com a qualidade, relação com fornecedores e custo, ponderados conforme a sua importância estratégica.

Com a aplicação do modelo numa empresa do setor foi possível validar a sua aplicabilidade. Os resultados mostram que a lógica difusa proporciona uma avaliação mais aprofundada das capacidades dos fornecedores e facilita decisões mais informadas. A adaptabilidade do modelo permite ajustar os critérios e os seus pesos na avaliação conforme as mudanças do mercado e as prioridades estratégicas.

O modelo desenvolvido permite selecionar e gerir fornecedores de forma mais eficaz, contribuindo para um melhor desempenho da cadeia de abastecimento.

Palavras-chave: Avaliação de Fornecedores, Indústria Aeronáutica, Lógica difusa, Gestão da Cadeia de Abastecimento, Avaliação de Desempenho

Development of a Supplier Evaluation Model for the Aeronautics Industry

Abstract

Supplier evaluation is fundamental in effective supply chain management, especially in the aerospace industry where quality, reliability and compliance with stringent regulatory standards are essential. This document proposes a supplier evaluation model adapted for the aerospace sector, based on fuzzy logic in order to address the complexity and uncertainty when assessing supplier performance.

The proposed model integrates qualitative criteria, including delivery performance, quality compliance, supplier relationships and cost, weighted according to their strategic importance. Fuzzy logic allows the incorporation of subjective judgments and linguistic variables into the evaluation process, allowing a more comprehensive and flexible analysis.

By applying the model to a company in the sector, it was possible to validate the applicability and effectiveness of the model applicability and effectiveness. The results demonstrated that the fuzzy logic-based model offers significant advantages over traditional evaluation methods, providing deeper insights into supplier capabilities and facilitating more informed decision-making. The model's adaptability also allows evaluation criteria and weightings adjustments according to changes in the market conditions and strategic priorities.

The model developed improves the ability of aeronautical companies to select and manage suppliers more effectively, contributing to better supply chain performance. Future research could explore the inclusion of criteria such as risk management and environmental sustainability to further refine the model.

Keywords: Supplier Evaluation, Aerospace Industry, Fuzzy Logic, Supply Chain Management, Performance Assessment

Lista Siglas

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
CoA	Centro de Área (Centre of Area)
CoM	Centro do Máximo (Center of Maximum)
DEA	*Data Envelopment Analysis*
FIS	Sistema de Inferência Difuso (*Fuzzy Inference System*)
FM	Primeiro Máximo (*First Maximum)*
FWA	*Fuzzy Weighted Average*
LD	Lógica Difusa
LM	Último máximo (*Last maximum)*
MoM	Média dos máximos
PO	Ordem de Compra (*Purchase Order*)
PR	Requisição de Compra (*Purchase Requisition*)
RFB	Pedido de Licitação (*Request for Bid*)
RFI	Pedido de Informação (*Request for Information*)
RFP	Pedido de Proposta (*Request for Proposal*)
RFQ	Pedido de Cotação (*Request for Quotation*)
S.M.A.R.T	*Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Time-bound*
SMART	*Simple multi attribute rating technique*
SWOT	*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Treats*
TOPSIS	*Technique for Order of Preference by similarity to ideal Solution*

Índice

1 Introdução 1

1.1 Motivação 3
1.2 Objetivos 3
1.3 Estrutura 3

2 *Procurement* e Gestão de Fornecedores 5

2.1 Importância do *procurement* e gestão de fornecedores 5
2.2 Procurement 7
2.2.1 Estrutura da organizacional 9
2.2.2 Processo de compras 11
2.3 Gestão de fornecedores 14
2.3.1 Princípios Estratégicos 15
2.3.2 Seleção 19
2.3.3 Avaliação de desempenho 21
2.3.4 Desenvolvimento de fornecedores 22
2.3.5 Supervisão de Fornecedores 23
2.4 Seleção e Avaliação do desempenho de fornecedores 23
2.5 Critérios de seleção e avaliação 28
2.5.1 Critérios de seleção 28
2.5.2 Critérios de desempenho 31
2.5.3 Classificação de fornecedores 32
2.6 Ferramentas de apoio à Seleção e Avaliação 33

3 Lógica Difusa 39

3.1 Conceito 39
3.1.1 Conjuntos Difusos 41
3.1.2 Funções de pertença 42
3.1.3 Operações entre conjuntos difusos 43
3.1.4 Variáveis linguísticas 46
3.2 Sistemas inferência difuso 47
3.2.1 Fuzzificação 48
3.2.2 Base de Conhecimento 49
3.2.3 Motor de Inferência 50
3.2.4 Defuzzificação 51

4 Modelo de avaliação proposto 55

4.1 Modelo Proposto 56
4.1.1 Estrutura do modelo 57
4.1.2 Definição das variáveis difusas 59
4.1.3 Cálculo dos Indicadores de desempenho 62

5 Aplicação do modelo proposto 67

5.1 Desafios da avaliação de fornecedores na indústria aeronáutica. 67
5.2 Caracterização da empresa 69
5.3 Aplicação do modelo proposto 71
5.3.1 Identificação dos critérios 72
5.3.2 Identificação dos fatores de ponderação 74
5.3.3 Aplicação real 75
6 Conclusão e trabalho futuro 81
6.1 Conclusões 81
6.2 Trabalho futuro 82
Referências Bibliográficas 83

Índice de Tabelas

Figura 2.1 – Evolução da estratégia de compras. 6
Figura 2.2 – Percentagem de empresas que realizam avaliações periódicas. 7
Figura 2.3 – Atividades de operacionais e estratégicas. 8
Figura 2.4 – Processo de aquisição de um bem ou serviço. 12
Figura 2.5 – Ciclo de gestão de fornecedores. 15
Figura 2.6 – Processo de desenvolvimento de estratégia. 16
Figura 2.7 – Objetivos estratégicos. 17
Figura 2.8 – Segmentação de produtos de acordo com método de Kraljic. 18
Figura 2.9 – Processo de identificação e seleção de fornecedores. 20
Figura 2.10 – Processo de seleção e avaliação de fornecedores. 25
Figura 3.1 – Abordagem clássica vs Abordagem difusa. 41
Figura 3.2 – Representação gráfica de um conjunto difuso triangular. 41
Figura 3.3 – Representação gráfica de uma função de pertença trapezoidal. 43
Figura 3.4 – Representação gráfica de uma função de pertença gaussiana. 43
Figura 3.5 – Representação gráfica da operação de intersecção. 44
Figura 3.6 – Representação gráfica da operação de união. 44
Figura 3.7 – Representação gráfica da operação de complemento. 45
Figura 3.8 – Representação gráfica da variável linguística Temperatura. 46
Figura 3.9 – Arquitetura de um sistema difuso. 48
Figura 3.10 – Exemplo do grau de pertença para temperatura de 22 ºC. 49
Figura 3.11 – Agregação de conjuntos difusos. 51
Figura 3.12 – Representação do CoA de um conjunto difuso. 52
Figura 4.1 – Estrutura do modelo proposto. 57
Figura 4.2 – Representação das variáveis linguísticas de avaliação do desempenho. 61
Figura 4.3 – Representação das variáveis linguísticas dos fatores de ponderação. 61
Figura 4.4 – Etapas de cálculo dos vetores agregados, classificação e índice difuso. 62
Figura 4.5 – Representação das variáveis linguísticas para a classificação. 64
Figura 5.1 – Visão simplificada do processo aprovação de um fornecedor. 70
Figura 5.2 – Processo simplificado de contratação de um reparador. 71
Figura 5.3 – Quadro de avaliação referente ao desempenho do fornecedor A. 76
Figura 5.4 – Correspondência entre funções linguísticas para a classificação e vG. 79
Figura 5.5 – Vetor vG relativo ao desempenho do fornecedor A. 79
Figura 5.6 – Representação gráfica dos índices difusos de cada critério. 80
Figura 5.7 – Índices difusos dos atributos associados ao critério da entrega. 80

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Resumo critérios seleção e avaliação. 29
Tabela 2.2 – Nível de importância critérios seleção e avaliação. 30
Tabela 2.3 – Critérios seleção e avaliação. 30
Tabela 2.4 – Novos critérios Seleção referidos entre 2000 e 2014. 31
Tabela 2.5 – Resumo critérios avaliação do desempenho. 32
Tabela 2.6 – Critérios adicionais para a avaliação de desempenho. 32
Tabela 2.7 – Critérios consolidados para a avaliação de desempenho. 32
Tabela 3.1 – Comparação entre os métodos de inferência. 51
Tabela 4.1 – Critérios e atributos que influenciam o desempenho de um fornecedor. 59
Tabela 4.2 – Variáveis linguísticas e funções de pertença para avaliação do desempenho. 61
Tabela 4.3 – Variáveis linguísticas e funções de pertença para os fatores de ponderação. .61
Tabela 4.4 – Variáveis linguísticas para classificação difusa do desempenho. 64
Tabela 5.1 – Critérios aplicados na avaliação do desempenho de fornecedores. 72
Tabela 5.2 – Fatores de ponderação de cada critério e atributo. 75
Tabela 5.3 – Funções de pertença da avaliação de desempenho e fatores de ponderação. 77
Tabela 5.4 – Vetores difusos para cada critério 77
Tabela 5.5 – Vetores difusos para cada critério e fator de ponderação correspondente. 78
Tabela 5.6 –Distância euclidiana entre vG e classificação de desempenho. 79

1 Introdução

A avaliação de fornecedores é um pilar fundamental para uma gestão eficaz da cadeia de abastecimento, sendo crucial para manter a qualidade dos produtos, a eficiência operacional e a competitividade global da empresa. À medida que as organizações crescem e os mercados se tornam mais competitivos, a seleção de fornecedores confiáveis torna-se cada vez mais complexa (Cavinato *et al.*, 2000; Monczka *et al.*, 2009).

O processo de seleção de fornecedores confiáveis envolve a avaliação de diversos critérios como preço, prazo de entrega e qualidade. Tradicionalmente, estes critérios eram predominantemente quantitativos e binários, ou seja, o fornecedor cumpria ou não cumpria os padrões estabelecidos (Kraljic, 1983).

No entanto, à medida que os contextos empresariais evoluíram, também a lista critérios utilizados na avaliação fornecedores foi aumentando. No passado, o custo era o fator dominante nas avaliações de fornecedores, as organizações geralmente optavam por fornecedores que ofereciam o preço mais baixo, muitas vezes em detrimento de outros fatores tão ou mais importantes, como a qualidade ou a fiabilidade (Monczka *et al.*, 2009).

Atualmente, o processo de avaliação de fornecedores integra fatores tanto quantitativos como qualitativos. As organizações avaliam os fornecedores com base na sua capacidade de inovação, na flexibilidade para se ajustarem à procura em constante mudança, e na adesão a práticas de sustentabilidade e ética (Da Silveira & Pereira, 2008; Muhammad & Manarvi, 2009; Tan *et al.*, 2002).

Na indústria aeronáutica, a avaliação de fornecedores é particularmente crítica devido aos requisitos técnicos e de regulamentação do setor. A cadeia de abastecimento da indústria aeronáutica é altamente complexa, envolvendo numerosos fornecedores de componentes altamente especializados, como motores, sistemas de aviação e materiais estruturais. Cada um desses componentes tem de cumprir rigorosos padrões de segurança e qualidade, já que qualquer falha pode resultar em consequências catastróficas, tanto em termos financeiros quanto de segurança (Lin *et al.*, 2018).

Devido ao elevado risco envolvido, os critérios para a avaliação de fornecedores na indústria aeronáutica são muito mais rigorosos do que em outros setores. As empresas deste setor avaliam os fornecedores não apenas com base no custo e nos prazos de entrega, mas também nas suas capacidades técnicas, na adesão a normas globais de segurança e na sua capacidade de rastrear materiais e componentes ao longo de todo o processo de produção (Lin *et al.*, 2018).

À medida que as cadeias de abastecimento se tornaram mais complexas, a avaliação de fornecedores deixou de se focar apenas em fatores como custo e prazos de entrega, passando a incluir questões mais amplas como sustentabilidade, inovação, conformidade com normas rigorosas e capacidade de gestão de risco, trazendo novos desafios ao processo de avaliação que exigem uma abordagem mais sistemática e criteriosa. Além disso, com o aumento das exigências do mercado e com a necessidade de competitividade, a escolha de fornecedores adequados tornou-se uma decisão estratégica de longo prazo (Li *et al.*, 2021).

Consequentemente, a crescente complexidade das cadeias de abastecimento exigiu a utilização de estruturas de avaliação mais sofisticadas, que possam avaliar múltiplos fatores em simultâneo, ponderar a sua importância e considerar a incerteza e a ambiguidade. É neste momento que métodos avançados, como a lógica difusa, que se tornaram cada vez mais importantes na avaliação de fornecedores, pois permitem uma análise mais detalhada e abrangente do desempenho dos fornecedores (Hellmann, 2001; Nadaban, 2021).

A lógica difusa permite que os decisores avaliem os fornecedores numa escala contínua, em vez de os forçar a classificações rígidas como "Aceitável" ou "Inaceitável". Nesta abordagem, os fornecedores são avaliados utilizando variáveis linguísticas, como "Excelente", "Bom", "Médio" e "Fraco" (Zimmermann, 2001).

Uma das principais vantagens dos métodos de avaliação difusa é a sua capacidade de lidar com a incerteza e com a ambiguidade. Ao permitir uma abordagem mais flexível para a avaliação de fornecedores, a lógica difusa ajuda as empresas a tomar decisões mais informadas, reduzindo o risco de uma seleção inadequada de fornecedores e melhorando o desempenho geral da cadeia de abastecimento.

A avaliação de fornecedores sofreu uma evolução significativa, progredindo de avaliações simples, baseadas unicamente no custo, para abordagens complexas de multicritério que consideram uma vasta gama de fatores, incluindo entrega, qualidade, sustentabilidade e gestão de risco. Em indústrias como a aeronáutica, onde os riscos são particularmente elevados, a avaliação de fornecedores é um processo crítico que garante a conformidade com os padrões de segurança, apoia a inovação e mitiga riscos. A introdução da lógica difusa nas metodologias de avaliação de fornecedores melhorou ainda mais a capacidade das

organizações de lidar com a incerteza e incorporar tanto critérios qualitativos quanto quantitativos nos processos de tomada de decisão.

1.1 Motivação

A escolha de realizar uma tese de mestrado abordando o tema de avaliação de fornecedores é motivada pela crescente relevância deste tema no cenário empresarial atual, especialmente no setor aeronáutico, onde atuo profissionalmente. Num ambiente de negócios altamente competitivo e globalizado, as empresas dependem de uma rede complexa de fornecedores para garantir a qualidade dos seus produtos e serviços, assim como a eficiência das suas operações. No setor aeronáutico, a seleção de fornecedores confiáveis é ainda mais crucial, dado o elevado nível de exigência em termos de segurança, de inovação tecnológica e de conformidade regulatória (EASA, 2013, 2016, 2018).

Portanto, desenvolver uma investigação nesta área oferece não só a oportunidade de ganhar conhecimento relevante, mas também de conseguir contribuir para a capacidade da empresa em tomar decisões mais informadas, estratégicas e alinhadas com as exigências do mercado atual.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo desenvolver um modelo que auxilie na compreensão e na determinação do desempenho dos fornecedores, de modo a validar a estratégia de seleção e gestão de fornecedores, bem como descrever a metodologia utilizada no seu desenvolvimento e aplicação numa empresa do setor aeronáutico. Contudo, este estudo é limitado pela natureza multifacetada da avaliação de fornecedores, uma área associada a imprecisões e complexidades, devido à necessidade de equilibrar múltiplos critérios.

1.3 Estrutura

O presente documento encontra-se organizado em 6 capítulos com o objetivo de encandear de forma lógica a estudo realizado.

No primeiro capítulo é enquadrado o objeto em estudo assim com a sua importância no setor aeronáutico.

O segundo capítulo tem como objetivo apresentar a relevância da avaliação de fornecedores, assim como a evolução dos critérios e os principais métodos usados no processo de avaliação.

Com o terceiro capítulo pretende-se descrever de forma sucinta a lógica difusa, explicando o que são conjuntos difusos, variáveis linguísticas e os métodos de inferência difusa e as suas etapas.

No quarto capítulo é apresentada uma proposta de um modelo conceptual para a avaliação do desempenho de fornecedores baseado na lógica difusa.

No quinto capítulo é apresentado o caso de estudo através da aplicação do modelo proposto num caso prático.

Finalmente, no sexto capítulo são discutidos os principais resultados, as limitações do estudo e as recomendações para futuras investigações e melhorias do modelo.

2 *Procurement* e Gestão de Fornecedores

O presente capítulo tem como propósito apresentar os fundamentos teóricos que suportam o presente trabalho, nomeadamente a importância dos processos de *procurement* assim como o papel desempenhado pela gestão de fornecedores.

2.1 Importância do *procurement* e gestão de fornecedores

O termo *procurement* é amplamente usado para definir o processo de encontrar e adquirir matérias-primas ou serviços de acordo com as necessidades das empresas. Pelo que um gestor de *procurement* deve ter sempre em conta diversos critérios: qualidade, quantidade, tempo e localização, durante toda a negociação de modo a encontrar o melhor preço disponível (Sandi *et al.*, 2020).

Para Johnson *et al.* (2010), um dos grandes desafios de um gestor de *procurement* é combinar as necessidades da organização com o que o mercado pode fornecer. Pelo que, qualquer organização está dependente de uma base sólida de fornecedores que dê suporte ao nível operacional e estratégico, quer a curto, quer a longo prazo. Esta relação vai impactar o desempenho da própria organização assim como o desempenho do próprio fornecedor.

As relações entre as organizações e os fornecedores foram evoluindo ao longo do tempo, devido à mudança de paradigma e ao desenvolvimento dos processos de industrialização, que contribuíram para que os fornecedores começassem a ser considerados como parte integrante na estratégia das empresas (Amato Neto *et al.*, 2014; Monczka *et al.*, 2009).

De acordo com diversos autores, esta evolução apresenta os seguintes marcos históricos, como ilustrado na Figura 2.1 (Cavinato *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2010; Monczka *et al.*, 2009):

1. **1850 - 1900:** Devido ao crescimento da indústria ferroviária americana, os departamentos de compras começam a ganhar o seu próprio espaço dentro das organizações.

2. **1900 - 1950:** Devido à 1ª e 2ª Guerras mundiais, os processos de compras ganharam relevância pois o foco principal, não era tanto o que se vendia, mas sim garantir os

recursos necessários para trabalhar. Verificou-se também o aumento do interesse no processo de compras, com o crescimento de cursos nas faculdades e número de agentes de compras registados.

3. **1973:** Até então a principal estratégia de compras focava-se na compra ao menor custo possível, provocando uma competição feroz com os fornecedores. No entanto, neste ano com o embargo do petróleo, a preocupação das empresas passou por ter uma gestão mais eficiente das compras e do controlo de inventário.

4. **Fim de 1970 - 1999:** Com a globalização verificou-se um crescimento intenso na estrutura da cadeia de abastecimento, o que conduziu a que as organizações procurassem outras formas de coordenar todo o fluxo de bens, serviços e informações dos fornecedores para o cliente. Neste período começam a surgir as primeiras parcerias Comprador-Fornecedor.

5. **2000 – Presente:** Os fornecedores deixam de ser vistos como adversários e começam a ser parte integrante das empresas com uma relação de parceria.

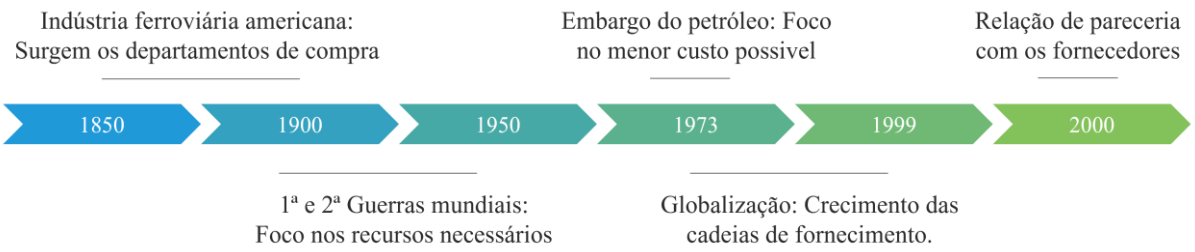

Figura 2.1 – Evolução da estratégia de compras.
(Fonte: Elaboração própria)

A gestão de fornecedores passou a ser relevante dentro das organizações, sendo que esta não trata apena das compras, engloba uma série de processos desde a procura de novos fornecedores, passando por determinar quais se podem qualificar como fornecedores e numa fase mais avançada, é importante acompanhar o seu desempenho, através da sua avaliação e do desenvolvimento de alianças estratégicas (Amato Neto *et al.*, 2014).

De acordo com Monczka *et al.* (2009), a gestão de fornecedores tem vindo a ganhar relevância ao longo dos tempos, e de acordo com o relatório Aerospace Corp (2011), começou a ser prática integrante da maior parte das empresas. No relatório realizado conclui-se que 97,62% das empresas consultadas realizavam avaliações periódicas aos seus fornecedores, como representado na Figura 2.2.

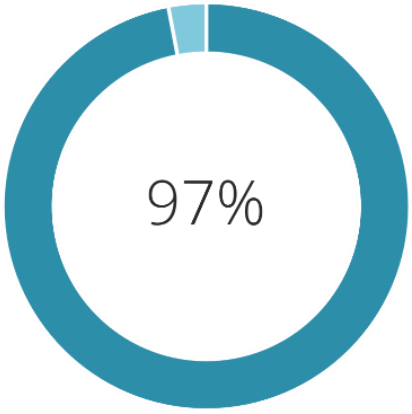

Figura 2.2 – Percentagem de empresas que realizam avaliações periódicas.
(Fonte: (Aerospace Corp, 2011))

Ao longo do tempo, a relação entre o comprador e o fornecedor foi evoluindo do foco na competitividade para uma relação onde o foco é a colaboração. De acordo com Amato Neto *et al.* (2014), esta alteração está associada à mudança dos padrões de produção assentes na flexibilidade, na agilidade e na produção eficiente. Com isso, as organizações foram forçadas a adaptar-se, ajustando tanto as suas estruturas quanto as suas estratégias de relacionamento com fornecedores, promovendo parcerias mais integradas e sinérgicas, nomeadamente:

- Alinhar a estratégia dos fornecedores com a estratégia global da empresa;
- Identificar metas de fornecimento e desenvolver planos para assegurar que cada fornecedor seja capaz de as atingir;
- Desenvolver parcerias que levem à redução de custos e prazos de entrega;
- Desenvolver ferramentas que permitam dar suporte às tomadas de decisão de forma transversal e que permitam ter uma visão clara do fluxo dos bens serviços;
- Identificar quais os indicadores de desempenho a ser considerados que permitam a avaliação dos fornecedores.

2.2 Procurement

Apesar de toda evolução, o objetivo principal de todo o processo de compras mantém-se o mesmo, isto é, garantir a disponibilidade do abastecimento de produtos, serviços e recursos nas quantidades corretas, no local e tempo exato (Weigel & Ruecker, 2017).

Com a crescente importância destas atividades, novas abordagens estratégicas têm vindo a ser desenvolvidas, nomeadamente a necessidade de integrar o planeamento a longo prazo e a necessidade de desenvolver a relação com os fornecedores, que devem começar a ser vistos como parceiros, e os mercados devem ser explorados globalmente (Weigel & Ruecker, 2017).

Como consequência desta evolução, novas atividades relacionadas com o *procurement* foram surgindo, nomeadamente atividades com foco mais estratégico, o que conduziu a uma divisão das áreas de atuação para funções operacionais e estratégicas, como ilustrado na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Atividades de operacionais e estratégicas.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

- **Atividades Operacionais**

Para Weigel e Ruecker (2017), as funções operacionais têm como principal objetivo garantir a disponibilidade dos materiais sempre que necessários. Estas funções assumem também as atividades clássicas de compras relacionadas com as operações de rotina, tais como:

- **Gestão de ordens de compra**, desde a colocação da ordem de compra ao fornecedor, até ao acompanhamento das entregas, assegurando que estas ocorrem conforme o contratualizado;
- **Cumprimento do plano operacional**, garantindo que todas as necessidades planeadas, tanto materiais como serviços, são asseguradas de forma eficiente e dentro dos prazos estabelecidos;
- **Processamento de devoluções e reclamações**, lidando de forma eficaz com problemas de qualidade ou incumprimentos por parte dos fornecedores.

Estas funções têm sempre como objetivo encontrar o equilíbrio correto entre a disponibilidade de stock e a redução de custos, garantindo que a estratégia da organização é cumprida e que a cadeia de abastecimento se mantém eficiente e ágil.

- **Atividades Estratégicas**

Ainda de acordo com Weigel e Ruecker (2017), com a crescente complexidade das relações com os fornecedores, as atividades estratégicas assumem um papel fundamental na definição das linhas gerais que influenciam as atividades diárias dos compradores. Isto é, esta função tem como objetivo central a definição estratégica das atividades de *procurement* em relação às compras, à gestão de fornecedores e à mitigação de risco, mas sempre alinhado com a estratégia global da organização.

Entre as principais responsabilidades do comprador estratégico estão:

- **Definição da direção estratégica** para a gestão de fornecedores, estabelecendo políticas que assegurem a sustentabilidade e a eficiência da cadeia de abastecimento;
- **Exploração de novos mercados**, identificando oportunidades que possam trazer vantagens competitivas à organização, assim como fornecedores inovadores ou mais eficientes;
- **Negociação de acordos de quadro comercial**, de modo a criar uma base de colaboração a longo prazo e garantir condições contratuais vantajosas e estáveis;
- **Gestão da carteira de fornecedores**, monitorizando o desempenho e identificando oportunidades de consolidação ou diversificação, conforme necessário;
- **Desenvolvimento de estratégias de mitigação de risco**, que protejam a empresa de eventuais falhas na cadeia de abastecimento, flutuações de mercado ou outros imprevistos;
- **Identificação de pontos de melhoria na cadeia de valor**, procurando otimizar processos, reduzir custos e melhorar a qualidade dos produtos ou dos serviços adquiridos.

Para além de gerir o dia a dia, é dever do comprador estratégico manter uma visão a longo prazo, de modo a antecipar as tendências do mercado e a ajustar as políticas de *procurement*. Assim é possível assegurar que a cadeia de abastecimento não só responde às necessidades atuais, mas também está preparada para enfrentar os desafios futuros.

2.2.1 Estrutura da organizacional

Segundo Weigel e Ruecker (2017), a estrutura do departamento de compras está interligada à estratégica global da organização. Dependendo da sua dimensão e necessidades, esta estrutura pode assumir um entre três modelos principais: estrutura centralizada, estrutura descentralizada ou o conceito de comprador líder.

- **Estrutura Centralizada**

No modelo centralizado, todo o processo de *procurement* é concentrado numa só equipa, geralmente localizado na sede da empresa. Esta equipa tem como responsabilidade assumir todas as compras da organização. As principais vantagens deste tipo de estrutura são:

- **Comprar em grandes volumes**, pois permite a obtenção de melhores condições de negociação;
- **Maior profissionalismo**, porque permite ter compradores especialistas e um maior foco na uniformização de processos;
- **Estrutura de fornecedores homogénea**, garantido uma abordagem uniforme na seleção e gestão de fornecedores;
- **Responsabilidades bem definidas**, permite facilitar a gestão e controlo das operações;
- **Processo de *procurement* eficiente**, reduzindo a duplicação de esforços;
- **Controlo uniforme**, proporcionando uma supervisão rigorosa e uma execução mais eficaz das políticas de *procurement*.

No entanto, quando se trata de organizações com uma dimensão significativa, este modelo apresenta algumas desvantagens:

- **Excesso de burocracia**, levando a atrasos no processo de tomada de decisão;
- **Distância entre o utilizador final e o comprador**, levando a problemas de comunicação que podem resultar na compreensão errada das necessidades do utilizador final;
- **Sobreposição de responsabilidades**, decorrente da centralização de decisões que podem não refletir as realidades específicas das diferentes unidades da empresa;
- **Baixa adesão local**, uma vez que as filiais ou delegações podem sentir-se excluídas do processo de decisão;
- **Desafios culturais**, quando a centralização não tem em consideração as particularidades regionais ou locais.

- **Estrutura Descentralizada**

Na estrutura descentralizada o departamento de compras encontra-se dividido em várias secções, que por sua vez estão integradas nas diferentes localizações ou unidades da organização. Este modelo tem as seguintes vantagens:

- **Proximidade com o utilizador**, facilitando a compreensão dos requisitos de cada necessidade, possibilita também a capacidade de personalização das compras;
- **Rapidez de decisão**, uma vez que as equipas locais podem agir sem esperar por aprovações centrais;

- **Melhor comunicação** entre o comprador e utilizador final, resulta em processos mais eficientes.

Contudo, existem algumas desvantagens associadas:

- **Menos poder no mercado**, uma vez que cada compra é reduzida devido à segregação, e os volumes negociados podem ser mais baixo;
- **Menor padronização**, o que resulta em inconsistências nos processos e na gestão de fornecedores.
- **Estratégias divergentes**, principalmente quando as diferentes unidades adotam diferentes abordagens e práticas distintas, dificultando a implementação das políticas de *procurement* de forma coesa.

➢ **Conceito comprador Líder**

O conceito comprador Líder permite combinar as vantagens das estruturas centralizadas e descentralizadas. Isto é, as compras são centralizadas de acordo com a localização onde existe o maior volume de compras para cada tipo de produto ou serviço. Assim, as atividades estratégicas, como a negociação e os acordos, são também centralizados numa só equipa especializada que deve gerir um determinado grupo de produtos, a respetiva rede de fornecedores e todo o conhecimento de fornecimento.

Por sua vez, as atividades operacionais são descentralizadas, permitido assim a cada unidade da empresa gerir e controlar localmente as ordens de compra. Esta abordagem híbrida permite usufruir das vantagens de ambas as estruturas:

- **Estratégia uniforme** por grupo de materiais, garantindo consistência dos processos e o correto alinhamento com os objetivos estratégicos da organização;
- **Agregação de volumes** levando a um aumento do poder de negociação;
- **Gestão mais eficiente da rede de fornecedores**, permitindo a melhor combinação possível entre a visão estratégica global com a flexibilidade operacional local;

O conceito de comprador líder, permite assim que a empresa beneficie da centralização das decisões estratégicas e da eficiência de compras em grandes volumes, e ao mesmo tempo mantém a agilidade e a proximidade com as operações locais.

2.2.2 Processo de compras

Apesar de o foco principal deste trabalho não ser o processo de compras é importante entender como a avaliação de fornecedores se enquadra neste processo.

De acordo com Johnson *et al.* (2010), Monczka *et al.* (2009), Weigel e Ruecker (2017) o processo de aquisição é composto por um conjunto de etapas sequenciais que engloba todas as atividades necessárias para a realização de uma determinada compra. A identificação de uma necessidade está na origem deste processo, em seguida devem ser identificados e selecionados os fornecedores potenciais. Após a análise das diversas propostas deve ser escolhida a melhor proposta, de acordo com as especificações da necessidade, assim que a etapa de expedição se inicia deve ser feita também a monitorização da entrega. Finalmente, após a receção do bem ou serviço deve proceder-se à avaliação do desempenho do fornecedor.

A Figura 2.4 ilustra as principais etapas de um processo típico de compras, no entanto, este pode variar entre as organizações e de acordo com as especificidades de cada sector (Monczka *et al.*, 2009; Weigel & Ruecker, 2017).

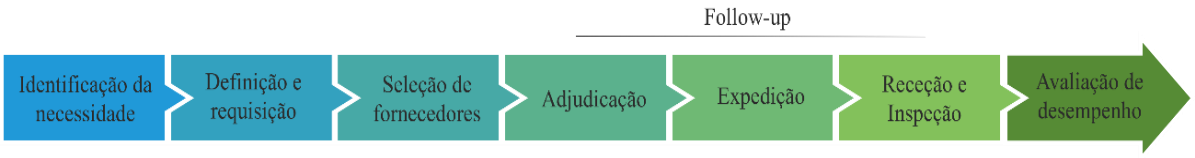

Figura 2.4 – Processo de aquisição de um bem ou serviço.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

- **Identificação da necessidade**

O processo de compras inicia-se sempre através da identificação de uma necessidade, que pode ser proveniente de um cliente interno ou externo. Geralmente, a identificação das necessidades é realizada de forma planeada, contudo, com o decorrer das operações diárias, por vezes, existem necessidades que surgem de forma inesperada (Johnson *et al.*, 2010; Monczka *et al.*, 2009).

- **Definição e requisição**

Após a identificação da necessidade, esta deve ser comunicada formalmente através de uma requisição de compra (*Purchase Requisition* - PR). A PR é um documento que deve circular internamente e onde são detalhadas todas as especificações da necessidade identificada, tais como (Johnson *et al.*, 2010; Monczka *et al.*, 2009; Weigel & Ruecker, 2017):

- Data da requisição (quando se deve iniciar o ciclo de compra);
- Número da PR;
- Identificação da área requisitante;
- Conta e centro de custo que irá suportar o custo;
- Descrição detalhada do material ou serviço pretendido;
- Data da necessidade;
- Quantidade;

- Instruções adicionais;
- Autorizações internas.

- **Seleção do fornecedor**

Recolhidas todas as informações necessárias, o passo seguinte passa por identificar os possíveis fornecedores. Com base na análise de critérios previamente definidos deve-se selecionar o fornecedor que melhor atende as especificações descritas anteriormente. No entanto, este processo é descrito com maior detalhe na secção 2.3.

- **Adjudicação**

Uma vez escolhido o fornecedor final, o comprador deve formalizar através de uma notificação oficial. Para tal deve ser enviada ao fornecedor uma ordem de compra (*Purchase Order* - PO) que contém todos os detalhes relativos à necessidade a satisfazer, assim como a informação do fornecedor e do comprador. Legalmente, a PO representa um vínculo contratual, que inicia com a confirmação da receção da PO e com a aceitação dos termos por parte do fornecedor e termina assim que a necessidade se encontra satisfeita (Monczka *et al.*, 2009).

As POs podem apresentar-se em diferentes formatos:

Ordem de Compra: A colocação de uma PO pontual é a forma mais simples de fazer a requisição junto ao fornecedor. A PO deve conter uma série de dados tais como: identificador, quantidade, especificações, requisitos de qualidade, método de transporte, local e data pretendida da entrega.

Ordem de compra em branco: Quando se pretende comprar um ou mais produtos repetidamente por um determinado período, a forma mais simples de o fazer é através da colocação de uma PO em branco, desta forma é eliminada a necessidade colocar uma PO por cada compra. Quando se negoceia uma PO em branco, o fornecedor deve ser avaliado quanto à sua capacidade de entrega, não só devem ser acordados os termos principais como preço, quantidade e tempo de entrega, como também deve ser negociada a forma como termina a PO acordada, e a cláusula de encerramento antecipado.

Contratos de custo fixo ou custo variável: Em alternativa, o comprador e o fornecedor podem celebrar um contrato de custo fixo ou variável. Nos contratos de custo fixo as condições acordadas, nomeadamente o preço, mantém-se inalterável durante a sua a vigência, o que poderá ser ou não benéfico dependendo das flutuações do mercado. Por outro lado, os contratos de custo variável têm como base os contratos de custo fixo, contudo, são adicionadas cláusulas que salvaguardam as flutuações do mercado, ou quando no trabalho a realizar é complexo definir a quantidade final de horas e de despesas previstas com elevado grau de confiança.

- **Expedição**

Colocada a PO o fornecedor deve dar início à produção da encomenda e proceder com o envio conforme o estipulado na etapa anterior. Após a adjudicação, o comprador deve acompanhar periodicamente a encomenda de modo a garantir que os prazos e os requisitos sejam cumpridos pelo fornecedor (Johnson *et al.*, 2010).

- **Receção e Inspeção**

Rececionada a encomenda, é crucial que seja verificado se está tudo em conformidade com o especificado (Johnson *et al.*, 2010).

Ou seja, o momento da receção deve incluir as seguintes tarefas:

- Assegurar que a encomenda chegou e em boas condições;
- Garantir que a quantidade rececionada vai ao encontro com o que é mencionado na PO ou no contrato celebrado;
- Encaminhar a encomenda para o local indicado dentro da organização;
- Registar toda a documentação associada e garantir o seu acesso a todas as partes interessadas.

- **Avaliação do desempenho do fornecedor**

Concluída a encomenda o comprador deve registar todos os indicadores considerados essenciais, com o objetivo de registar o desempenho do fornecedor. Este registo é importante como abordado em seguida, porque através da avaliação do seu desempenho cada fornecedor pode ser categorizado de diferentes formas dentro da empresa, mesmo perdendo ou ganhando negócio. Este processo é descrito com maior detalhe na secção 2.3.

2.3 Gestão de fornecedores

A gestão de fornecedores tem-se tornado um tema cada vez mais crucial, especialmente devido ao aumento da competitividade global. Com o ambiente de negócios cada vez mais dinâmico, a relação entre clientes e fornecedores também se torna mais complexa, exigindo mesmo uma cooperação mais detalhada e estratégica.

Para Weigel e Ruecker (2017), devido à influência resultante do desempenho dos fornecedores nos resultados de uma organização, tem sido uma tendência a opção por contratos de longa-duração. Nesse sentido, a gestão de fornecedores tem como objetivo nuclear estabelecer como deve ser estruturada a relação com os fornecedores, ou seja, deve definir todas as diretrizes de gestão e de desenvolvimento para as relações da organização com os respetivos fornecedores.

No momento em que se estabelecem estas diretrizes, algumas das questões principais devem ser respondidas:

- Como deve ser o fornecedor gerido estrategicamente?
- Como escolher o fornecedor ideal?
- Qual o desempenho dos fornecedores atuais?
- Como garantir que estamos a comprar do melhor fornecedor?
- Quais ações a realizar quando são identificadas falhas?

Para dar resposta às perguntas anteriores Weigel e Ruecker (2017) definiram as etapas de seleção, de avaliação, de desenvolvimento e de supervisão com o ciclo de gestão de fornecedores, que devem estar devidamente alinhadas com a estratégia de fornecimento, como apresentado na Figura 2.5.

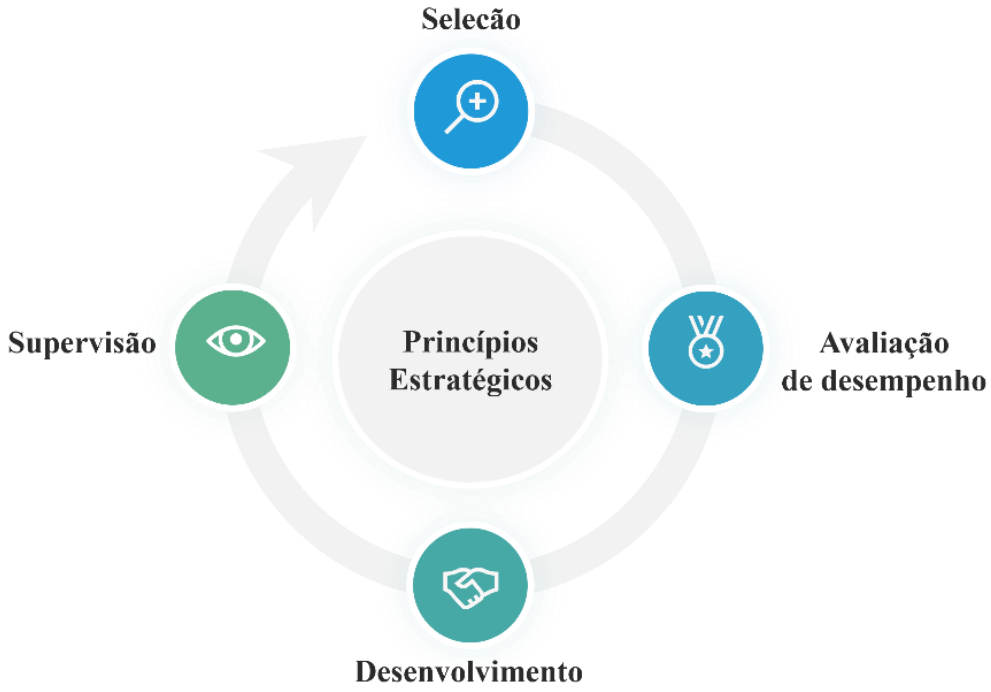

Figura 2.5 – Ciclo de gestão de fornecedores.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

2.3.1 Princípios Estratégicos

A estratégia de *procurement* tem como objetivo principal estabelecer os requisitos de todos os negócios futuros de modo a prevenir situações críticas de negócio (Weigel & Ruecker, 2017).

Este plano estratégico deve cobrir um período de três a cinco anos, seguindo um conjunto de etapas, nomeadamente: análise estratégica, definição de objetivos, desenvolvimento, execução e revisão, como apresentado na Figura 2.6.

Figura 2.6 – Processo de desenvolvimento de estratégia.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

- **Análise Estratégica**

Neste momento, deve ser analisado o ambiente de compras para entender a sua relevância para o cumprimento dos objetivos globais da empresa. Para tal, deve ser conhecida a posição das compras na estratégia de negócios e devem identificar-se os objetivos a ser alcançados. Devem ainda ser apurados os requisitos internos de compras, para os quais os compradores devem estar alinhados, tais como a estratégia de negócio, o plano tecnológico, o plano de produção e o padrão de qualidade.

Além disso, devem ser também observados os fatores de ambiente externo que pode influenciar os objetivos da organização, como a estrutura industrial, a estrutura de fornecedores e o ambiente económico. Adicionalmente, devem ser compreendidos como se relacionam os fatores externos com os fatores internos.

A análise dos fatores internos e externos pode ser realizada através da análise SWOT[1], a informação recolhida permite identificar as oportunidades e mitigar os riscos que podem ter impacto no processo de compras (Monczka *et al.*, 2009).

[1] SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Treats.

- **Objetivos estratégicos**

Aquando da definição dos objetivos, estes devem ser divididos em operacionais e estratégicos. Sendo que os objetivos operacionais pretendem, essencialmente, garantir o correto equilíbrio entre a redução de custos, padrões de qualidade e prazos de entrega dos produtos, como mostrado na Figura 2.7 (Weigel & Ruecker, 2017).

Figura 2.7 – Objetivos estratégicos.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

Por outro lado, os objetivos estratégicos focam-se na segurança, crescimento e melhoria contínua. Devem também abordar temas como a gestão do risco, exploração de novos mercados, garantir a revisão e aperfeiçoamento constante dos processos internos de compras e por fim devem assegurar a constante formação dos agentes de compras.

Estes objetivos devem ser estabelecidos com base no conceito de S.M.A.R.T.[2] (específicos, mensuráveis, alcançáveis, realistas e temporais), isto é, devem ser claros, mensuráveis, alcançáveis, de acordo com realidade da empresa, e devem estar associados a uma linha de temporal.

- **Desenvolvimento da estratégia**

Nesta etapa, são definidas as regras gerais para as atividades de compra, respeitando os códigos de conduta internacionais previamente estabelecidos, assim como os padrões sociais, isto é, a relação justa com os fornecedores, o cumprimento das regras ecológicas, sociais, éticas e de combate à corrupção.

[2] S.M.A.R.T – Acrónimo em inglês para: Specific, Measurable, Attainable, Realistic, Time-bound.

Adicionalmente, os produtos ou serviços devem ser classificados em grupos conforme a sua criticidade, assim como deve ser estabelecida uma estratégia de fornecimento particular por cada grupo. Estes dois aspetos não podem ser desassociados, pois esta classificação indica objetivamente quais os produtos/serviços que são críticos, enquanto a estratégia de fornecimento estabelece para cada grupo de que modo como estes devem ser adquiridos.

De acordo com Gelderman e Van Weele (2003), existem diversos modelos de segmentação, contudo o modelo desenvolvido por Kraljic em 1983 é o modelo amplamente utilizado, tanto no meio académico como no meio empresarial.

No modelo proposto por Kraljic (1983), os fornecedores são segmentados em quatro categorias e de acordo com a combinação de duas dimensões: importância estratégica de compras e complexidade do mercado fornecedor, como representado na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Segmentação de produtos de acordo com método de Kraljic.
(Adaptado de (Kraljic, 1983))

A primeira dimensão determina qual a importância da compra tendo em conta o seu valor, isto é, a relação do custo do material e o impacto no lucro. A segunda dimensão estabelece qual a complexidade do mercado fornecedor em termos de disponibilidade e quantidade de fornecedores, risco de armazenamento e possibilidade de substituição.

Segundo Kraljic (1983), as quatro categorias apresentadas requerem uma abordagem de compra diferenciada, dependendo da complexidade e das implicações estratégicas de cada quadrante.

Não críticos: São produtos que apresentam baixa importância de compra e com uma complexidade de fornecimento muito baixa, pois são materiais com baixo valor e com várias

alternativas de fornecimento. Neste tipo de materiais o foco deve estar na eficiência e no custo, o horizonte de planeamento deve ser curto e a mudança de fornecedor, se necessário, deve ser rápida.

Gargalo: Apesar de serem produtos com baixa importância de compra apresentam um nível elevado de complexidade de fornecimento. Trata-se de materiais específicos e com pouco valor, contudo, o seu abastecimento é de elevado risco devido à escassez de opções. O risco associado ao abastecimento deve conduzir à procura constante de soluções alternativas, e consequentemente aumenta o valor pago devido à existência de stocks de segurança.

Alavancado: Este tipo de produtos apresentam uma elevada rede de abastecimento onde a competitividade entre fornecedores é grande, pois trata-se de materiais de baixo valor e alguns materiais específicos. O que conduz a um planeamento de prazos não muito longos devido ao número elevado de fornecedores existentes, possibilitando uma maior eficiência sem comprometer o fluxo de materiais.

Estratégico: Estes produtos são caracterizados por terem uma importância elevada no momento da compra e com grau de fornecimento altamente complexo. Para este tipo de produtos devem ser desenvolvidas estratégias diferentes de acordo com os riscos e com o mercado, pois trata-se de produtos muito específicos com elevado impacto no lucro da organização, com uma rede de abastecimento muito reduzida por vezes, pode existir apenas um só fornecedor.

- **Execução tática**

Uma vez delineada a estratégia, deve ser elaborado um plano de ações que indique as medidas individuais a serem tomadas, assim como as ferramentas utilizadas e prazos para a concretização desses objetivos. Neste passo, é definido também de que modo a relação com os fornecedores vai ser avaliada, de onde devem resultar as medidas concretas a implementar na rede de fornecimento, desde a procura de fornecedores novos, alternativos ou até mesmo a sua substituição.

- **Revisão**

Como a estratégia deve seguir o princípio S.M.A.R.T, é crucial realizar revisões periódicas dos objetivos para assegurar que o planeamento se mantém alinhado com as mudanças do mercado e com as necessidades da empresa.

2.3.2 Seleção

A seleção de fornecedores tem como principal objetivo a escolha do melhor fornecedor para assegurar uma determinada necessidade da organização. No entanto, e conforme apresentado na Figura 2.9, o processo de seleção de um fornecedor envolve um conjunto de

etapas, tais como: identificação prévia de possíveis fornecedores, pré-qualificação, análise detalhada dos fornecedores pré-qualificados e finalmente a seleção do melhor fornecedor possível, tendo em consideração os requisitos da necessidade.

Figura 2.9 – Processo de identificação e seleção de fornecedores.
(Adaptado de (Weigel & Ruecker, 2017))

- **Identificação**

Nesta fase, são identificados todos os fornecedores potenciais, que porventura consigam satisfazer as especificações do produto ou serviço que se pretende adquirir. Para tal, é necessário definir o perfil geral do fornecedor que deve ser identificado nesta fase, como exemplo, sector de indústria, dimensão, gama de produtos e nível conhecimento tecnológico (Weigel & Ruecker, 2017).

Os métodos mais comuns de encontrar potenciais fornecedores existentes no mercado são (Cavinato *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2010; Monczka *et al.*, 2009; Weigel & Ruecker, 2017):

- Lista de fornecedores atual;
- Representante de vendas;
- Base de dados;
- Experiência;
- Feiras;
- Recomendações;
- Internet.

- **Pré-qualificação**

Dependendo de cada caso, a lista inicial de fornecedores pode ser extensa. Atendendo que, cada fornecedor apresenta diferentes capacidades e soluções, é essencial realizar uma triagem inicial antes de avançar com uma avaliação mais exaustiva. O objetivo principal desta fase é garantir que apenas são pré-qualificados os fornecedores capazes de satisfazer o pedido (Cavinato *et al.*, 2000; Weigel & Ruecker, 2017).

A pré-qualificação pode ter em consideração os seguintes aspetos:

- Análise de risco financeira;
- Avaliação do desempenho do fornecedor;
- Avaliação da informação facultada pelo fornecedor;
- Certificações.

Cavinato *et al.* (2000), sugere ainda que nesta fase devem ser consideradas quais as expectativas quanto à relação futura com o fornecedor a selecionar.

- **Análise**

Após a triagem anterior, é necessário estabelecer como avaliar as propostas dos fornecedores pré-qualificados. Nesta fase, o rigor da avaliação deve ser superior ao da fase anterior.

Neste ponto, devem ser contemplados os seguintes aspetos:

- Avaliação de informação facultada pelo fornecedor;
- Visitar o fornecedor;
- Consultar a lista de fornecedores preferenciais.

No entanto para Johnson *et al.* (2010), quando se trata de um fornecedor já existente esta avaliação torna-se mais simples.

- **Seleção**

Finalizadas as etapas anteriores, a equipa de *procurement* deve ser capaz de escolher o fornecedor que melhor se adequa aos objetivos da organização. Em seguida, é necessário estabelecer e acordar os termos da aquisição, que devem ir ao encontro do nível de complexidade da aquisição. Isto é, quanto maior ou mais complexo for o produto ou serviço pedido, mais detalhado será o processo de negociação (Weigel & Ruecker, 2017).

2.3.3 Avaliação de desempenho

A avaliação de desempenho dos fornecedores deve ser um processo contínuo e sistemático, no qual o desempenho é monitorizado de acordo com os critérios definidos previamente estabelecidos. Este processo permite monitorizar regularmente os fornecedores com o objetivo de garantir que o fornecedor atinge as métricas e as expectativas definidas pela organização (Weigel & Ruecker, 2017).

Para Cavinato *et al.* (2000), esta etapa proporciona visibilidade quanto ao desempenho do fornecedor agir em conformidade. Como por exemplo, definir um conjunto de ações corretivas ou até mesmo substituir o fornecedor por outro alternativo.

2.3.4 Desenvolvimento de fornecedores

Para Weigel e Ruecker (2017), o desenvolvimento de fornecedores está assente em dois pilares fundamentais: gestão e integração. A gestão de fornecedores tem como objetivo otimizar o desempenho da rede de fornecedores, através do ajuste das condições gerais de colaboração. Por outro lado, a integração tem como objetivo melhorar a relação negocial e incluir da melhor forma possível o fornecedor nas operações da empresa, através da criação de sinergias que beneficiem ambos os lados.

De modo a melhorar e influenciar a relação com os fornecedores pode recorrer-se aos seguintes instrumentos:

Gestão: A equipa de *procurement* estratégico deve estabelecer uma relação cordial e cooperativa com todos os fornecedores. Quanto mais saudável for a relação mais fácil será lidar com situações adversas, e isso permite criar um ambiente de confiança, que é essencial para o sucesso das negociações e parcerias.

Educação: Sempre que sejam identificadas falhas os fornecedores devem ser informados de forma transparente e construtiva, para que possam corrigir as falhas identificadas e melhorar os seus processos. Este ponto é essencial para garantir que os fornecedores estejam alinhados com os padrões da empresa.

Encorajamento: Independentemente do bom desempenho dos fornecedores, estes devem ser encorajados a melhorar e a explorar novas ou diferentes áreas. Este apoio pode incluir a partilha de conhecimento, instalações, suporte na aquisição da matéria-prima e ajuda na identificação dos pontos fracos das capacidades do fornecedor.

Substituição: Apesar de todos os esforços, se algum fornecedor não demonstrar melhorias significativas no seu desempenho, ou caso não cumpra os requisitos acordados, deve ser considerado a sua substituição. De acordo com Weigel e Ruecker (2017) em média 7.5% dos fornecedores são substituídos todos os anos por não conseguirem cumprir os requisitos acordados, e por não ser esperado melhorias um curto espaço de tempo.

O desenvolvimento de fornecedores pode incluir a colaboração em projetos conjuntos de inovação e melhoria contínua. As empresas líderes no mercado têm tendência a trabalhar lado a lado com os seus fornecedores, visto que isso possibilita a otimização de processos, melhora a qualidade e reduz custos. Resultando assim numa cadeia de fornecimento eficiente e resiliente, onde todos os envolvidos beneficiam da parceria a longo prazo.

O investimento no desenvolvimento de fornecedores permite mitigar riscos, visto que quanto mais próxima for a relação maior a flexibilidade e a capacidade de adaptação a mudanças no mercado.

2.3.5 Supervisão de Fornecedores

A avaliação do desempenho dos fornecedores não é apenas útil no momento da seleção de um fornecedor, estes resultados são também importantes para a supervisão dos fornecedores. Neste contexto, a monitorização regular dos índices usados para a avaliação do desempenho permite a identificação precoce de falhas e consequente mitigação do risco associado. Muitas vezes são aplicados índices de fiabilidade e de qualidade, tais como:

- Fiabilidade na data de entrega;
- Conformidade de volumes;
- Taxa de entregas incompletas;
- Índice de reclamações;
- Custos de retrabalho.

Estes índices podem ser utilizados como referência para o desenvolvimento de fornecedores, para tal, devem ser criados objetivos em conjunto com o fornecedor e que este se comprometa a atingi-los. A supervisão de fornecedores permite ainda recolher e organizar a informação, de forma a auxiliar decisões futuras sobre a seleção de fornecedores, contribuindo também para a criação de um sistema de informação sobre os fornecedores.

2.4 Seleção e Avaliação do desempenho de fornecedores

Como mostrado a secção 2.2.2 e apresentado na Figura 2.4, as etapas referentes à seleção e avaliação de fornecedores ocorrem em fases distintas do processo de compras. Isto é, a seleção de fornecedores ocorre antes de se realizar a compra, e consiste em fazer uma triagem ou pré-qualificação de potenciais fornecedores com os quais se pretende negociar. Por outro lado, a avaliação de fornecedores é o processo sistemático de recolha de dados com o objetivo de avaliar o seu desempenho (Cavinato *et al.*, 2000).

Cavinato *et al.* (2000) e Monczka *et al.* (2009) destacam que o processo de seleção e avaliação de fornecedores é um pilar fundamental no funcionamento no dia a dia de qualquer organização. A escolha dos fornecedores certos pode ter impacto significativo não só na eficiência operacional, mas também na qualidade dos produtos e serviços finais da empresa.

E para Johnson *et al.* (2010), um dos grandes desafios das organizações é conseguir combinar as suas necessidades com as capacidades do mercado. O que envolve, não apenas encontrar fornecedores capazes de garantir os volumes e especificações das necessidades, mas também garantir que os fornecedores partilham os mesmos valores éticos e compromissos com prazos, qualidade e inovação.

Gordon 2008, define a avaliação de fornecedores como o processo de medir e monitorizar o desempenho dos fornecedores, assim como as práticas que conduzem à redução de custos, mitigação de riscos e à melhoria contínua.

Por outras palavras, a avaliação de fornecedores permite quantificar a eficiência e efetividade de um fornecedor na entrega de produtos ou serviços (Hald & Ellegaard, 2011).

O correto uso das atividades de seleção e avaliação permite que as organizações monitorizem e consigam gerir da melhor forma as relações com os fornecedores, através de ações de prevenção de problemas. Adicionalmente podem identificar e impulsionar a capacidade de inovação dos fornecedores e de constante superação, conduzindo a uma vantagem competitiva para a organização (Gordon, 2008).

Não obstante, a medição e registo dos níveis de desempenho dos fornecedores e consequentemente a comunicação dos resultados, implica que estes trabalhem para melhorar a sua prestação. Dada a relevância dos modelos de avaliação de fornecedores, e a implicação em futuros negócios, o comprador deve usar este tipo de modelos como uma vantagem na negociação. Estes modelos permitem classificar e ordenar por preferência os fornecedores (Gordon, 2008; Hawkins *et al.*, 2020).

Para Gordon (2008), Hald e Ellegaard (2011), é vital compreender como os processos de avaliação de fornecedores são implementados e usados entre as organizações, pois estes sistemas geram importantes indicadores que permitem a gestão efetiva da rede fornecedores.

Não existe uma fórmula mágica para o processo de seleção e avaliação de fornecedores, mas verifica-se alguma diversidade de abordagens na literatura. Independentemente da abordagem escolhida, o principal objetivo deste processo é o de minimizar o risco das aquisições (Monczka *et al.*, 2009; Taherdoost & Brard, 2019).

Para Cavinato *et al.* (2000, a avaliação de fornecedores tem dois objetivos distintos nos processos de compras. No processo de seleção de fornecedores com os quais existe a possibilidade de criar uma relação de negócios, e posteriormente na avaliação do seu desempenho, de modo a garantir que o que foi contratualizado é cumprido, e que deve ser um esforço contínuo.

Cavinato *et al.* (2000) e Monczka *et al.* (2009), apresentam diferentes processos de seleção e avaliação, no entanto, os modelos são idênticos no seu conteúdo e objetivo final. A Figura 2.10 apresenta o modelo típico de seleção e avaliação de fornecedores e as etapas que o compõe.

1. **Reconhecimento da necessidade de seleção de fornecedor**

A necessidade de seleção de um fornecedor está associada à sinalização da necessidade de aquisição de um bem ou serviço, como explicado no processo de compras, na secção 2.2.2. Com o levantamento desta necessidade é dado início ao ciclo de seleção e avaliação de fornecedor (Monczka *et al.* 2009).

Figura 2.10 – Processo de seleção e avaliação de fornecedores.
(Adaptado de (Cavinato *et al.*, 2000; Monczka *et al.*, 2009)

2. **Definição de requisitos de compra**

Nesta fase devem ser definidos quais os critérios importantes a avaliar durante o processo de seleção tendo em conta a aquisição. Critérios estes que podem variar de caso em caso, e sempre de acordo com o que se pretende adquirir (Cavinato *et al.* 2000). No entanto, para Monczka *et al.* (2009) e Cavinato *et al.* (2000) critérios como custo, cumprimento das entregas e qualidade do fornecedor são, usualmente, critérios transversais em todos os casos.

3. **Identificar potenciais fornecedores**

Assim que a requisição de compra (PR) é submetida e aprovada, o departamento de *Procurement* deve iniciar o processo de identificação dos possíveis fornecedores, tendo em conta as especificações do que é pretendido adquirir que deve constar na PR.

De acordo com Monczka *et al.* (2009), nesta fase podem ocorrer duas situações distintas, aquisição através de um fornecedor já qualificado ou novo.

1. **Fornecedor qualificado:** Neste caso, o fornecedor identificado já se encontra qualificado como fornecedor da organização, podendo mesmo existir uma relação

contractual. Nestas ocasiões o processo de compra é geralmente concluído com alguma facilidade.

2. **Novo Fornecedor:** Acontece quando o fornecedor identificado e/ou pretendido não está aprovado como fornecedor da organização. Estas situações por norma são mais complexas pois é necessário aprovar o fornecedor previamente, para dar seguimento à compra. Algumas organizações permitem realizar compras a fornecedores não qualificados, contudo estas operações acarretam riscos adicionais.

Para Johnson *et al.* (2010) e Monczka *et al.* (2009), existem quatro opções para comunicar com os possíveis fornecedores, de modo a verificar a sua capacidade em conseguir oferecer produtos que cumpram com os requisitos pretendidos.

- **Pedido de informação (*Request for Information* - RFI)**: Através da emissão da RFI é possível contactar diversos fornecedores de modo a recolher informação sobre a possibilidade de fornecimento de uma determinada necessidade;

- **Pedido de Cotação (*Request for Quotation* - RFQ)**: A RFQ por norma é solicitada quando existe alguma informação na descrição da necessidade que pode precisar de esclarecimentos. Podendo nesta fase os fornecedores dar algum contributo adicional na descrição da necessidade. A RFQ pode ser também usada para a comparação de preços entre fornecedores;

- **Pedido de Proposta (*Request for Proposal* - RFP)**: Nesta fase significa que a descrição da necessidade está fechada e os fornecedores são convidados a fazer uma ou mais propostas que vão ao encontro da necessidade descrita;

- **Pedido de Licitação (*Request for Bid* - RFB)**: O RFB trata-se de um processo onde os fornecedores são convidados a licitar. Tal como o RFP, neste momento as especificações estão fechadas, contudo no RFP é importante comunicar aos fornecedores de que modo a seleção final vão ocorrer. O RFB pode acontecer numa ou em várias rondas de negociação.

Para Weigel e Ruecker (2017) quanto mais detalhada for a informação transmitida ao fornecedor mais ágil será o fornecedor a responder, pelo que os RFx anteriores devem conter a seguinte informação:

- Descrição precisa dos bens a adquirir;
- Quantidades exatas;
- Data de entrega pretendida;
- Prazo para resposta;
- Termos gerais e condições para a realização da compra.

4. Pré-qualificação e triagem

Dependendo de cada caso, a lista de possíveis fornecedores pode ser extensa. Atendendo que, cada fornecedor apresenta diferentes capacidades e soluções, deve ser realizada uma triagem antes de se avançar com uma avaliação mais exaustiva. Não esquecendo também que o grande propósito desta fase é conseguir garantir que apenas são pré-qualificados fornecedores capazes de satisfazer o pedido (Cavinato *et al.*, 2000; Monczka *et al.*, 2009).

A pré-qualificação pode ter em consideração os seguintes aspetos:

- Análise de risco financeira;
- Avaliação do desempenho do fornecedor;
- Avaliação da informação facultada pelo fornecedor.

Adicionalmente, segundo Cavinato *et al.* (2000) esta fase deve considerar qual a expectativa quanto à relação futura com o fornecedor a selecionar.

5. Método de avaliação e seleção

Após a triagem, deve ser decidido de que modo os fornecedores pré-qualificados vão ser avaliados. Nesta fase, o rigor da avaliação deve ser mais exigente e deve ser superior ao rigor tido na 2ª fase (Definição de requisitos).

Esta avaliação pode contemplar os seguintes pontos:

- Avaliação de informação facultada pelo fornecedor;
- Visitar o fornecedor;
- Consultar a lista de fornecedores preferenciais.

No entanto, de acordo com Johnson *et al.* (2010) quando se trata de um fornecedor já existente esta avaliação torna-se mais simples.

6. Seleção e negociação

Finalizadas as etapas anteriores, a equipa de *procurement* deve ser capaz de escolher o fornecedor que melhor vai ao encontro dos objetivos da organização. Após selecionado o fornecedor devem ser fechados os termos da aquisição, que devem ir ao encontro do nível de complexidade da aquisição. Isto é, quanto maior ou mais complexo for o serviço pedido, mais detalhado será o processo de negociação.

7. Avaliação do desempenho

A etapa final é a fase da experiência, que envolve a monitorização periódica de todas as encomendas com o objetivo de compreender se os fornecedores selecionados estão a cumprir com os acordos realizados durante a fase de negociação.

Para Cavinato *et al.* (2000), esta fase é o teste real ao processo de seleção, pois permite ter a visibilidade do desempenho do fornecedor e agir em conformidade, se por exemplo, o fornecedor deve ser substituído por outro.

2.5 Critérios de seleção e avaliação

Como mencionado tanto a seleção como a avaliação de fornecedores são processos realizados com base em critérios previamente definidos, que podem variar de acordo com cada caso, pois os critérios usados dependem sempre da complexidade do negócio (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Ao longo do tempo, a seleção de fornecedores deixou de ser baseada apenas num só critério, por norma o custo, passando a ser um problema de múltiplos critérios. Não obstante, o processo de seleção pode envolver critérios tanto qualitativos como quantitativos tornando o processo de seleção ainda mais complexo (Manucharyan, 2021).

De acordo com Muhammad e Manarvi (2009), os critérios devem ser específicos e mensuráveis. Sem a correta identificação dos critérios de avaliação/seleção, a escolha dos fornecedores tende a basear-se na oferta de menor valor, o que por norma, faz com que as escolhas recaiam num produto com menor qualidade (Amato Neto *et al.*, 2014).

A decisão de escolha de um fornecedor por si só já é complicada, pois depende de um vasto número de critérios, tornando-se ainda mais complexo, atendendo que estes, podem apresentar dimensões qualitativas e quantitativas (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Visto que o processo de avaliação ocorre em dois momentos distintos, inicialmente no processo de seleção do fornecedor e posteriormente quando se pretende avaliar o seu desempenho. Como os objetivos de ambos os momentos são diferentes, os critérios usados podem ser diferentes, contudo sempre alinhados com a estratégia das organizações (Da Silveira & Pereira, 2008).

2.5.1 Critérios de seleção

De acordo com Da Silveira e Pereira (2008), os critérios de seleção estabelecem os pontos que devem ser avaliados nos potenciais fornecedores.

De acordo com Monczka *et al.* (2009) e Cavinato *et al.* (2000) os critérios usados na seleção podem estar relacionados com:

- Capacidade Gestão;
- Sistemas de qualidade (TQM, metodologia LEAN);
- Processos e tecnologias implementados;
- Política ambiental e Estabilidade Financeira;
- Sistemas de controlo de produção;
- Tempo de Entrega.

Durante a revisão bibliográfica, verificou-se que este tema tem sido amplamente estudado por diversos autores, contudo, o estudo realizado por Dickson (1966) é amplamente referido na literatura, e é provavelmente um dos primeiros estudos sobre o presente tema.

Com o objetivo de definir quais os critérios usados na seleção de um fornecedor, Dickson (1966) questionou 273 responsáveis por compras que pertenciam à *National Association of Purchasing Managers.* Através desse estudo concluiu que os critérios mais usados nessa data são, ver Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Resumo critérios seleção e avaliação.
(Adaptado de (Dickson, 1966))

1. Preço, incluído descontos e custo de transportes;
2. Qualidade do produto, capacidade de o fornecedor empregar sempre de acordo com as especificações do produto;
3. Assistência técnica pós-venda;
4. Qualidade de entrega, capacidade do fornecedor de entrega sempre de acordo com os prazos definidos;
5. Localização;
6. Risco financeiro e rating de crédito do fornecedor;
7. Instalações e capacidade de produção;
8. Histórico de vendas;
9. Capacidade técnica, incluído o departamento de desenvolvimento;
10. Gestão e organização;
11. Previsão de vendas;
12. Sistema de comunicação, incluído o follow-up das encomendas;
13. Sistema de controlo, incluído relatório, qualidade e inventário;
14. Reputação, posição no sector de indústria;
15. Relações laborais;
16. Nível de cooperação, tempo de resposta a novas solicitações e apresentação de soluções;
17. Nível de interesse;
18. Política de garantia e reclamações;
19. Embalamento adequado;
20. Impressão, impacto causado pelo fornecedor em cada interação;
21. Formação;
22. Conformidade processual;
23. Desempenho do fornecedor, quando existe histórico de negócios;

Ainda no mesmo estudo, e com base em 4 casos de estudo, Dickson (1966) determinou qual a importância dada a cada critério como apresentado na Tabela 2.2, no entanto verificou, o nível importância variou de caso em caso.

Tabela 2.2 – Nível de importância critérios seleção e avaliação.
(Adaptado de (Dickson, 1966))

Extrema importância	Qualidade	3.508
Consideravelmente importante	Qualidade de entrega	3.417
	Desempenho do fornecedor	2.998
	Política de garantia e reclamações	2.849
	Instalações e capacidade de produção	2.775
	Capacidade técnica	2.758
	Risco Financeiro	2.545
		2.514
Importantes	Conformidade processual	2.488
	Sistema de comunicação	2.426
	Reputação	2.412
	Nível de interesse	2.256
	Gestão e organização	2.216
	Sistemas de controlo	2.211
	Assistência técnica de pós-venda	2.187
	Nível de cooperação	2.120
	Impressão	2.054
	Embalamento adequado	2.009
	Relações Laborais	20..3
	Localização	1.878
	Histórico de Vendas	1.597
	Formação	1.537
Pouco importante	Previsão de Vendas	0.610

Com o desenvolvimento das indústrias novos critérios foram surgindo, Thanaraksakul e Phruksaphanrat (2009) conduziram um estudo onde reviram 76 artigos científicos que referem os critérios mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Critérios seleção e avaliação.
(Adaptado de (Dickson, 1966))

1. Flexibilidade
2. Inovação
3. Sistemas de qualidade
4. Fiabilidade de produto
5. Relações com o fornecedor
6. Aspetos económicos
7. Responsabilidade socioambiental
8. Índice de segurança
9. Estabilidade política interna
10. Cultura
11. Risco de terrorismo

Num estudo conduzido por Yıldız e Yayla (2015), foram revistos 91 artigos lançados entre 2000 e 2014, onde conclui que os critérios mais referidos neste período são, conforme listado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Novos critérios Seleção referidos entre 2000 e 2014.
(Adaptado de (Dickson, 1966))

Critério	Artigos
Qualidade	74
Capacidade de Entrega	55
Custo	49
Preço	48
Serviço	29
Estado Financeiro	21
Flexibilidade	16
Tecnologia	15
Localização	12
Capacidade Técnica	11

Taherdoost e Brard, (2019), sugerem como critérios de seleção e avaliação a melhoria contínua e a responsabilidade ambiental.

- Melhoria Contínua
- Responsabilidade ambiental
- Confiança
- Planos comerciais

2.5.2 Critérios de desempenho

Outro ponto essencial no processo de compras é a análise do desempenho dos fornecedores após a adjudicação. Este acompanhamento permite identificar a forma como os fornecedores cumprem a suas obrigações, desde a adjudicação até a entrega do produto ou do serviço. É necessário formalizar o registo do desempenho, assegurando que estes dados possam ser utilizados em futuras decisões de seleção.

No mesmo estudo realizado por Dickson (1966), este observou surpreendentemente que apenas um terço das empresas inquiridas mantinham registos sobre o desempenho dos fornecedores, os quais eram então utilizados em seleções subsequentes. A Tabela 2.5 apresenta os critérios principais para a avaliação do desempenho dos fornecedores identificados por Dickson.

Tabela 2.5 – Resumo critérios avaliação do desempenho.
(Adaptado de (Dickson, 1966))

1. Entrega
2. Material defeituoso
3. Prestação de serviços de reparação
4. Prestação de serviços técnicos
5. Prestação de outros serviços

Cavinato *et al.* (2000), sugerem como critérios para a avaliação de desempenho os critérios apresentados na Tabela 2.6, que permitem ampliar a visão do desempenho do fornecedor, incluindo critérios que permitem avaliar a eficiência financeira.

Tabela 2.6 – Critérios adicionais para a avaliação de desempenho.
(Adaptado de (Cavinato *et al.*, 2000))

1. Qualidade de entrega
2. Preço
3. Qualidade do produto
4. Poupanças
5. Tempo de Entrega
6. Reclamações Garantias

A revisão bibliográfica evidencia que o tema da avaliação de fornecedores tem sido amplamente de estudado e analisado na comunidade científica, gerando um consenso quanto aos critérios a serem considerados. Nos estudos realizados por Da Silveira e Pereira (2008), Muhammad e Manarvi (2009), Tan *et al.* (2002) convergem nos critérios apresentados na Tabela 2.7, destacando elementos como a flexibilidade e a confiabilidade no fornecedor.

Tabela 2.7 – Critérios consolidados para a avaliação de desempenho.
(Adaptado de (Da Silveira & Pereira, 2008; Muhammad & Manarvi, 2009; Tan *et al.*, 2002))

1. Entrega
2. Qualidade
3. Flexibilidade
4. Confiabilidade
5. Histórico de Performance
6. Garantias

2.5.3 Classificação de fornecedores

A classificação dos fornecedores com base no seu desempenho ao longo da relação comercial é essencial para a gestão eficiente da cadeia de abastecimento e das relações existentes com os fornecedores. Segundo Cavinato *et al.* (2000) e Johnson *et al.* (2010), os fornecedores podem ser categorizados em diferentes níveis, conforme o desempenho demonstrado e a relação estabelecida.

Condicional: Quando um fornecedor não atinge os padrões mínimos de desempenho esperados. Muitas vezes, trata-se de novos fornecedores para os quais ainda não existem dados suficientes para uma avaliação conclusiva. Nestes casos, as organizações devem os

monitorizar os fornecedores com maior frequência, até que este demonstre um desempenho consistente.

Aprovado: Lista de fornecedores que apresentam um desempenho consistente de acordo com os padrões mínimos estabelecidos. Ou seja, tipicamente cumprem com os requisitos básicos de qualidade, prazos de entrega e de serviço o que considera estes fornecedores parceiros adequados para atender às necessidades operacionais diárias, permitindo que o fornecedor continue a fornecer produtos ou serviços à empresa, mas sem garantia de exclusividade ou preferências adicionais.

Preferencial: São fornecedores que cumprem e como, em muitos casos, superam os termos acordados, demonstrando compromisso com a qualidade, com os prazos de entrega e flexibilidade. Criando assim um histórico de confiabilidade, permitindo estabelecer um relacionamento de longo prazo e oferecer a estes fornecedores uma posição de prioridade em futuras negociações. Tipicamente, nestes casos este tipo relacionamento pode ser marcado pela partilha de informações operacionais que permite que os fornecedores antecipem as necessidades da empresa.

Estratégico/Aliança: Quando os fornecedores assumem uma posição de parceiro estratégico transcendendo os limites de uma relação convencional. Tanto a empresa como o fornecedor partilham informações e colaboram em áreas de gestão de projetos, planeamento de longo prazo, desenvolvimento tecnológico e até mesmo aspetos financeiros. Este tipo de parceria está assente na confiança e compromisso entre ambos, procurando não só o sucesso conjunto, como também a criação de valor e inovação. A aliança estratégica é essencial para projetos que necessitam de cooperação e desenvolvimento contínuo, onde a sinergia entre as partes gera vantagens competitivas.

A classificação dos fornecedores não ajuda só a manter a qualidade e a confiabilidade da cadeia de abastecimento, como permite à empresa priorizar investimentos e esforços em parceiros estratégicos, promovendo assim uma rede de fornecimento mais robusta e resiliente.

2.6 Ferramentas de apoio à Seleção e Avaliação

O estudo de ferramentas de suporte à decisão aplicadas ao tema da seleção e avaliação de fornecedores tem sido amplamente discutido na comunidade científica. Grande parte dos estudos afirma que a seleção e a avaliação de fornecedores são um problema complexo e de multicritério devido à existência de diversos fatores envolvidos na decisão (Ghorabaee *et al.*, 2017).

Sob pena de fazer uma apresentação extensa, no presente documento optou-se por apresentar as técnicas mais comuns, as suas vantagens e desvantagens e também por destacar a lógica difusa como ferramenta particularmente eficaz em contextos de incerteza e subjetividade.

***Data Envelopment Analysis* (DEA)**: É um método de programação linear que tem como propósito comparar a eficiência das alternativas com a eficiência tida como ideal. A DEA identifica o fornecedor mais eficiente através da comparação dos resultados de saída com os valores de entrada (De Boer *et al.*, 2001; Ho *et al.*, 2010).

O método DEA tem como vantagem a capacidade de poder avaliar múltiplos fornecedores em simultâneo com base em múltiplos critérios. Identifica a melhor alternativa por intermedio da comparação com o desempenho relativo dos fornecedores. O facto de não exigir a atribuição de pesos aos critérios de avaliação, evita alguma subjetividade no processo.

Contudo, o DEA também apresenta algumas limitações. O cálculo da eficiência pode ser sensível ao ruído nos dados, o que compromete a precisão dos dados. Outra desvantagem é o facto de depender de uma solução ideal teórica, que pode ser difícil de definir na prática.

***Analytic hierarchy process* (AHP)**: É uma ferramenta amplamente usada na decomposição de problemas complexos em problemas de menores dimensões e mais fáceis de gerir, o que cria uma estrutura hierárquica dos critérios e alternativas associados ao problema, que permite compreender o problema de uma forma mais clara e tomar uma decisão mais objetiva (Ghorabaee *et al.*, 2017; Kheybari *et al.*, 2020; Saaty, 2006, 2008; Siekelova *et al.*, 2021).

As vantagens deste método estão relacionadas com o facto de poder usar diversos critérios qualitativos e quantitativos, facilita a tomada de decisão, mesmo em situações complexas, e oferece uma visão clara e organizada do problema.

Contudo, este método pode tornar-se muito demorado quanto maior for o número de critérios utilizados. A precisão do resultado depende da consistência dos julgamentos feitos pelos decisores. Por vezes, o processo de ponderação pode levar a vieses na avaliação.

***Analytic network process* (ANP)**: O ANP pode ser considerado uma extensão do AHP, contudo em vez de usar uma estrutura hierárquica, o ANP distribui o problema através de uma rede que permite a interdependência dos critérios. Para classificar as alternativas, o ANP utiliza igualmente um sistema de comparações em pares de modo a pedir a importância dos elementos da estrutura (Kheybari *et al.*, 2020; Saaty, 2006).

Tal como o AHP, o ANP tem como vantagens a simplicidade, a flexibilidade e a possibilidade de usar critérios quantitativos e qualitativos. Pelo facto de considerar a interdependência entre critérios a avaliação torna-se mais realista (Ghorabaee *et al.*, 2017; Kheybari *et al.*, 2020).

Por outro lado, o ANP é um processo mais complexo de aplicar em relação ao AHP. Requer mais dados e uma modelagem detalhada para capturar adequadamente as interdependências. O aumento da complexidade é um entrave para a sua aplicação em empresas, principalmente com poucos recursos ou reduzida experiência na modelagem de decisão.

Technique for Order of Preference by similarity to ideal Solution **(TOPSIS):** tem como propósito encontrar a melhor solução alternativa que deve apresentar a distância geométrica, mais curta para a solução ideal e a distância geométrica mais longa da solução ideal negativa. A solução ideal é obtida através da soma de todos os melhores valores que a solução pode tomar e no lado oposto a solução negativa é a soma de todos os piores valores que a solução pode tomar. Então através da comparação das distâncias relativas é possível ordenar as soluções alternativas da menor para a maior distância a solução ideal (Chakraborty, 2022; Ghorabaee *et al.*, 2017; Rahim *et al.*, 2018).

Esta técnica é bastante simples de ser aplicada e interpretada, permite a comparação clara e objetiva entre as alternativas, permite também o uso de dados qualitativos e quantitativos.

Contudo, o TOPSIS é sensível à ponderação de cada critério, o que por norma introduz alguma subjetividade à análise, pois considera que todos os critérios são independentes logo a precisão do seu resultado depende da correta definição da solução ideal e negativa.

Simple multi atribute rating technique **(SMART):** Tem como objetivo a tomada de decisão através da soma dos valores relativos a cada critério, que por sua vez, tem associados uma ponderação que determina o grau de importância na avaliação.

Esta ferramenta tem a vantagem de conseguir lidar com um elevado número de critérios. (Idmayanti *et al.*, 2021; Siregar *et al.*, 2017) Adicionalmente tem a capacidade de lidar com critérios qualitativos e quantitativos e a sua implementação é bastante simples (Rahim & Risawandi, 2016).

No entanto, não considera interações entre critérios, apresenta alguma dependência significativa na subjetividade ao definir a relevância dos critérios. Apesar de ser um sistema capaz de ligar com vários citérios, quanto maior for este número menos intuitiva será a avaliação.

Fuzzy Logic **ou Lógica difusa (LD)**: é uma abordagem que lida com a complexidade e incerteza inerentes aos julgamentos humanos, permitindo expressar uma determinada preferência ou opinião de uma forma não binária. Isto é, em vez de se basear apenas em "Verdadeiro" ou "Falso", a LD trabalha com graus de verdade, tornando-se muito útil em ambientes complexos e incertos (Bevilacqua *et al.*, 2006; Ghorabaee *et al.*, 2017).

A LD é excelente para capturar a incerteza e julgamento humano em processos de avaliação, permite a utilização de dados qualitativos que são difíceis de quantificar com precisão. A LD pode ser combinada com outras técnicas, como AHP, ANP e TOPSIS de forma melhorar a robustez da análise.

A sua aplicação pode ser complexa, requerendo mesmo um software próprio, e a interpretação dos seus resultados pode ser difícil.

Fuzzy Weighted Average (FWA) ou Média ponderada difusa: o FWA é uma simplificação da lógica difusa o que facilita a sua aplicação. O FWA tem como base a agregação dos valores difusos através do cálculo da média ponderada. Com o FWA é possível simplificar o processo de agregação das preferências difusas sem a necessidade de recorrer a modelagem complexa associada à lógica difusa. Tornando assim esta ferramenta bastante atraente para situações com diversos fatores que requerem uma solução rápida e compreensível (Liu & Mendel, 2008; Pavlačka *et al.*, 2017; Simo & Gwét, 2018; Tzeng & Huang, 2011; Van Den Broek & Noppen, 2009).

O FWA é de simples implementação, principalmente quando comparada com outras técnicas difusas mais avançadas. Permite uma fácil interpretação dos resultados, mantendo a capacidade de lidar com incertezas e pelo facto de requerer um software especializado, o FWA pode ser aplicado facilmente.

No entanto, a simplicidade do FWA pode sacrificar parte da robustez associada às restantes técnicas difusas mais complexas. Se estivermos perante um problema altamente complexo e com muita interdependência entre critérios o FWA pode não produzir resultados satisfatórios.

Quando comparadas as ferramentas, todas apresentam vantagens que podem ser as que se procura dependendo da situação. Contudo, quando se trata de lidar com incertezas e subjetividade a LD destaca-se das restantes ferramentas, em particular para processos de avaliação de fornecedores, onde as preferências humanas nem sempre podem ser expressas numa linguagem matemática. Um grande benefício da LD é a sua capacidade de ser combinada com outas ferramentas (AHP, TOPSIS, ANP) melhorando significativamente a robustez dos resultados.

No entanto, a complexidade associada ao LD pode ser um obstáculo na sua implementação. Uma forma de contornar esta complexidade é o uso do FWA, nada mais nada menos, do que uma forma simplificada e eficiente de aplicar a lógica difusa.

Quando se trata de cenários onde dados quantitativos são predominantes, o DEA e TOPSIS são as ferramentas mais adequadas, contudo não conseguem capturar a complexidade humana.

AHP e ANP, são ferramentas flexíveis que podem beneficiar bastante da lógica difusa para lidar com a incerteza em julgamentos comparativos, tornando estes métodos mais aplicáveis em contextos com critérios tanto quantitativos como qualitativos. O FWA também pode ser usado de modo a simplificar o processo de ponderação no AHP, o que resulta num processo de decisão mais ágil.

Apesar das vantagens e desvantagens de cada ferramenta, esta deve ser escolhida de acordo com o contexto específico da decisão, incluindo a complexidade do problema, o tipo de dados disponíveis (qualitativos ou quantitativos), e a necessidade de considerar interdependências entre os critérios. A lógica difusa destaca-se como uma abordagem capaz de capturar a subjetividade dos julgamentos humanos, principalmente quando o contexto não é bem definido.

Além disso o FWA, oferece uma maneira prática e eficaz de aplicar a lógica difusa, simplificando o processo de decisão através do cálculo das médias ponderadas difusas de forma ágil sem exigir um grande poder computacional. Assim o FWA é uma ótima solução para cenários de avaliação de fornecedores onde é necessário um equilibro entre a precisão e a simplicidade.

Assim, a lógica difusa especialmente quando aplicada na forma simplificada FWA, oferece uma abordagem simples para melhorar a flexibilidade e a precisão das decisões, superando as limitações das ferramentas tradicionais que não conseguem lidar adequadamente com incertezas.

3 Lógica Difusa

No presente capítulo pretende-se enquadrar a lógica difusa, começando pela explicação do seu conceito comparando-a com a lógica clássica e explicando de forma detalhada os conjuntos difusos e as suas características.

Posteriormente, é explicada a estrutura de um sistema de inferência difuso e as etapas que o constituem, nomeadamente a fuzzificação, motor de inferência e métodos de defuzzificação.

Este capítulo tem como principal objetivo o de apresentar a lógica difusa, que servirá de base ao modelo proposto no capítulo 4.

3.1 Conceito

De acordo com Nadaban (2021), a lógica é a ciência que estuda o pensamento, que no domínio humano é um processo que envolve dois fatores: informação e emoção. As primeiras pesquisas sobre lógica remontam à Grécia Antiga através do Arístoles[3], onde estabelece que a lógica é bivalente, também conhecida como lógica clássica, isto é, uma afirmação apenas pode ter um valor, verdadeira ou falsa. (Hellmann, 2001; Nadaban, 2021)

Assim sendo, e tendo em consideração o princípio do terceiro excluído, a lógica clássica apenas consegue trabalhar afirmações não ambíguas, como por exemplo, **2 é um número par**, o que é verdadeiro (Nadaban, 2021).

Assim, para a lógica clássica a afirmação **2 é um número par**, apenas tem uma reposta: verdadeiro ou falso. No entanto, quando se trata de afirmações pouco precisas como o **João é Alto** ou **está calor** a reposta pode ser ambígua, isto é, não é uma resposta concreta como verdadeiro ou falso. Com o objetivo de trabalhar este tipo de ambiguidades, Zadeh (1965) propôs a lógica difusa como alternativa para interpretar matematicamente a imprecisão e a subjetividade humana.

[3] Aristoles, 384-322 a.C., importante filosofo grego que teve importante influência na cultura ocidental

Para Hellmann (2001) e Sousa 2016, o facto de a interface destes sistemas ter como base a linguagem natural humana e o conjunto de regras a ser definido a partir do conhecimento humano em muito contribui para a implementação da lógica difusa em ambiente industrial.

Grande parte dos sistemas reais são influenciados por ações humanas que, muitas vezes, se regem por informações não exatas, isto é, o ser humano interpreta estas informações de acordo com os seus critérios de julgamento que por sua vez decide qual a ação a realizar. Assim, através da lógica difusa, é possível transformar este processo de tomada de decisão como uma forma de inteligência que segue um determinado conjunto de regras, que por sua vez tem a capacidade de descodificar a ação inteligente a realizar dentro do sistema. De acordo e de acordo com Sousa 2016, devido à capacidade de obter conclusões a partir de informações vagas, a lógica difusa tem-se destacado como uma ferramenta amplamente utilizada em diversos processos:

- Computação com palavras;
- Supervisão de processos;
- Controlo de processos industriais;
- Robótica e automação;
- Navegação autónoma;
- Modelação de sistemas parcialmente fechados;
- Reconhecimento de padrões;
- Processo de tomada de decisão;
- Gestão de risco.

Em 1965, Zadeh propôs a lógica difusa como uma solução de quantificar um elemento face ao contexto onde se encontra, criando assim, uma linguagem matemática flexível, com capacidade de caracterizar e inferir relações imprecisas, como a linguagem humana (Gallab *et al.*, 2019).

A capacidade de a lógica difusa ser capaz de lidar com informação vaga e de a converter num formato numérico é uma grande vantagem em aplicações que requerem o tratamento de dados qualitativos, permitindo também combinar dados quantitativos (Gallab *et al.*, 2019; Hellmann, 2001; Sousa, 2016).

Por outras palavras, a lógica difusa usa o conceito de verdade parcial, ou seja, compreende que os valores vão do completamente verdadeiro ao completamente falso, enquanto na lógica clássica os valores apenas podem ser verdadeiros ou falsos.

É facilmente demonstrada a diferença entre as duas abordagens. Se considerarmos a afirmação o **João é Alto,** na lógica clássica o João apenas pode ser baixo ou alto, enquanto, na lógica difusa esta decisão é tomada tendo em conta o contexto que o rodeia. Então,

supondo que o João tem 170 cm de altura e que uma pessoa é considerada alta se tiver no mínimo 180 cm, logo de acordo com a abordagem clássica o João é baixo, no entanto, na lógica difusa o João pode ser considerado parcialmente alto, como ilustrado na Figura 3.1.

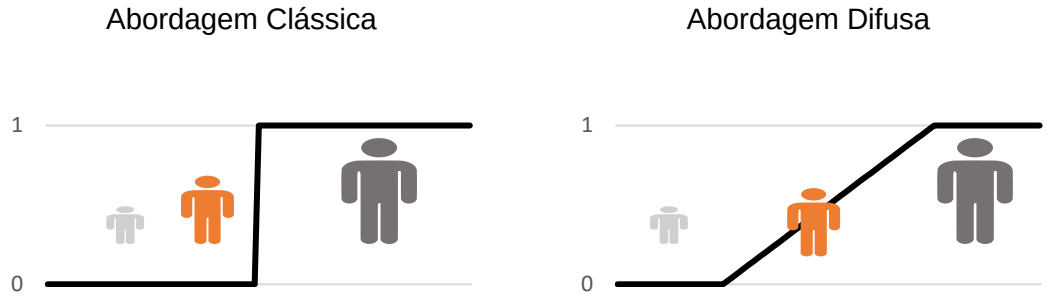

Figura 3.1 – Abordagem clássica vs Abordagem difusa.
(Adaptado de (Simões & Shaw, 2007))

3.1.1 Conjuntos Difusos

Os conjuntos são uma extensão dos conjuntos clássicos, permitindo representar incerteza e imprecisão de forma matemática. Em vez de uma pertença rígida (verdadeiro ou falso), os conjuntos difusos atribuem graus de pertença aos elementos, variando entre 0 e 1. Esse conceito é crucial para o entendimento dos sistemas difusos, que se baseiam na lógica difusa para lidar com situações de indefinição.

Um conjunto difuso é caracterizado por uma função de pertença que mapeia os elementos de um determinado universo com o grau de pertença correspondente (Yen, 1999).

De acordo com Zadeh (1965), um conjunto difuso é uma classe de objetos com graus de pertença contínuos, caracterizado por uma função de pertença que associa a cada objeto a um grau de pertença.

Então, sendo X um conjunto de objetos ao qual chamamos de universo onde os seus elementos são representados por x. Logo, um subconjunto difuso A de X é definido por uma função de pertença $f_A(X)$, que relaciona cada elemento x em X a um número real no intervalo [0,1], conforme ilustrado na Figura 3.2 (Hellmann, 2001).

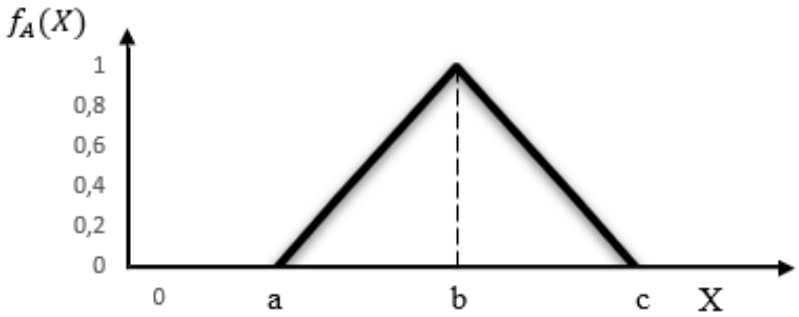

Figura 3.2 – Representação gráfica de um conjunto difuso triangular.
(Fonte: Elaboração própria)

Admitindo uma função triangular, onde $x, a, b, c \in R$. Um conjunto difuso triangular é um conjunto difuso A em R, onde $f_A: R \rightarrow [0,1]$, em que a sua função de pertença pode ser expressa pela equação 3.1.

$$f_A(X) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & caso\ contrário \end{cases} \quad (3.1)$$

Assim, a expressão A = (a,b,c) representa a função de pertença triangular correspondente a um determinado conjunto difuso. Onde, por sua vez, o parâmetro 'b' representa o valor máximo, ou seja, $f_A(b) = 1$ e os parâmetros 'a' e 'c' definem os limites inferior e superior.

3.1.2 Funções de pertença

As funções de pertença definem de que forma cada elemento de um universo pertence a um determinado conjunto. Pelo que um conjunto difuso é um conjunto que é definido com base nestas funções de pertença (Hellmann, 2001; Yen, 1999; Zadeh, 1965).

Cada elemento de um conjunto difuso tem um valor ou grau de pertença no intervalo compreendido entre zero e um, permitindo assim uma transição gradual do estado de não verdade para verdade absoluta. A função em si pode ter um formato arbitrário, que está dependente do ponto de vista, rapidez e eficiência pretendida. Dessa forma as funções de pertença mais comuns são: triangulares, trapezoidais e gaussianas (Simões & Shaw, 2007; Sousa, 2016; Zimmermann, 2001).

Apesar das diferentes representações possíveis, de acordo com vários autores, a função de pertença triangular é amplamente usada devido à sua facilidade de implementação e à sua eficiência computacional (Simões & Shaw, 2007; Sousa, 2016; Zimmermann, 2001).

- **Funções de pertença triangulares e trapezoidais**

São funções mais simples compostas por linhas retas e geradas com facilidade. Sendo a função triangular mais simples pelo facto de apenas ser representada por três pontos, como ilustrado anteriormente na Figura 3.2, em vez de quatro no caso das trapezoidais, conforme ilustrado na Figura 3.3.

A função de pertença trapezoidal pode ser expressa pela equação 3.2.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b}, & c \leq x \leq d \\ 0, & caso\ contrário \end{cases} \quad (3.2)$$

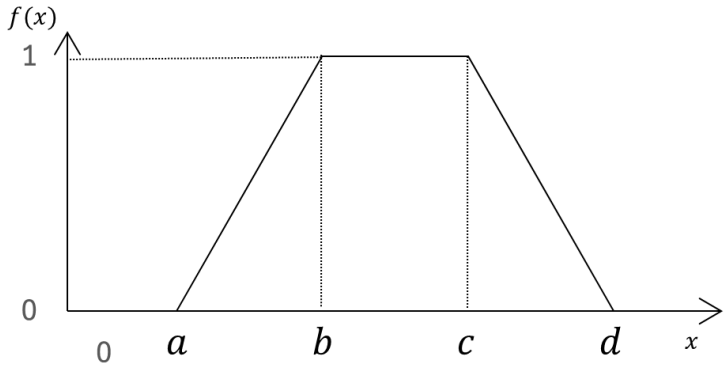

Figura 3.3 – Representação gráfica de uma função de pertença trapezoidal.
(Fonte: Elaboração própria)

- **Funções de pertença gaussiana**

Devido à sua suavidade e notação concisa, as funções de pertença gaussianas são populares para a especificações de conjuntos difusos de elevada importância e onde é necessário garantir transições suaves. As funções gaussianas permitem uma progressão mais suave e não ter pontos nulos, conforme ilustrado na Figura 3.4.

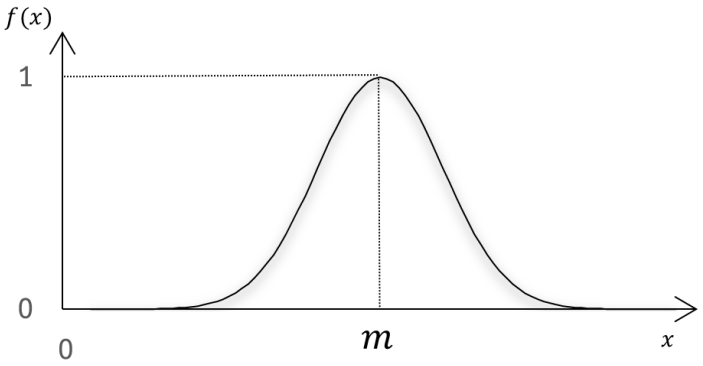

Figura 3.4 – Representação gráfica de uma função de pertença gaussiana.
(Fonte: Elaboração própria)

A função de pertença gaussiana é dada equação 3.3.

$$f(x) = \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] \tag{3.3}$$

3.1.3 Operações entre conjuntos difusos

A teoria dos conjuntos difusos, introduzida por Zadeh, permite realizar operações entre conjuntos difusos, semelhantes às operações com conjuntos clássicos, mas adaptadas para lidar com a incerteza e com os graus de pertença típicos da lógica difusa. Estas operações são fundamentais para o funcionamento de sistemas baseados na lógica difusa, como controladores e modelos de decisão, pois possibilitam combinar e manipular informações incertas ou subjetivas (Simões & Shaw, 2007).

Assim de acordo com Zadeh (1965), a partir das operações definidas como a intersecção, união e complemento, é possível a construção de conjuntos difusos a partir de dois ou mais conjuntos disponíveis.

- Interseção

A operação de interseção entre dois conjuntos difusos A e B determina o grau de pertença comum de um elemento entre os dois conjuntos. Na lógica difusa a interseção corresponde ao valor mínimo de cada grau de ambos os conjuntos e pode ser obtida a partir da equação 3.4, como ilustrado na Figura 3.5:

$$f_{A\cap B} = \min\left[f_A(x); f_B(x)\right] \tag{3.4}$$

Onde $f_A(x)\ e\ f_B(x)$ são as funções de pertença dos conjuntos A e B.

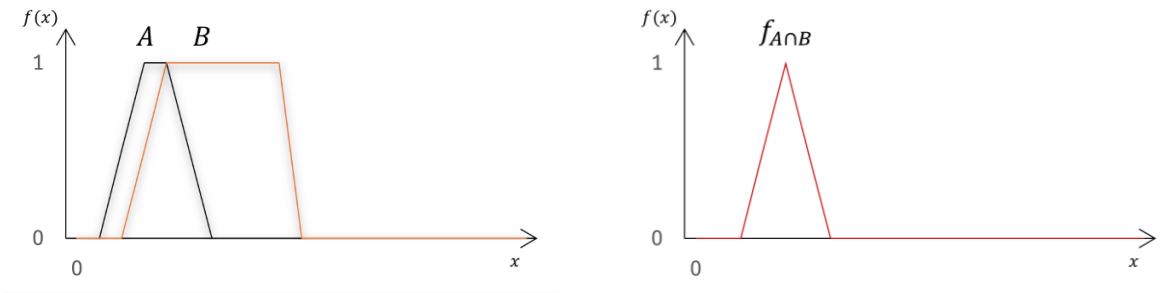

Figura 3.5 – Representação gráfica da operação de intersecção.
(Fonte: Elaboração própria)

- União

A operação de união verifica se um elemento pertence pelo menos a um dos conjuntos difusos A e B, que será correspondente ao valor de maior grau de pertença comum. Na lógica difusa a união corresponde ao valor máximo de cada grau de ambos os conjuntos e pode ser obtido a partir da equação 3.5, como ilustrado na Figura 3.6:

$$f_{A\cup B} = \max\left[f_A(x); f_B(x)\right] \tag{3.5}$$

Onde $f_A(x)\ e\ f_B(x)$ são as funções de pertença dos conjuntos A e B.

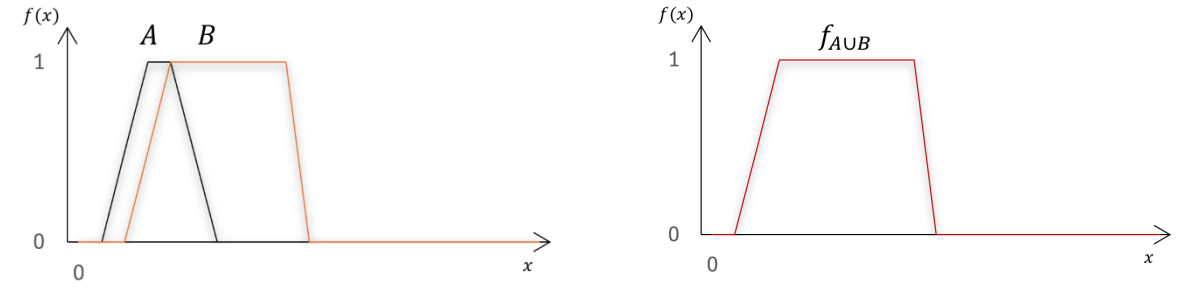

Figura 3.6 – Representação gráfica da operação de união.
(Fonte: Elaboração própria)

- Complemento

O complemento de um conjunto difuso representa o grau de não pertença de um elemento no conjunto. Isto é, o complemento é a diferença entre o grau de pertença total e o grau de pertença de um determinado elemento. Na lógica difusa o complemento pode ser obtido a partir da equação 3.6, como ilustrado na Figura 3.7:

$$f_{A'} = 1 - f_A(x) \tag{3.6}$$

Onde $f_A(x)$ é a função pertença do conjunto A.

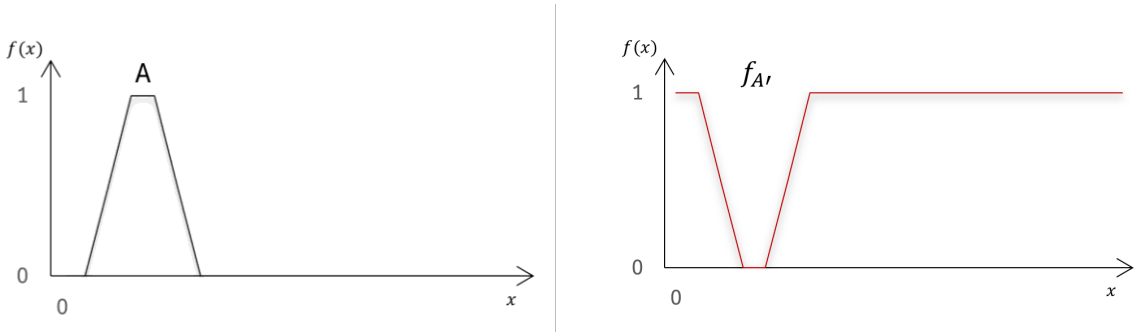

Figura 3.7 – Representação gráfica da operação de complemento.
(Fonte: Elaboração própria)

Operações aritméticas entre conjuntos difusos

De acordo com o princípio da extensão, introduzido por Zadeh (1975), outro conceito fundamental na teoria dos conjuntos difusos, é possível realizar as operações matemáticas clássicas em conjuntos difusos. Isto é, permite que operações como adição, subtração, multiplicação e divisão sejam aplicadas em números difusos (Tzeng & Huang, 2011; Yasin Al *et al.*, 2016).

Considerando $A_1 = (a_1; b_1; c_1)$ e $A_2 = (a_2; b_2; c_2)$, dois conjuntos triangulares difusos e de acordo com o princípio da extensão, as operações aritméticas de adição subtração, multiplicação e divisão são definidas de acordo com as equações 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10.

- Adição:

$$A_1 + A_2 = (a_1; b_1; c_1) + (a_2; b_2; c_2) = (a_1 + a_2; b_1 + b_2; c_1 + c_2) \tag{3.7}$$

- Subtração:

$$A_1 - A_2 = (a_1; b_1; c_1) - (a_2; b_2; c_2) = (a_1 - a_2; b_1 - b_2; c_1 - c_2) \tag{3.8}$$

- Multiplicação:

$$A_1 \; x \; A_2 = (a_1; b_1; c_1) \; x \; (a_2; b_2; c_2) = (a_1 \; x \; a_2; b_1 \; x \;\; b_2; c_1 \; x \; c_2) \tag{3.9}$$

- Divisão:

$$A_1 \div A_2 = (a_1; b_1; c_1) \div (a_2; b_2; c_2) = (a_1 \div a_2; b_1 \div b_2; c_1 \div c_2) \qquad (3.10)$$

3.1.4 Variáveis linguísticas

As variáveis linguísticas são variáveis que permitem expressar conceitos vagos ou subjetivos em termos compreensíveis, são variáveis cujos valores são expressos em termos de palavras ou frases. O uso deste tipo de variáveis na lógica difusa permite que seja possível lidar com as incertezas e imprecisões de um dado sistema. Cada valor de uma variável linguística é representado por um conjunto difuso que define a sua faixa de valores numéricas aos quais a expressão se refere (Zadeh, 1975).

As variáveis linguísticas pretendem descrever os conjuntos difusos através de termos linguistas como: alto, baixo (Hellmann, 2001). A associação entre um conjunto difuso e as variáveis linguísticas tem como vantagem o facto de facilitar a transmissão de conhecimento, sendo que por norma os termos usados são de fácil compreensão (Yen, 1999).

Como exemplo, uma variável linguística pode ser “temperatura”, cujo seus termos podem ser “frio”, ameno” e “quente”. Estes Termos não correspondem a um valor único e exato, mas sim a intervalos de valores, um conjunto difuso, que definem as suas faixas da variação, como ilustrado na Figura 3.8.

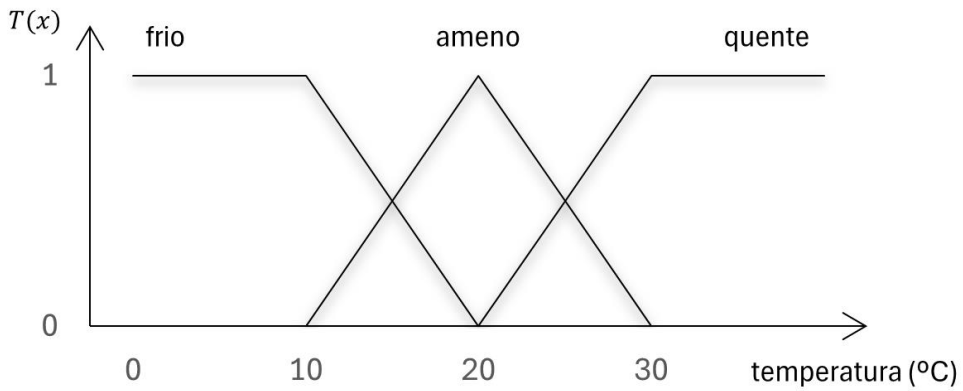

Figura 3.8 – Representação gráfica da variável linguística Temperatura.
(Fonte: Elaboração própria)

Assim sendo, uma variável linguística é caracterizada por:

- x: nome da variável;
- T(x): conjunto de termos;
- U: universo de Discurso;
- G: regra sintática para gerar os valores de x como composição de termos de T(x);
- M: regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto difuso U.

Seguindo exemplo anterior, ilustrado na Figura 3.8, tem-se:

- x: temperatura;
- T(x): {frio, ameno, quente};
- U: 0ºC a 50ºC;
- G: regra que gera a variável temperatura, relacionando termos como "frio" e "quente" com o intervalo de 0°C a 50°C;
- M: regra semântica que associa os valores do intervalo numérico às categorias linguísticas, utilizando funções de pertença para definir, por exemplo, o quanto 25°C pertence ao conjunto "ameno" ou "quente".

Ou seja, os valores de uma variável linguista são expressos como frases numa linguagem específica e compostos a partir de termos primários como alto, baixo, pequeno, médio, grande e de modificadores como muito, pouco, levemente ou extremamente. Esses termos permitem uma interpretação mais próxima da forma como os seres humanos percebem e descrevem o mundo ao seu redor.

Dessa forma, a função principal das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para a caracterização de situações complexas ou vagas. Em vez de depender em exclusivo de valores numéricos precisos, as variáveis linguísticas permitem abordar de uma forma mais intuitiva os problemas subjetivos ou indefinidos. Assim é possível analisar sistemas complexos através de termos que fazem mais sentido para os humanos, mas que podem ser tratados matematicamente por meio de métodos da lógica difusa. Desta forma, os modelos desenvolvidos conseguem lidar eficazmente com as variações e incertezas do mundo real, convertendo-as em dados utilizáveis para tomadas de decisão.

3.2 Sistemas inferência difuso

Um sistema inferência difuso (*Fuzzy Inference System* - FIS) é um modelo matemático baseada na lógica difusa para processar dados vagos e determinar ações de forma semelhante ao raciocínio humano. O FIS é o processo que avalia as entradas difusas com o objetivo de obter as conclusões, utilizando a teoria de conjuntos difusos e com base em regras estabelecidas (Assi Marro *et al.*, 2000).

A arquitetura de um FIS é composta por três etapas principais: entrada dos conjuntos difusos, processamento ou sistema de inferência, e a saída ou defuzzificação, como apresentado na Figura 3.9 (Simões & Shaw, 2007; Zimmermann, 2001).

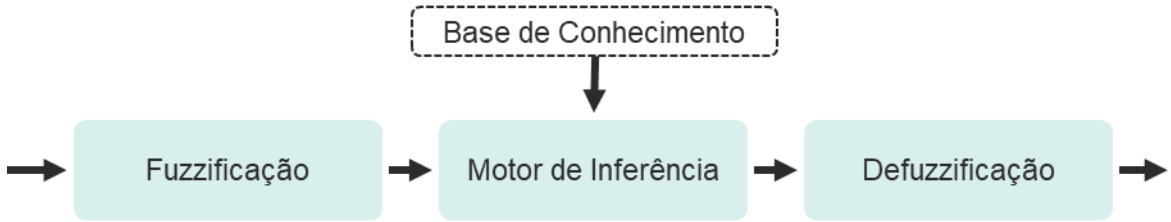

Figura 3.9 – Arquitetura de um sistema difuso.
(Fonte: Elaboração própria)

Na primeira etapa, os dados de entrada são, quando necessário, convertidos em conjuntos difusos através do processo de fuzzificação permitindo a utilização dos termos linguísticos imprecisos. Em seguida, os conjuntos difusos são processados no sistema de inferência com base nas regras previamente definidas para modelar o comportamento esperado do sistema. Na etapa final, a defuzzificação, os resultados difusos são convertidos para valores numéricos precisos, dando uma reposta clara e utilizável ao problema em questão (Simões & Shaw, 2007; Zimmermann, 2001).

3.2.1 Fuzzificação

Os valores de entrada são geralmente provenientes de sistemas discretos, logo são valores precisos, assim sendo, estes valores precisam de ser transformados em conjuntos difusos para que possam ser trabalhados no motor de inferência de acordo com a base de conhecimento.

O processo de fuzzificação é o primeiro passo de um sistema difuso, onde as variáveis de entrada numérica (precisas), são transformadas em valores linguísticos difusos. Ou seja, de modo ao sistema ser capaz de lidar com a incerteza e imprecisão, este processo traduz variáveis quantitativas como altura ou velocidade, em termos qualitativos, como alto ou rápido (Simões & Shaw, 2007).

Assim, na fuzzificação cada valor de entrada é associado a um ou mais conjuntos difusos, (como baixo, médio ou alto), atribuindo-lhe o grau de pertença que varia entre 0 e 1. O grau de pertença representa o quanto o valor da entrada está associado a um determinado conjunto, contudo, um valor de entrada pode pertencer parcialmente a vários conjuntos em simultâneo. Este processo prepara as variáveis para serem usadas nas regras de inferência difusa, permitindo que o sistema funcione de forma flexível e imite o raciocínio humano.

Por exemplo, se admitirmos a temperatura de 22ºC, de acordo com a variável linguista usada como exemplo anteriormente, esta pode pertencer simultaneamente ao conjunto difuso ameno e quente, como ilustrado na Figura 3.10.

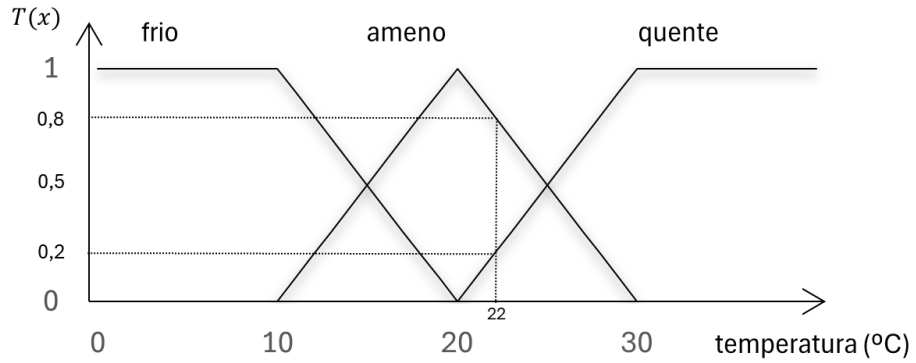

Figura 3.10 – Exemplo do grau de pertença para temperatura de 22 ºC.
(Fonte: Elaboração própria)

3.2.2 Base de Conhecimento

Para Assi Marro *et al.* (2000), Simões e Shaw (2007) a base de conhecimento representa o modelo que se pretende controlar, que consiste numa base de dados, nas variáveis linguísticas, e num conjunto de regras difusas. A base de dados permite então associar as entradas numéricas às funções de pertença usadas para cada conjunto difuso, por exemplo a temperatura de 22ºC é amena. Por sua vez, o conjunto de regras difusas permitem caracterizar os objetivos de controlo e estratégias de controlo definidas pelos especialistas da área.

As regras difusas são declarações lógicas usadas para operar corretamente conjuntos difusos, com o objetivo de estabelecer a relação entre as entradas e as saídas do sistema difuso. Tipicamente estas regras são semelhantes às regras condicionais "Se...Então…" usadas na lógica clássica. Estas regras são criadas a partir de um raciocínio coerente com o propósito de permitir a tomada de decisões com base nas informações imprecisas. As regras difusas podem ser representadas da seguinte forma:

Se condição **Então** resultado

O processo de avaliação destas regras encontra-se dividido em duas etapas:

1. Avaliação a condição (antecedente);
2. Aplicar o resultado (consequente).

O antecedente é a condição que define o estado do sistema. A condição é formulada pelas variáveis linguísticas que permitem que as variáveis de entradas sejam expressas de forma subjetiva. Por sua vez o consequente é o resultado difuso que será aplicado caso a condição seja satisfeita.

3.2.3 Motor de Inferência

O motor de inferência é essencial num sistema difuso, é responsável pela aplicação das regras difusas nos conjuntos difusos de entrada e por produzir as saídas tendo em consideração a base de conhecimento.

De acordo com a literatura, existem diversos sistemas de inferência, no entanto, os métodos de Mamdani e Takagi-Sugeno são dos mais aplicados (Czabanski *et al.*, 2017; Yen, 1999).

O método de Mamdani é bastante simples e tem por base uma estrutura de operações e intersecção e união e com regras de inferência do tipo "Se… Então…" (Czabanski *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2022).

Por sua vez, o método de Takagi-Sugeno, também é bastante simples de se usar, que tem como saída uma função linear ou constante, em vez de um conjunto difuso. As regras são também do tipo "Se… Então…", mas a decisão tem o formato de uma função linear. Como por exemplo, considerando a temperatura interior e exterior de uma casa, a regra é dada da seguinte forma:

Se a Tint é baixa e Text é fria **Então** potência do aquecedor $P = 2Tint + 3Text + 2000$

No entanto, como alternativa é possível aplicar a média ponderada difusa, a FWA, que combina os princípios da lógica difusa com a agregação ponderada, facilitando a tomada de decisão quando há múltiplos critérios com diferentes níveis de relevância. Esta abordagem é especialmente útil quando os critérios são imprecisos e é necessário considerar a sua importância relativa para determinar o resultado (Liu & Mendel, 2008; Pavlačka *et al.*, 2017; Simo & Gwét, 2018; Tzeng & Huang, 2011; Van Den Broek & Noppen, 2009).

Um FIS baseado no FWA oferece maior simplicidade e uma aproximação mais intuitiva ao agregar as entradas difusas de acordo com a sua relevância. Adicionalmente, o processo de inferência é mais direto quando comparado com os processos baseados em regras de inferência. No FIS são aplicadas operações de agregação nos conjuntos difusos até se obter um único conjunto difuso, como representado na Figura 3.11 (Dissanayake, 2015; Rosanisah *et al.* 2017).

Sendo A_i o valor de pertença difuso e W_i o peso associado à entrada, o resultado da FWA pode ser obtido segundo a equação 3.11 (Dissanayake, 2015; Rosanisah *et al.*, 2017; Simo & Gwét, 2018; Tzeng & Huang, 2011).

$$.FWA = \frac{\sum_{k=1}^{n}(W_i \, x \, A_i)}{\sum_{k=1}^{n}(W_i)} \tag{3.11}$$

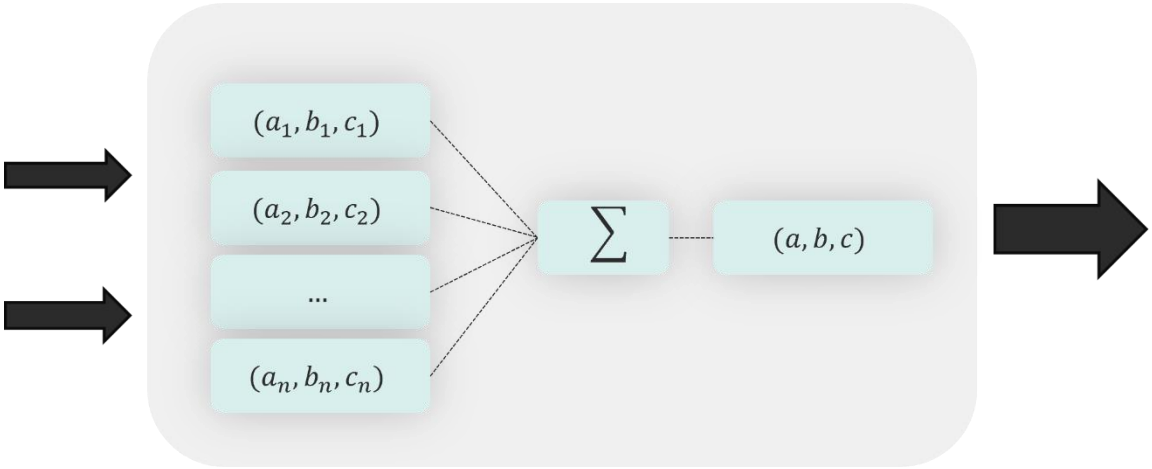

Figura 3.11 – Agregação de conjuntos difusos.
(Fonte: Elaboração própria)

Existem diferentes formas de implementar um motor de inferência que estão dependentes da necessidade de aplicação. Como apresentado na Tabela 3.1, o método de Mamdani é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e à sua proximidade com o raciocínio humano, enquanto o método de Takagi-Sugeno é preferido em sistemas de controlo e modelação devido à sua eficiência e precisão. A FWA, por sua vez, oferece uma abordagem simplificada e intuitiva, especialmente útil quando se trabalha com múltiplos critérios e diferentes níveis de relevância.

A escolha do método depende dos objetivos específicos do sistema, como a precisão exigida, a necessidade de respostas rápidas e a natureza das variáveis envolvidas.

Tabela 3.1 – Comparação entre os métodos de inferência.
(Fonte: Elaboração própria)

Método	Saída	Complexidade Computacional	Aplicação	Vantagens
Mamdani	Conjunto Difuso	Alta	Controlo de processos	Raciocínio semelhante ao humano
Takagi-Sugeno	Função Linear/Constante	Moderada	Controlo automático de modelação matemática	Maior precisão e eficiência
FWA	Média Ponderada Difusa	Baixa	Agregação difusa com múltiplos critérios	Simplicidade e adequado a citérios imprecisos

3.2.4 Defuzzificação

A etapa de defuzzificação consiste na conversão do valor resultante do conjunto difuso num valor discreto. Com o objetivo de determinar um valor numérico que represente, da forma mais adequada, os valores difusos inferidos a partir dos vários conjuntos de entrada (Simões & Shaw, 2007; Sousa, 2016).

A escolha do método defuzzificação tem de considerar sempre o objetivo para o qual se está a desenvolver o sistema. Os principais métodos de defuzzificação são:

- Centro de Área (CoA – *Center of Area*);
- Centro de Máximos (CoM – *Center of Maximum*);
- Média dos Máximos (MoM – *Mean of Maximum*);
- Primeiro ou Último Máximo (FM – *First Maximum* ou LM – *Last Maximum*).

1. Centro de Área (CoA)

O método CoA é amplamente usado em sistemas difusos para encontrar o valor defuzzificado. Este método calcula o ponto médio da área sob a curva do conjunto difuso, que é obtido através da média ponderada de todos os valores do conjunto, considerando o grau de pertença, proporcionado uma representação mais precisa do conjunto de saída.

Por outra palavras, o CoA calcula o centro de massa da área composta resultante da união de toda as contribuições de regras. Esta área é obtida pela agregação dos consequentes de todas as regras, e o seu centro de massa é calculado pela equação 3.12, valor esse que divide a área em duas partes iguais e como explicitada a Figura 3.12.

$$CoA = \frac{\sum_{K=1}^{N} \mu_c(z_k) \times z_k}{\sum_{K=1}^{N} \mu_c(z_k)} \tag{3.12}$$

Quando se trata de funções de pertença triangulares o seu centro de área pode ser dado pela expressão 3.13 (Sandeep *et al.*, 2011).

$$iD = \frac{a+b+c}{3} \tag{3.13}$$

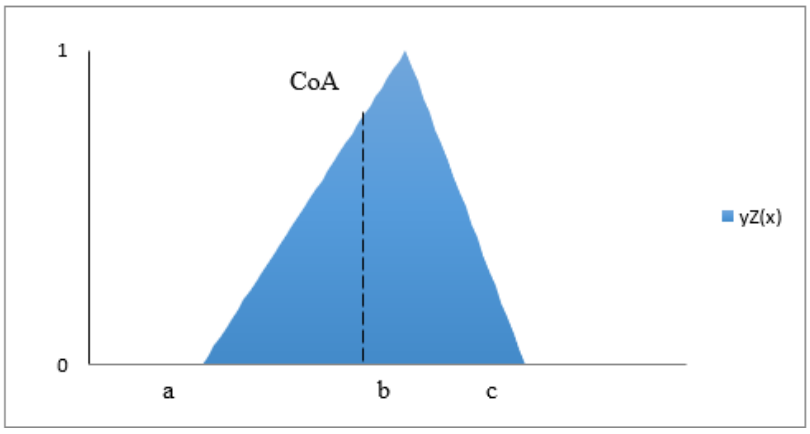

Figura 3.12 – Representação do CoA de um conjunto difuso.
(Fonte: Elaboração própria)

2. Centro de Máximos (CoM)

O CoM, também conhecido por método das alturas, concentra-se apenas nos picos da função de pertença, ignorando o resto da área difusa. Ao considerar apenas aos valores máximos da

função de pertença, o CoM calcula a média ponderada das alturas, cujo o peso é o resultado da inferência, conforme a equação 3.14.

$$CoM = \frac{z_k x \sum_{K=1}^{N} \mu_c(z_k)}{\sum_{K=1}^{N} \mu_c(z_k)} \quad (3.14)$$

Este método é de fácil aplicação, contudo é menos representativo da função pertença total, visto que uma parte significativa da área difusa é ignorada.

3. Média de Máximos (MoM)

O MoM determina o valor de saída tendo apenas em consideração os valores que atingem o máximo da função de pertença. Com contrário do CoM, que pondera os valores máximos, o MoM calcula média simples de todos os valores de saída que correspondem ao valor máximo da função de pertença. O MoM pode ser calculado pela equação 3.15.

$$MoM = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^{N} z_k \quad (3.15)$$

Este método é bastantes simples e eficiente, contudo não é adequado para sistemas onde se pretenda considerar a distribuição de todos os graus de pertença.

4. Primeiro ou Último Máximo

O método dos máximos consiste em selecionar o valor correspondente ao ponto onde a função de pertença atinge o seu valor máximo no conjunto difuso e saída. Existem duas formas de determinar este valor, escolhendo o primeiro ou último máximo. O objetivo é simplificar a saída difusa para um único valor discreto que melhor represente o resultado.

4 Modelo de avaliação proposto

O processo de avaliação de desempenho de fornecedores é fundamental para a gestão eficaz da cadeia de abastecimento, especialmente em sectores da indústria altamente exigentes como o aeroespacial. Com o objetivo de manter níveis altos de qualidade, de pontualidade e de competitividade, é necessário monitorizar continuamente os fornecedores com base em critérios rigorosos. No entanto, este processo pode tornar-se complexo, uma vez que pode considerar um vasto conjunto de fatores, como o custo, a qualidade e a confiança (Ivan & Lucia, 2013; Mocenco, 2015).

Avaliar fornecedores de uma forma integrada é uma tarefa complexa, tendo em conta a multiplicidade de critérios inerentes a este processo. Deste modo, neste capítulo é apresentada uma proposta conceptual de um modelo de avaliação do desempenho de fornecedores, onde o principal objetivo deste modelo foi desenvolver uma abordagem que permita uma análise sistemática e eficiente dos fornecedores. O modelo proposto foi construído de modo a lidar com aspetos subjetivos, oferecendo uma maior flexibilidade para lidar com a incerteza associada aos processos de avaliação.

Como descrito no segundo capítulo, existem várias ferramentas que podem ser aplicadas na construção e nos modelos de avaliação de fornecedores. Não obstante, outro detalhe importante é o facto deste tipo de modelos ter como base critérios quantitativos. Adicionalmente, é necessário compreender o meio onde a ferramenta será aplicada, que tipos de dados podem ser usados neste processo, assim como a qualidade do mesmo.

Assim sendo, e como desafio adicional ao objetivo proposto, é necessário garantir que o modelo seja capaz de lidar com um conjunto de dados inconsistentes, dependentes do fator humano, que seja de fácil computação e dinâmico ao ponto de ser possível modificar os critérios a avaliar, assim com a sua importância relativa.

No sentido de responder aos desafios inerentes da avaliação de fornecedores e da realidade envolvente, o modelo desenvolvido tem como base o uso da lógica difusa, especificamente com a aplicação do método de agregação FWA. Com a lógica difusa, através do uso de

conjuntos difusos, é possível representar o desempenho dos fornecedores em vários critérios permitindo uma avaliação mais flexível e precisa. Adicionalmente, a lógica difusa possibilita uma maior precisão, especialmente na representação de critérios subjetivos, como a qualidade percecionada ou a confiança, que dificilmente são capturados por modelos quantitativos (Hellmann, 2001; Yen, 1999).

Adicionalmente, o modelo propõe uma ponderação diferenciada para cada critério, refletindo a importância relativa de fatores como a qualidade, o custo e o prazo de entrega, resultando numa avaliação mais justa e balanceada dos fornecedores. A aplicação da lógica difusa neste contexto melhora a capacidade da empresa de selecionar os melhores parceiros de negócios, reduzindo riscos e otimizando resultados.

4.1 Modelo Proposto

O modelo de avaliação proposto é um modelo multicritério assente na lógica difusa, visto que o principal objetivo do presente documento é desenvolver uma abordagem capaz de incorporar diferentes critérios, tendo em consideração que dependem da subjetividade inerente ao processo de avaliação.

A flexibilidade proporcionada pela lógica difusa permite lidar com a incerteza e imprecisão que são comuns neste tipo de processos, integrando diversos fatores de forma equilibrada.

No sentido de capturar o desempenho dos fornecedores de forma abrangente e considerando os diferentes critérios, o modelo proposto é estruturado com os seguintes elementos essenciais:

1. Estrutura do modelo: Definição de critérios e respetivos atributos;
2. Definição das variáveis linguísticas e funções de pertença;
3. Cálculo dos indicadores de desempenho.

Inicialmente, são definidos os critérios com maior relevância para a avaliação dos fornecedores, que posteriormente são desdobrados em atributos específicos, com o propósito de detalhar as diferentes dimensões de cada critério em avaliação, permitindo uma análise mais detalhada e precisa de cada fornecedor.

Para lidar com a subjetividade e com a incerteza, cada critério é associado a uma função de pertença, que traduz os níveis de desempenho em escalas difusas. O que facilita a interpretação de variáveis subjetivas e imprecisas, transformando-as em valores quantitativos que podem ser utilizados para comparação e tomada de decisão.

Com base nas funções de pertença e nos pesos atribuídos a cada critério e atributo, o modelo calcula os indicadores de desempenho de forma integrada, através do método de agregação

FWA, que combina os diferentes critérios e atributos num único indicador, refletindo o desempenho global do fornecedor, proporcionando uma visão mais completa e equilibrada do desempenho dos fornecedores.

4.1.1 Estrutura do modelo

Na literatura estudada durante a elaboração do presente trabalho, é possível observar uma extensa lista de critérios que podem ser usados no processo de avaliação de fornecedores (Cavinato *et al.*, 2000; Dickson, 1966; Monczka *et al.*, 2009; Thanaraksakul & Phruksaphanrat, 2009; Yıldız & Yayla, 2015).

Critérios como o custo, a qualidade e a entrega são os que mais se destacam na literatura, sendo considerados fundamentais para garantir a competitividade de uma organização. No entanto, estudos mais recentes indicam que critérios como a relação, o suporte pós-venda e comunicação têm tido maior importância (Li *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2018; Rasmussen *et al.*, 2023).

Não obstante, as escolhas dos critérios devem ser sempre feitas de acordo com cada caso em discussão, assim como os objetivos particulares de cada organização. O que implica necessariamente uma abordagem flexível que permita a adaptação dos critérios de acordo com as prioridades de cada organização (Da Silveira & Pereira, 2008).

Assim, de modo a garantir que o modelo proposto seja eficaz e capaz de lidar com diferentes cenários onde a integridade do processo de avaliação não seja comprometida, o modelo está assente numa estrutura de dois níveis (critérios e atributos). No primeiro nível são definidos os critérios gerais que representam o maior impacto no desempenho do fornecedor, no segundo nível são definidos os atributos específicos de cada critério, permitindo uma análise mais detalhada, conforme ilustrado na Figura 4.1.

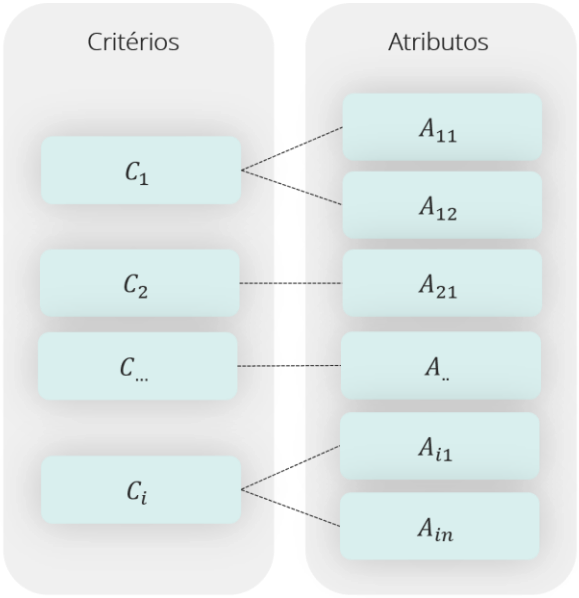

Figura 4.1 – Estrutura do modelo proposto.
(Fonte: Elaboração própria)

A arquitetura proposta permite uma abordagem estruturada e flexível para a avaliação de fornecedores na indústria aeronáutica, permitindo combinar múltiplos critérios e conforme as necessidades específicas de cada organização. Por outro lado, o desdobramento de cada critério em diferentes atributos possibilita uma análise detalhada do desempenho, garantido uma avaliação mais precisa e fundamentada.

Dessa forma, para além de simplificar o processo de avaliação, ao torná-lo mais sistemático e objetivo, o modelo oferece uma flexibilidade que lhe permite adaptar-se a diferentes cenários. Esta capacidade é essencial em ambientes dinâmicos e altamente exigentes como o setor aeronáutico, onde a capacidade de adaptação é um fator crítico para o sucesso de uma gestão eficaz da cadeia de abastecimento.

O modelo incorpora critérios amplamente reconhecidos na indústria, como também é suficientemente flexível para se adaptar às mudanças na estratégia da organização. Esta capacidade de ajuste garante que o modelo permaneça relevante ao longo do tempo, mantendo-se alinhado com a evolução das necessidades e desafios operacionais da empresa.

Assim, de acordo com as referências previamente mencionadas, nos quais o tema da avaliação de fornecedores é amplamente discutido, e em combinação com a experiência prática acumulada no setor aeronáutico, foram sugeridos os seguintes critérios, que têm um impacto significativo no desempenho de cada fornecedor (Li *et al.*, 2021; Lin *et al.*, 2018; Rasmussen *et al.*, 2023):

1. Nível de Serviço;
2. Entrega;
3. Qualidade;
4. Nível de Relação;
5. Custo;
6. Capacidade Técnica;
7. Comunicação.

Definidos os critérios principais, é essencial estabelecer os possíveis atributos correspondentes a cada um, que irão permitir uma análise objetiva de cada critério. A definição destes atributos possibilitará uma avaliação detalhada de cada fornecedor, levando em consideração não apenas fatores técnicos e comerciais, mas também a capacidade de manter relações sólidas e uma comunicação eficiente. Os critérios e os atributos estão representados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Critérios e atributos que influenciam o desempenho de um fornecedor. (Fonte: Elaboração própria)

Critérios	Atributos
Nível Serviço	Nível de Garantia
	Suporte pós-venda
	Apoio-Técnico
	Tempo de reposta
	Serviço de devolução
Entrega	Nível de Stock
	Possibilidade de Exchange
	Entrega dentro do prazo
	Fiabilidade da data estimada
	Cumprimento da data de necessidade
	Flexibilidade em antecipar entregas
	Taxa de comunicação da data de entrega
Qualidade	Número de Reclamações
	Severidade das reclamações
	Qualidade do produto/serviço prestado
	Tempo de reposta
	Taxa de sucata
	Sistema de rastreabilidade
Relação	Cooperação/Disponibilidade
	Histórico
	Descontos (Ou créditos de acordo com o volume)
Custo	Preço Competitivo
	Condições comerciais
	Fiabilidade do custo estimado
	Evolução de preço (Anual)
	Relação qualidade/custo
Capacidade Técnica	Capacidade de ligar com componentes/reparações complexas
	Processos de inspeção avançados e precisos
	Lista de Capacidades (Reparações)
Comunicação	Tempo Geral de Resposta
	Sistema de follow-up

A formulação desses critérios resulta da combinação entre a literatura especializada e a experiência prática no setor, garantindo que os fatores considerados refletem não apenas o conhecimento teórico, mas também as exigências reais do ambiente industrial. Com a integração entre teoria e prática, o modelo torna-se aplicável a contextos dinâmicos e desafiantes, como o da indústria aeronáutica, onde a precisão, a flexibilidade e a capacidade de adaptação são cruciais. Desta forma, assegura-se que o modelo é eficaz em responder às necessidades específicas deste setor, sem descurar a sua complexidade.

4.1.2 Definição das variáveis difusas

Como explicado anteriormente, as variáveis linguísticas permitem lidar com situações ambíguas e dependentes do julgamento humano, isto é incerteza humana, para o qual é difícil

definir uma expressão quantitativa, facilitando a transmissão de conhecimento. No entanto, é importante definir o número de variáveis linguistas a usar.

As escalas de pontuação podem ter vários pontos de medição. As escalas mais curtas, como as de 3 ou 5 pontos, têm a vantagem de ser mais simples e rápidas, o que facilita a compreensão e a escolha. No entanto, o uso de escalas mais curtas tem a desvantagem de não conseguir captar a subtileza de algumas avaliações, levando a respostas mais generalizadas. Contrariamente, as escalas mais longas, como as de 9 ou 10 pontos, oferecem uma maior precisão das respostas o que permite uma diferenciação mais detalhada das repostas. Contudo estas escalas têm a desvantagem de poder sobrecarregar os inquiridos (Alegre *et al.*, 2012).

No mesmo estudo, Alegre *et al.* (2012) recomenda o uso de uma escala de 7 pontos como uma solução equilibrada, de modo a ter a precisão suficiente para captar variações nas respostas, sem comprometer a simplicidade e a clareza. A escolha de 7 pontos permite que o respondente tenha uma gama mais ampla de opções, sem que o processo de decisão se torne excessivamente complexo.

Por essa razão, no presente trabalho, optou-se por uma variável linguística composta por 7 termos, tanto para a avaliação como para os pesos de ponderação. A utilização de 7 pontos assegura que os avaliadores conseguem expressar com maior facilidade o seu nível de satisfação ou perceção, equilibrando a necessidade de detalhe com a facilidade de resposta. Este número também evita os extremos das escalas demasiado curtas ou longas, oferecendo assim um meio-termo ideal para obter dados de qualidade, facilitando uma análise mais precisa e útil para a tomada de decisões.

Com o propósito de capturar os diferentes graus de desempenho, de modo a proporcionar uma transição suave entre classificações, o que se torna bastante útil, onde os avaliadores podem hesitar entre extremos como “muito bom” e “bom”. Por outro lado, este intervalo, também contribui para a robustez do modelo ao garantir que os dados colecionados sejam mais granulares sem sobrecarregar os avaliadores com opções excessivas ou limitá-los com poucas opções.

Desta forma, com base na literatura, considerou-se as seguintes variáveis linguísticas {Muito Bom, Bom, Satisfaz Muito, Satisfaz, Satisfaz Pouco, Insuficiente, Fraco} para avaliar o desempenho, como ilustrado na Tabela 4.2 e na Figura 4.2. Para os fatores de ponderação de cada critério e atributo, foram selecionadas as variáveis {Muito Alto, Alto, Relativamente Alto, Médio, Relativamente Baixo, Baixo, Muito Baixo}, como apresentado na Tabela 4.3 e graficamente na Figura 4.3 (Chou *et al.*, 2007; Sandeep *et al.*, 2011).

Tabela 4.2 – Variáveis linguísticas e funções de pertença para avaliação do desempenho. (Fonte: Elaboração própria)

Avaliação (A)	
Variável Linguísticas	Função de Pertença
Muito Bom (MB)	(90;100;100)
Bom (B)	(70;90;100)
Satisfaz Muito (SM)	(50;70;90)
Satisfaz (S)	(30;50;70)
Satisfaz Pouco (SP)	(20;30,50)
Insuficiente (I)	(0;10;30)
Fraco (F)	(0;0;10)

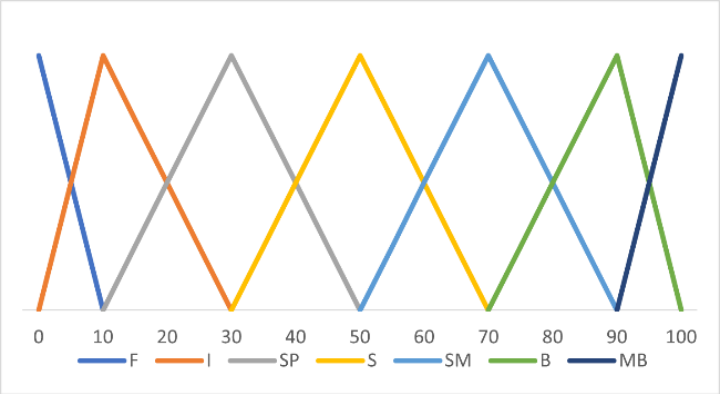

Figura 4.2 – Representação das variáveis linguísticas de avaliação do desempenho. (Fonte: Elaboração própria)

Tabela 4.3 – Variáveis linguísticas e funções de pertença para os fatores de ponderação. (Fonte: Elaboração própria)

Ponderação (W)	
Variável Linguísticas	Função de Pertença
Muito Alto (MA)	(0,9; 0,1; 0,1)
Alto (A)	(0,7; 0,9; 0,1)
Relativamente Alto (RA)	(0,5; 0,7; 0,9)
Médio (M)	(0,3; 0,5; 0,7)
Relativamente Baixo (RB)	(0,2; 0,3, 0,5)
Baixo (B)	(0; 0,1; 0,3)
Muito Baixo (MB)	(0;0; 0,1)

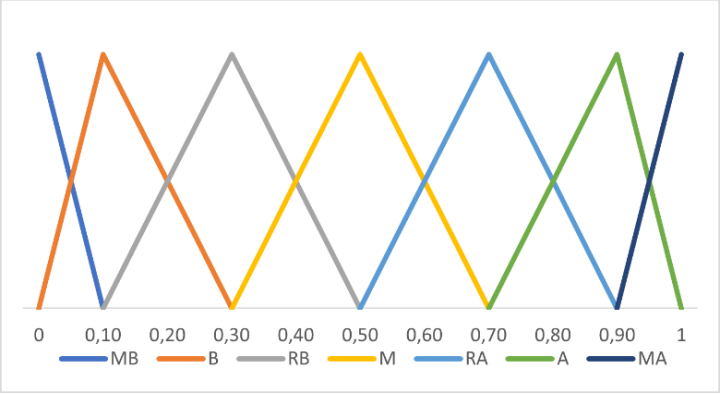

Figura 4.3 – Representação das variáveis linguísticas dos fatores de ponderação. (Fonte: Elaboração própria)

4.1.3 Cálculo dos Indicadores de desempenho

Com base nas equações detalhadas anteriormente, é possível proceder ao cálculo do vetor agregado para cada critério, considerando a ponderação atribuída a cada um dos seus atributos específicos. Esse processo envolve a avaliação de cada atributo individualmente, seguida da agregação desses atributos para formar um vetor representativo de cada critério. A partir da combinação dos vetores ponderados de todos os critérios em avaliação, obtém-se o vetor final, que reflete a avaliação global do desempenho do fornecedor. Esse vetor final é uma representação consolidada do desempenho em diversas áreas, permitindo uma visão abrangente e detalhada da performance do fornecedor no contexto dos critérios estabelecidos, como ilustrado na Figura 4.4.

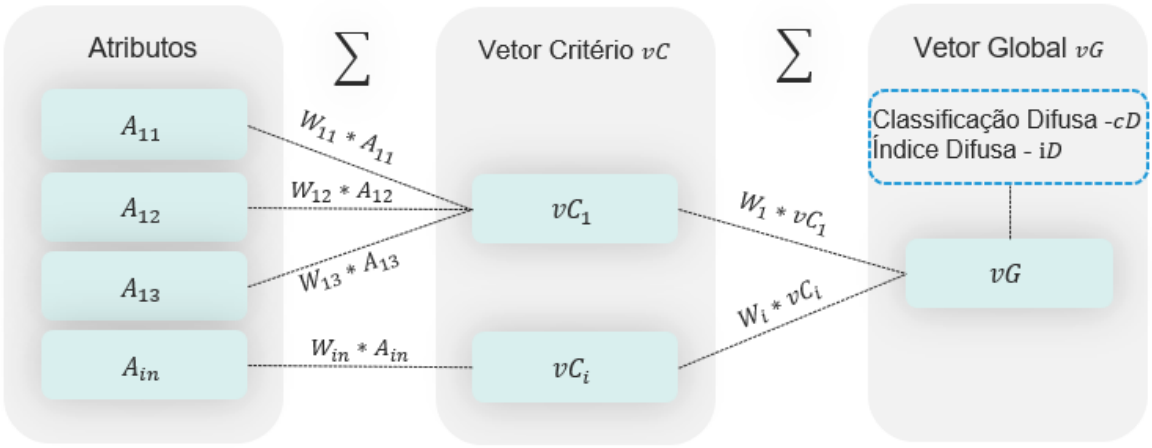

Figura 4.4 – Etapas de cálculo dos vetores agregados, classificação e índice difuso. (Fonte: Elaboração própria)

Vetor difuso agregado de cada critério (vC_i)

Uma vez que cada atributo foi devidamente avaliado, torna-se necessário agrupar todos os atributos associados a um critério em particular num só vetor. Esse vetor é conhecido como o Vetor Difuso do Critério (vC_i), e representa a síntese das avaliações individuais dos atributos pertencentes a um critério específico. De acordo com a equação 3.11, mencionada anteriormente na seção 3.2.2, o cálculo do vetor (vC_i) é feito através da aplicação da equação 4.1, que se apresenta da seguinte maneira:

$$vC_i = \frac{\sum_{k=1}^{n}(W_i n \; x \; A_{in})}{\sum_{k=1}^{n}(W_{in})} \tag{4.1}$$

Onde:

- A_{in}, que representa a avaliação de cada atributo específico dentro do critério em questão. Cada atributo é avaliado individualmente, atribuindo-lhe uma nota que reflita seu desempenho.

- W_{in}, refere-se ao fator de ponderação associado a cada atributo, definido assim a importância relativa de cada atributo dentro do critério. A ponderação permite que certos atributos, considerados mais críticos ou relevantes, tenham um peso maior na composição final do vetor agregado do critério.

O cálculo do vetor difuso agregado para cada critério é, portanto, o resultado da soma ponderada das avaliações dos atributos, ajustada pela soma total dos pesos atribuídos a esses atributos. Isso assegura que o vetor resultante reflita adequadamente a importância e o desempenho relativo de cada atributo.

Vetor difuso Global ($\boldsymbol{vG}$)

Após o cálculo do vetor difuso agregado associado a cada critério, no passo seguinte deve-se calcular o vetor difuso Global (vG) consolidando as informações de todos os critérios avaliados, de forma a proporcionar uma visão completa do desempenho geral do fornecedor. O cálculo do vetor difuso global é feito através da agregação dos vetores ponderados dos diferentes critérios considerados na avaliação. Este processo de agregação é realizado a partir da equação 4.2.

$$vG = \frac{\sum_{k=1}^{n}(W_i \; x \; vC_i)}{\sum_{k=1}^{n}(W_i)} \tag{4.2}$$

Onde:

- vC_i, representa o vetor difuso agregado de cada critério, previamente calculado. Cada critério avaliado possui um vetor agregado que sintetiza as informações dos seus atributos, considerando tanto as avaliações como os fatores de ponderação atribuídos.

- W_i, refere-se ao fator de ponderação associado a cada critério. Assim como os atributos, os critérios são ponderados de acordo com a sua relevância para o cálculo do desempenho global do fornecedor. Assim é possível assegurar que critérios mais críticos resultem num impacto maior no resultado.

O vetor difuso global ($\boldsymbol{vG}$) é, assim, o resultado da soma ponderada dos vetores difusos de todos os critérios, ajustada pelos pesos atribuídos a esses critérios. Este vetor reflete a avaliação global e integrada do fornecedor, considerando todos os critérios relevantes e as suas respetivas ponderações, oferecendo uma visão holística do desempenho.

Classificação difusa ($\boldsymbol{cD}$)

Após o cálculo do vetor difuso agregado vG, o passo seguinte no processo de avaliação de fornecedores envolve a classificação do fornecedor com base nas variáveis linguísticas previamente determinadas. Este processo de classificação é realizado através da

comparação entre o vetor vG e as variáveis linguísticas, utilizando a distância euclidiana entre o centro de área do vetor e os intervalos que definem cada variável linguística. Essas variáveis são classificadas em diferentes níveis de desempenho, conforme apresentado na Tabela 4.4 e ilustrado graficamente na Figura 4.5, que define as categorias de "Excelente", "Bom", "Satisfaz" e "Insuficiente", representadas por funções de pertença triangulares.

Tabela 4.4 – Variáveis linguísticas para classificação difusa do desempenho.
(Fonte: Elaboração própria)

Classificação Difusa	
Variável Linguísticas	Função de Pertença
Excelente (E)	(90;100;100)
Bom (B)	(70;80;90)
Satisfaz (S)	(50;60;70)
Insuficiente (I)	(0;25;50)

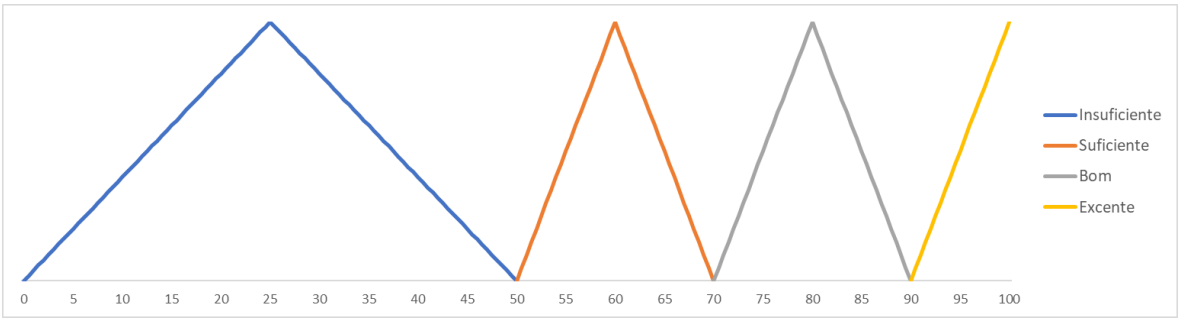

Figura 4.5 – Representação das variáveis linguísticas para a classificação.
(Fonte: Elaboração própria)

A função de pertença, associada a cada variável linguística, representa o nível de desempenho atribuído a cada fornecedor, permitindo assim uma avaliação difusa mais precisa.

Classificar conjuntos difusos é um dos aspetos relevantes nas ferramentas de decisão baseadas na lógica difusa, pois permite ordenar e priorizar opções em situações de incerteza. Desde a introdução da lógica difusa, vários métodos de classificação foram propostos, como o método do centroide, a área delimitada pela função de pertença, ou diversos pontos de interseção entre números difusos e distância entre conjuntos. Os métodos de ordenação difusa realçam uma característica específica de cada número difuso e ordenam-nos com base nessa característica. No entanto, a classificação de números difusos torna-se mais complexa porque diferentes métodos de classificação podem produzir ordens distintas para o mesmo conjunto de números difusos (Rao & Shankar, 2013; Shankar & Rao, 2011).

De modo a classificar cada fornecedor, recorreu-se à distância euclidiana entre o vetor vGe os pontos médios dos intervalos de cada variável linguística. A distância euclidiana é uma medida geométrica que quantifica a diferença entre dois pontos num espaço multidimensional (Shankar & Rao, 2011; Vélez-Falconí *et al.*, 2020). No contexto da avaliação de fornecedores, a distância euclidiana é uma métrica intuitiva e amplamente utilizada, pois reflete de forma

clara a perceção humana de proximidade ou distância entre os valores. A fórmula para o cálculo da distância euclidiana entre dois pontos é dada pela equação 4.3.

$$d\ (vD, C) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2 + (c_2 - c_1)^2]} \tag{4.3}$$

Onde a_1, b_1, c_1 representam as coordenadas vetor vG, e a_2, b_2, c_2 são as coordenadas do vetor de uma das variáveis linguísticas. O cálculo é simples e não exige grande poder computacional, o que o torna adequado para ser utilizado em processos de avaliação que necessitam de rápida execução (Vélez-Falconí *et al.*, 2020). Esta simplicidade matemática, no entanto, é combinada com a robustez da análise difusa, garantindo que o processo seja tanto eficiente quanto detalhado.

Após o cálculo da distância d entre o vetor vG e todas as variáveis linguísticas, a classificação é dada de acordo com a distância menor, isto é, supondo que a distância menor é entre o vetor vG e a variável linguista "Bom ", significa que o fornecedor é avaliado com a classificação de "Bom" quanto ao seu desempenho geral.

Por fim, o próximo passo é calcular o índice difuso, que permite diferenciar fornecedores que possam apresentar a mesma classificação difusa. A introdução do índice difuso é importante, pois possibilita uma discriminação mais fina entre fornecedores, mesmo quando eles pertencem à mesma categoria de desempenho linguístico.

Índice difuso (iD)

O índice difuso (iD) é definido a partir do cálculo do centro de área (CoA) do vetor vG, que representa o ponto médio da área sob a curva da função de pertinência associada ao desempenho do fornecedor. Esse valor é determinado pela média dos valores de a, b e c que compõem o vetor vG, como mostrado na secção 3.2.4 pela na equação 3.13:

$$iD = \frac{a + b + c}{3}$$

Com base no valor de iD, é possível realizar a classificação final do fornecedor, posicionando-o numa escala que reflete o seu desempenho geral. Os fornecedores podem, então, ser ordenados num ranking de desempenho, com base tanto nas suas classificações linguísticas como nos seus índices difusos. Esse processo assegura que os fornecedores com desempenho próximo, mas não idêntico, possam ser diferenciados de forma justa e precisa. Isto é especialmente importante em cenários onde múltiplos fornecedores apresentam classificações similares.

5 Aplicação do modelo proposto

No presente capítulo é apresentada a aplicação, num contexto real, do modelo de avaliação de fornecedores proposto anteriormente, desenvolvido com o propósito de avaliar o desempenho de fornecedores com base em critérios definidos.

A aplicação do modelo tem como objetivo demonstrar a sua eficácia ao proporcionar uma avaliação abrangente do desempenho dos fornecedores, particularmente num ambiente complexo e exigente como o da indústria aeronáutica. Os resultados desta aplicação pretendem demonstrar a capacidade do modelo como uma ferramenta eficaz em processos de tomada de decisão.

5.1 Desafios da avaliação de fornecedores na indústria aeronáutica.

A indústria aeronáutica enfrenta inúmeros desafios no que diz respeito à avaliação do desempenho de fornecedores, particularmente devido à exigente e restrita regulação associadas à natureza deste sector, principalmente relacionados com fatores de segurança e de fiabilidade.

Os desafios enfrentados não se limitam à conformidade com as regulações impostas por agências reguladoras como a EASA[4] e FAA[5], ou normas internacionais como a AS9100[6]. É também essencial garantir que cada componente produzido ou reparado cumpre os rigorosos padrões de segurança e qualidade exigidos no sector. Estes desafios incluem não só a conformidade com normas de segurança e qualidade, mas também a necessidade de inovação e integração tecnológica, a gestão de riscos e resiliência na cadeia de abastecimento, a sustentabilidade e as preocupações ambientais, assim como o equilíbrio entre custo e qualidade (EASA, 2013, 2016, 2018).

[4] EASA: European Aviation Safety Agency.
[5] FAA: Federal Aviation Administration of United States.
[6] AS9100: Norma de gestão aeroespacial EN 9100:2018.

Tendo em conta as especificações associadas à indústria aeronáutica e o risco inerente à sua operação, os fornecedores são obrigados a seguir um conjunto de normas impostas pela regulamentação da EASA, FAA e AS9100. Garantir que os fornecedores cumprem este conjunto de regras/leis de forma consistente é crucial. Os fornecedores não são só avaliados pela qualidade dos seus produtos ou serviços, mas também pela sua capacidade de cumprir os elevados padrões de segurança da indústria. O não cumprimento de uma ou mais normas, apenas uma vez por exemplo, pode resultar em graves penalizações e consequentemente prejudicar a sua operação quer em tempos de planeamento, quer em termos de segurança (Pop *et al.*, 2023).

Sendo a segurança uma prioridade no mundo da aviação, é crucial garantir que os fornecedores têm implementados sistemas eficazes de controlo de qualidade, visto que a margem de erro nesta indústria é extremamente baixa. Os fornecedores têm de ser capazes de entregar produtos em conformidade com os padrões exigidos, requerendo testes rigorosos e certificados. No entanto, segundo Hosseini e Ivanov, (2020) avaliar a capacidade do fornecedor de entregar os diversos produtos livres de defeitos de forma consistente é uma tarefa bastante complexa.

É vital que os fornecedores tenham implementados sistemas que assegurem a rastreabilidade de todos os componentes, desde a matéria-prima até ao produto final. Este requisito adiciona bastante complexidade no momento de avaliação de um fornecedor, pois as organizações devem assegurar que os seus fornecedores tenham implementado um sistema robusto de rastreabilidade e de documentação para lidar com possíveis auditorias (Pop *et al.*, 2023).

A complexidade da rede de abastecimento por si só representa um enorme desafio, pois a indústria aeronáutica depende de uma rede global altamente especializada. Qualquer disrupção, seja causada por eventos geopolíticos, pandémicos ou desgraças naturais, na cadeia de fornecimento tem um elevado impacto no planeamento produção e entregas. Logo a capacidade dos fornecedores para conseguir lidar com este tipo eventos é extremamente importante para garantir o seu bom desempenho (Hosseini & Ivanov, 2020).

Não obstante, o cumprimento das entregas no tempo expectável é crucial, visto que a calendarização da produção ou de execução de serviços é rigidamente coordenada, pelo que qualquer atraso na entrega dos materiais tem impactos significativos quer em custos quer na eficiência da operação. A crescente preocupação ambiental faz com que a pressão em reduzir o impacto ambiental seja cada vez maior. Pelo que, atender a estas expectativas enquanto mantém o seu desempenho e eficiência de custos seja um equilíbrio bastante complexo para os fornecedores (Pop *et al.*, 2023).

Apesar da eficiência de custo ser um requisito importante na avaliação do fornecedor, esta não pode acontecer à custa da qualidade, segurança ou inovação. Assim o equilíbrio entre os

requisitos de alto desempenho com a eficiência de custos é um desafio constante neste sector, onde altos custos e material de alta qualidade podem resultar em poupanças significativas a longo-termo ao reduzir o risco de falhas e de não conformidades.

Estes desafios realçam a necessidade da existência de estruturas multidimensionais para a avaliação dos fornecedores com base em diversos critérios.

5.2 Caracterização da empresa

A empresa onde o modelo de avaliação proposto foi aplicado, conta com mais de meio século de história desde a sua fundação, desempenhado um papel importante no sector da manutenção de componentes aeronáuticos. Ao longo da sua trajetória, consolidou-se como uma referência no mercado, destacando-se pela excelência técnica e pelo compromisso com a qualidade e a segurança, elementos essenciais na indústria aeronáutica. Este legado de confiança e competência faz com que a empresa continue a ser um importante ator no cenário global da manutenção aeronáutica.

A empresa possui um vasto portfolio de serviços de manutenção, que vão desde uma simples reparação de um componente até intervenções mais complexas, como a manutenção de aeronaves ou de motores. A ampla gama de serviços reflete a sua capacidade técnica e flexibilidade para atender às diversas necessidades do setor aeronáutico, garantindo altos padrões de qualidade, de eficiência e de segurança em cada operação.

Não obstante, tal como os seus fornecedores a empresa é obrigada a estar em conformidade com a regulamentação exigida, para tal possui uma série de certificações tais como CAMO (Continuing Airworthiness Management Organization), EASA Part 145, FAA Part 145, ISO 9001:20115, EN 91100:2018, entre outras.

Atualmente, a empresa onde o modelo proposto foi aplicado possui um processo estabelecido com procedimentos a cumprir sempre que é identificada uma necessidade de aquisição ou contratação de um serviço. Este processo é ilustrado de forma simplificada na Figura 5.1. De modo a não expor muitos detalhes apenas é apresentado um fluxograma resumido do processo, destacando os principais passos.

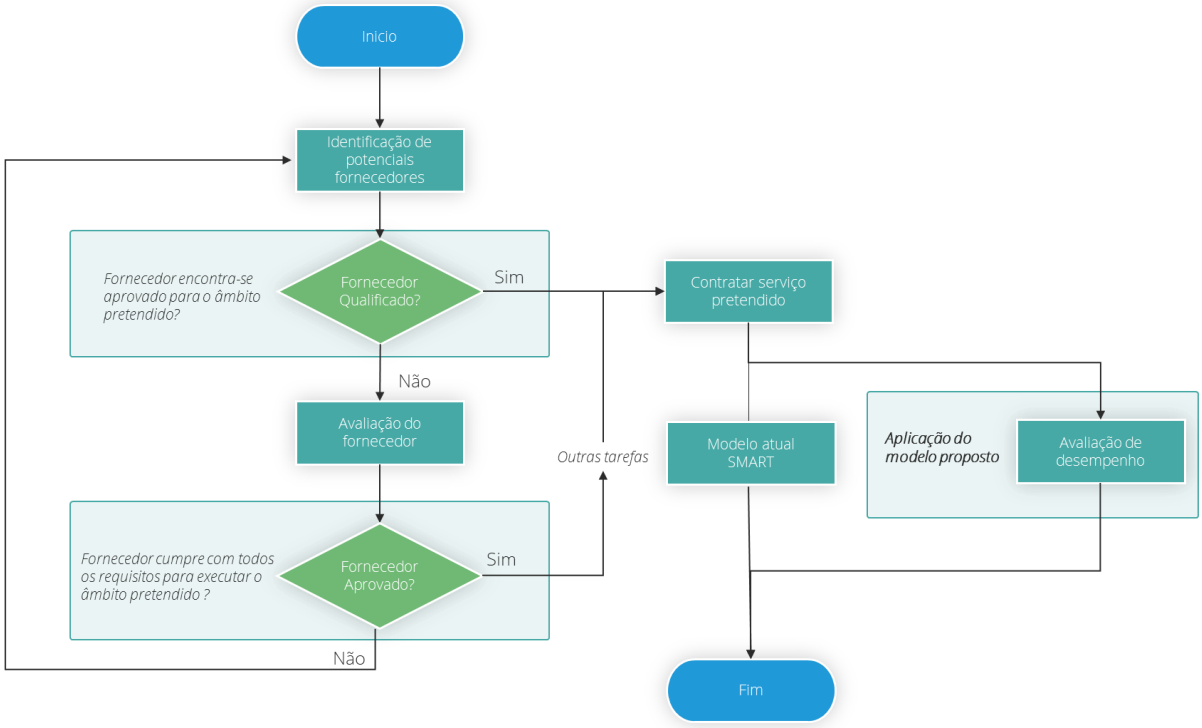

Figura 5.1 – Visão simplificada do processo aprovação de um fornecedor.
(Fonte: Elaboração própria)

Sempre que surge uma necessidade de aquisição, são identificados os potenciais fornecedores capazes de fornecer esse produto ou serviço, tendo em conta o âmbito requerido. Após a identificação do fornecedor existem duas possibilidades:

1. Se o fornecedor já se encontrar na lista de fornecedores qualificados é possível dar seguimento ao processo de adjudicação;

2. No caso oposto, é necessário proceder à qualificação do fornecedor. Processo este que tem como objetivo reunir toda a documentação necessária para verificar se este cumpre todos os requisitos exigidos para ser considerado um fornecedor qualificado. Se o fornecedor não cumprir esses requisitos é necessário encontrar um fornecedor alternativo. No momento de qualificação do fornecedor deve cumprir-se uma série de outras tarefas, que não serão detalhadas no presente documento, antes de se prosseguir com a adjudicação do produto ou serviço pretendido, tais como inserir o fornecedor no plano de auditorias, entre outras tarefas.

No entanto, uma falha no procedimento atual é que, embora exista um processo de avaliação do desempenho do fornecedor, este tem-se revelado pouco robusto, inflexível e com reduzida capacidade de adaptação. Consequentemente, tornou-se num mecanismo que impede a monitorização rigorosa da qualidade do serviço prestado, dificultando a tomada de decisões informadas em processos de compra futuros.

O formato de avaliação atual é fechado e baseado no método de SMART, que recolhe de dados quantitativos do sistema, os quais dependem, na sua maioria do fator humano para serem introduzidos no sistema de gestão. Devido a essa dependência, nem sempre os dados estão disponíveis ou corretamente preenchidos, comprometendo a avaliação do desempenho do fornecedor.

Por estas razões, foi proposto a implementação de um método alternativo que respondesse melhor às necessidades atuais da empresa, sem depender dos dados existentes no sistema. Foi assim proposto um modelo baseado nas regras difusas, de modo a considerar a perceção do gestor de cada fornecedor de forma estruturada e flexível, oferecendo uma abordagem mais eficiente e adaptável para a avaliação do desempenho dos fornecedores.

5.3 Aplicação do modelo proposto

Dada a dimensão da organização, foi necessário restringir a aplicação do modelo proposto a um conjunto de fornecedores. Assim, decidiu-se aplicar o modelo desenvolvido aos fornecedores de serviços, nomeadamente de reparação de componentes, uma vez que, por estratégia, a empresa opta por contratar estes serviços por falta de disponibilidade ou capacidade para os executar.

De uma forma simplificada, ao receber um módulo de avião para a execução de um serviço de manutenção, existe um conjunto de tarefas para as quais a empresa tem a capacidade e a disponibilidade de executar internamente, porém existe um conjunto de tarefas para as quais não existe capacidade interna. Para colmatar esta necessidade e garantir a continuidade e a eficiência do processo, essas tarefas são contratadas a fornecedores externos, que complementam as capacidades da empresa, permitido que o serviço seja concluído dentro dos prazos e aos padrões exigidos, como ilustrado na Figura 5.2.

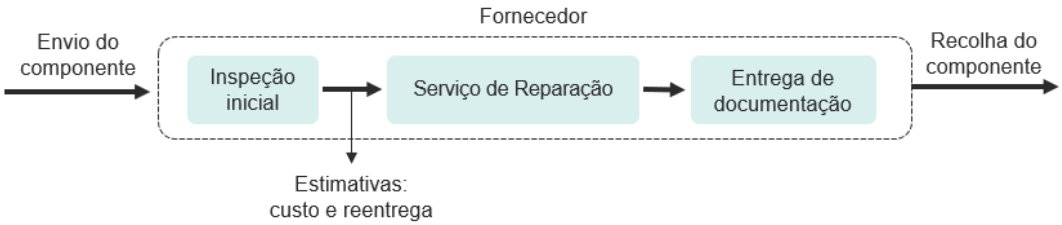

Figura 5.2 – Processo simplificado de contratação de um reparador.
(Fonte: Elaboração própria)

Sucintamente, sempre que existe a necessidade de contratar a reparação de um componente, o processo começa com o envio para o fornecedor escolhido, juntamente com uma ordem de trabalhos onde consta a lista de as reparações necessárias. No momento da chegada é realizada uma inspeção inicial com o objetivo de identificar as atividades necessárias, para além das reparações comunicadas. De seguida, e de acordo com a inspeção inicial o fornecedor deve informar qual a previsão do custo e da conclusão de todos os trabalhos. Após

a aceitação das estimativas, o fornecedor inicia o serviço acordado que termina com o envio de toda a documentação necessária e reenvio do componente.

O desempenho destes fornecedores é fundamental para que a empresa mantenha uma operação eficaz. Ou seja, tanto o desempenho positivo quanto o negativo desses fornecedores têm impacto direto na capacidade da organização em cumprir o seu rigoroso plano de manutenção. Dada a complexidade e a criticidade do desempenho dos fornecedores, qualquer atraso ou problema de qualidade pode ter consequências severas, como a extensão do tempo inatividade da aeronave e o aumento dos custos operacionais

Portanto, ao aplicar o modelo de avaliação com base nos critérios definidos, é possível monitorar o desempenho desses fornecedores de forma a garantir que estes mantêm consistentemente elevados padrões de segurança, de qualidade, de fiabilidade e de planeamento.

Após a seleção do conjunto de fornecedores aos quais o modelo será aplicado e a compreensão das suas especificações, é essencial definir quais os critérios-chave a avaliar tendo em conta os objetivos da empresa.

5.3.1 Identificação dos critérios

Seguindo a estrutura proposta, foram definidos quatro critérios principais e os seus atributos para garantir uma avaliação robusta e abrangente do desempenho dos fornecedores, nomeadamente: **Entrega**, **Qualidade**, **Relação** e **Custo**. Estes critérios são fundamentais para assegurar a eficiência nos serviços de manutenção prestados e otimizar a relação entre a empresa e os fornecedores, como apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Critérios aplicados na avaliação do desempenho de fornecedores. (Fonte: Elaboração própria)

Critérios		Atributos	
C_1	Entrega	A_{11}	Cumprimento das datas de entrega
		A_{12}	Cumprimento das datas de necessidade
		A_{13}	Desvio médio entre a data de receção e data estimada
		A_{14}	Fiabilidade das Datas de Entrega
C_2	Qualidade	A_{21}	Taxa de Reclamações
		A_{22}	Severidade Média das Reclamações
		A_{23}	Rapidez na conclusão de reclamações abertas
C_3	Relação	A_{31}	Rapidez de resposta
		A_{32}	Flexibilidade
C_4	Custo	A_{41}	Evolução de preço
		A_{42}	Cumprimento do custo estimado
		A_{43}	Fiabilidade nas estimativas de custo apresentadas

C_1 **– Entrega:** Este critério avalia a capacidade do fornecedor de cumprir prazos e fornecer os serviços conforme o planeado. A entrega eficiente e fiável é essencial para manter a continuidade operacional.

- A_{11} **– Cumprimento das datas de entrega –** Tem como objetivo medir a capacidade de o fornecedor cumprir com as datas de entrega previamente acordadas.

- A_{12} **– Cumprimento das datas de necessidade –** Avalia se as entregas são realizadas nas datas indicadas de acordo com as necessidades da empresa.

- A_{13} **– Desvio entre a data de receção e data estimada –** Avalia a diferença entre a data real de entrega e a data estimada pelo fornecedor.

- A_{14} **– Fiabilidade das Datas de Entrega –** Avalia a capacidade de o fornecedor ser capaz de manter a data estimada de entrega, ao longo do serviço. A falta de fiabilidade pode prejudicar gravemente o planeamento e a alocação de recursos da própria empresa, isto é, quanto mais cedo o fornecedor indicar a data prevista de entrega e se esta se mantém inalterada, mais fácil se torna cumprir com o planeamento traçado.

C_2**- Qualidade:** Qualidade dos serviços fornecidos impacta diretamente o sucesso do projeto e a satisfação do cliente. Este critério avalia a habilidade do fornecedor em fornecer os serviços que cumpram as especificações e as normas de qualidade.

- A_{21} **– Taxa de Reclamações –** Reflete a frequência com que são registadas reclamações associados aos serviços prestados.

- A_{22} **– Severidade Média das Reclamações –** Para além da frequência de reclamações registadas, é importante avaliar qual a severidade das reclamações, pois o impacto de cada reclamação está associado à sua gravidade.

- A_{23} **– Rapidez na conclusão de reclamações abertas –** Mede a capacidade de o fornecedor resolver com celeridade as reclamações abertas. É também uma demostração de compromisso por parte do fornecedor, de forma ágil e rápida na conclusão das reclamações abertas

C_3**- Relação:** É importante medir o nível de relacionamento com o fornecedor, ou seja, um relacionamento saudável é essencial para manter uma cooperação eficiente que permita a resolução de problemas de forma ágil.

- A_{31} **– Rapidez de resposta –** Mede o tempo que o fornecedor leva para responder a solicitações, dúvidas ou problemas. Que é fundamental para a mitigação de problemas e até mesmo para evitar paragens de produção.

- A_{32} **– Flexibilidade –** Avalia a capacidade do fornecedor em adaptar-se a mudanças imprevistas, como alterações nos pedidos ou prazos. Esta capacidade é crucial em ambientes dinâmicos, como a indústria aeronáutica, onde mudanças de última hora são comuns devido a regulamentos ou ajustes no planeamento.

C_4**- Custo:** O custo é um dos principais fatores na avaliação de fornecedores, mas é importante que esteja alinhado com a qualidade e com as especificações de cada serviço.

- A_{41} **– Evolução de preço –** Analisa as mudanças no preço ao longo do tempo, tipicamente acontece de forma anual, garantindo que o fornecedor mantém uma política de preços competitiva e transparente.

- A_{42} **– Cumprimento do custo estimado –** Verifica se o fornecedor cumpre os custos previamente acordados, sem variações inesperadas. No caso em específico, como se trata de fornecedores de reparação é usual que o preço seja ajustado de acordo a progressão dos trabalhos, caso algum dano não seja registado no momento da inspeção inicial.

- A_{43} **– Fiabilidade nas estimativos de custo apresentadas –** Avalia a precisão das previsões de custos feitas pelo fornecedor, fundamental para o planeamento financeiro.

5.3.2 Identificação dos fatores de ponderação

Após identificados e explicados os critérios e respetivos atributos, é crucial descrever de que forma estes critérios serão ponderados. Desta forma, a ponderação dos critérios e dos atributos é possível refletir as necessidades estratégicas da empresa, adequando o peso de acordo com a importância relativa no desempenho geral do fornecedor, como apresentado na Tabela 5.2.

Como se pode verificar os critérios C_1- Entrega e C_2 - Qualidade, apresentam uma relevância superior, de muito alto, quando comparada com os restantes critérios. Para a organização é vital que os serviços sejam prestados dentro dos prazos previstos, pois qualquer atraso pode impactar significativamente a operações. Da mesma forma, a qualidade dos serviços entregues é crucial, uma vez que a não conformidade com os padrões exigidos pode comprometer a segurança e o sucesso das operações. Estes dois critérios são essenciais para garantir a continuidade e eficiência operacional.

O critério C_3 – Relação com o fornecedor, tem uma relevância elevada, embora menor que os critérios de entrega e de qualidade. Não obstantes, no entender da organização, é importante manter uma relação fluída e eficiente com os fornecedores uma vez que pode por exemplo, acelerar a resposta a pedidos urgentes ou alterações de última hora.

Tabela 5.2 – Fatores de ponderação de cada critério e atributo.
(Fonte: Elaboração própria)

Critérios	Fator de ponderação (W_C)	Atributos	Fator de ponderação (W_A)
C_1	Muito Alto (MA)	A_{11}	Muito Alto (MA)
		A_{12}	Alto (A)
		A_{13}	Relativamente Alto (RA)
		A_{14}	Relativamente Alto (RA)
C_2	Muito Alto (MA)	A_{21}	Muito Alto (MA)
		A_{22}	Alto (A)
		A_{23}	Muito Alto (MA)
C_3	Alto (A)	A_{31}	Alto (A)
		A_{32}	Alto (A)
C_4	Relativamente Alto (RA)	A_{41}	Alto (A)
		A_{42}	Alto (A)
		A_{43}	Relativamente Alto (RA)

Por último, o critério C_4 – Custo tem uma relevância relativamente alta, mas inferior aos critérios anteriores. A organização compreende que, em determinadas circunstâncias, pode ser necessário optar por fornecedores com um custo superior, especialmente quando resulta em prazos de entrega mais curtos que atendam às necessidades imediatas da empresa. Assim, o custo, embora importante, não é o fator determinante em todas as situações. Não obstante, a prioridade é manter um equilíbrio entre o custo e os prazos de entrega, garantindo que o fornecedor escolhido consegue satisfazer as exigências operacionais sem comprometer a qualidade e os prazos.

5.3.3 Aplicação real

Para efeitos de aplicação num caso real, no presente caso de estudo foi escolhido um fornecedor com uma longa relação estabelecida com a empresa.

Para exemplificação do caso aplicado, apenas serão apresentados em detalhe dados referentes ao fornecedor A.

De forma a proceder à avaliação de desempenho de cada fornecedor, foi desenvolvido um quadro apresentado Figura 5.3. Neste quadro o gestor do fornecedor coloca a avaliação de acordo com a sua perceção do grau de satisfação do desempenho do fornecedor.

Proposta de Avaliação do Desempenho de Fornecedores

Código	Nome	Periodo	Data	Avaliador
AAAA	Fornecedor A			

Critério		Atributo	Fator Ponderação	Avaliação	Classificação(cD)	Bom
					Score(iD)	82,01
			MA		Indice	70,93
C1	Entrega	A11 Cumprimento das datas de entrega	MA	B	84	
		A12 Cumprimento da datas de necessidade	A	SM	63	
		A13 Desvio médio entre a data de rececção e data estimada	RA	SM	52	
		A14 Fiabilidade das Datas de Entrega	RA	S	38	
			MA			96,67
C2	Qualidade	A21 Taxa de Reclamações	MA	MB	94	
		A22 Severidade Média das Reclamações	A	MB	84	
		A23 Rapidez na conclusão de reclamações abertas	RA	MB	68	
			A			86,67
C3	Relação	A31 Rapidez de resposta	A	B	77	
		A32 Flexibilidade	A	B	77	
			RA			70,32
C4	Custo	A41 Evolução de preço	A	B	77	
		A42 Cumprimento do custo estimado	A	SM	63	
		A43 Fiabilidade nas estimativos de custo apresentadas	RA	S	38	

Figura 5.3 – Quadro de avaliação referente ao desempenho do fornecedor A.
(Fonte: Elaboração própria)

O quadro encontra-se dividido da seguinte forma:

- **Critério**: Critérios em avaliação, definidos na secção 5.3.1;
- **Atributos**: Atributos em avaliação, definidos na secção 5.3.1;
- **Fator de Ponderação**: Importância de cada critério e atributo de acordo com a estratégia definida, definidos na secção 5.3.2;
- **Avaliação**: Avaliação de cada atributo dada pelo gestor do fornecedor;
- **Índice**: Índice difuso do desempenho de cada atributo e critério;
- **Classificação (cD)**: classificação Difusa do desempenho geral do fornecedor;
- **Índice (iD)**: Índice final referente à classificação difusa do fornecedor.

Obtido a avaliação individual de cada atributo, existe agora a necessidade de integrar os valores de modo a obter a avaliação de cada critério e por fim a classificação difusa final do fornecedor.

Vetor difuso agregado de cada critério (vC_i)

Realizada a avaliação individual de cada atributo para o fornecedor A, pode-se proceder ao cálculo do vetor agregado de avaliação de cada critério.

Para demonstrar a metodologia de cálculo, apenas são apresentados os cálculos detalhados referente aos atributos associados ao critério da Entrega, o vetor vC_1. A Tabela 5.3 são apresentados os vetores de cada atributo tendo em conta o fator de ponderação e avaliação atribuída.

Tabela 5.3 – Funções de pertença da avaliação de desempenho e fatores de ponderação. (Fonte: Elaboração própria)

Atributos	**Fator de ponderação (W_A)**		**Avaliação (A_A)**	
A_{11}	MA	(0,9; 1; 1)	B	(70;90;100)
A_{12}	A	(0,7; 0,9; 1)	SM	(50;70;90)
A_{13}	RA	(0,5; 0,7; 0,9)	SM	(50;70;90)
A_{14}	RA	(0,5; 0,7; 0,9)	S	(30;50;70)

Assim de acordo com a equação 4.1, os vetores $\boldsymbol{vC_i}$ podem ser calculados da seguinte forma:

$$vC_1 = \frac{\sum_{k=1}^{n}(W_i n \; x \; A_{in})}{\sum_{k=1}^{n}(W_{in})}$$

$$= \frac{(70;90;100) * (0{,}9;\ 1;\ 1) + (50;70;90) * (0{,}7;\ 0{,}9;\ 1) + (50;70;90) * (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9) + (30;50;70) * (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9)}{(0{,}9;\ 1;\ 1) + (0{,}7;\ 0{,}9;\ 1) + (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9) + (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9)}$$

$$= \frac{(63;\ 90;100) + (35;\ 63;\ 90) + (25;\ 49;81) + (15;\ 35;\ 63)}{(2.6;3.3;3.8)}$$

$$= \frac{(138;\ 237;334)}{(2.6;3.3;3.8)}$$

$$\boldsymbol{vC_1} = (\mathbf{53};\mathbf{72};\mathbf{88})$$

Assim o vetor vC_1 corresponde ao valor agregado de cada atributo para o critério C_1, aplicando o mesmo cálculo aos restantes critérios, conforme apresentado na Tabela 5.4:

Tabela 5.4 – Vetores difusos para cada critério (Fonte: Elaboração própria)

	Vetor
vC_1	(53; 72; 88)
vC_2	(90; 100; 100)
vC_3	(70; 90; 100)
vC_4	(53; 72; 87)

Vetor difuso Global ($\boldsymbol{vG}$)

Obtidos os valores de vC_i, é possível calcular o valor difuso global vG , tendo em conta o seu fator de ponderação, como mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Vetores difusos para cada critério e fator de ponderação correspondente. (Fonte: Elaboração própria)

Vetor		Fator de ponderação (w)
vC_1	(53; 72; 88)	(0,9; 1; 1)
vC_2	(90; 100; 100)	(0,9; 1; 1)
vC_3	(70; 90; 100)	(0,7; 0,9; 1)
vC_4	(53; 72; 87)	(0,5; 0,7; 0,9)

De acordo com a equação 4.2 o vetor difuso global pode ser calculado, seguindo o exemplo:

$$vG = \frac{\sum_{k=1}^{n}(W_i \, x \, vC_i)}{\sum_{k=1}^{n}(W_i)}$$

$$\frac{(53;72;88) * (0{,}9;1;\ 1) + (90;100;100) * (0{,}9;\ 1;\ 1) + (70;90;100) * (0{,}7;\ 0{,}9;\ 1) + (53;72;87) * (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9)}{(0{,}9;\ 1;\ 1) + (0{,}9;\ 1;\ 1) + (0{,}7;\ 0{,}9;\ 1) + (0{,}5;\ 0{,}7;\ 0{,}9)}$$

$$= \frac{(48;\ 72;88) + (81;\ 100;\ 100) + (49;\ 81;100) + (26;\ 50;79)}{(2.6;3.3;3.8)}$$

$$= \frac{(203;\ 302;366)}{(3;3.6;3.9)}$$

$$\boldsymbol{vG} = (\mathbf{68};\mathbf{84};\mathbf{94})$$

Classificação difusa ($\boldsymbol{cD}$)

Obtido o vetor global difuso, o passo seguinte é fazer corresponder este valor a uma variável linguística cuja adesão é mais próxima possível e que corresponderá à classificação difusa do fornecedor.

Como mencionado na secção 4.1.3, a classificação difusa é calculada por meio da distância euclidiana.

Considerando C e variável linguística “Excelente” a distância euclidiana pode ser calculada de acordo com a equação 4.3:

$$d\ (vD, C) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2 + (c_2 - c_1)^2]}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3}[(68 - 90)^2 + (84 - 100)^2 + (94 - 100)^2]} = 16$$

Aplicado o mesmo cálculo, podemos calcular a distância euclidiana para todas avariáveis linguísticas e determinar assim a classificação do fornecedor, como mostrado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 –Distância euclidiana entre vG e classificação de desempenho.
(Fonte: Elaboração própria)

Variável Linguística	Função de Pertença	$d(vD, C)$
Excelente (E)	(90;100;100)	16
Bom (B)	(70;80;90)	4
Satisfaz (S)	(50;60;70)	22
Insuficiente (I)	(0;25;50)	58

Quanto menor for a distância d, maior é adesão do vetor vD com a classificação difusa, neste caso em específico o fornecedor A tem uma classificação difusa de Bom. Graficamente também possível verificar que o fornecedor A se aproxima da classificação de Bom.

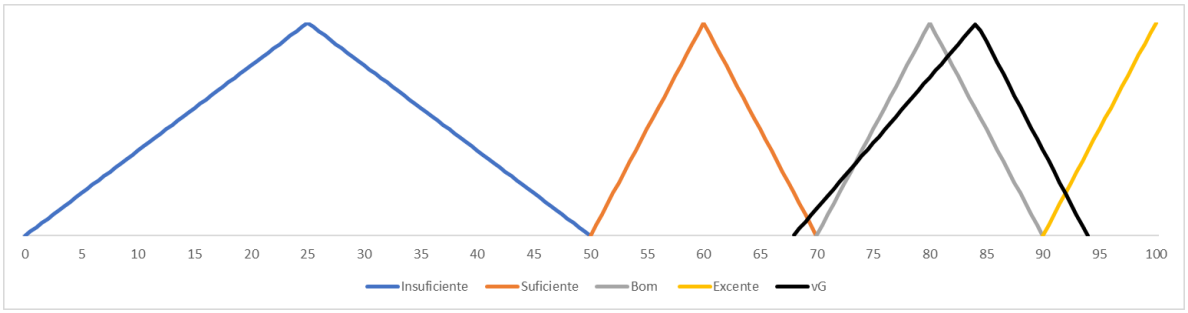

Figura 5.4 – Correspondência entre funções linguísticas para a classificação e vG.
(Fonte: Elaboração própria)

Índice difuso (iD)

Determinada a classificação difusa do fornecedor, o último passo passa por definir essa classificação num índice numérico que o possa diferenciar dos restantes fornecedores com a mesma classificação difusa. Este índice é determinado pela defuzzificação do vetor vG através do método centro de área, como ilustrado na Figura 5.5.

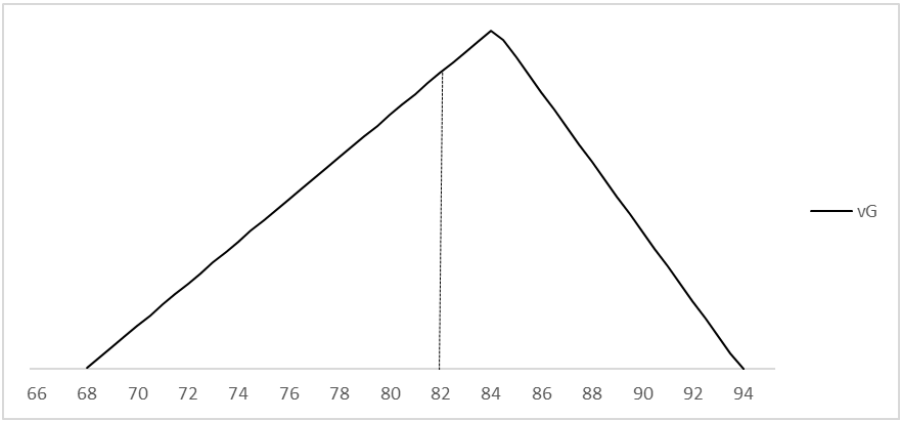

Figura 5.5 – Vetor vG relativo ao desempenho do fornecedor A.
(Fonte: Elaboração própria)

Então pela equação 3.13, e $vG = (68; 84; 94)$, tem se que:

$$iD = \frac{a+b+c}{3} = \frac{68+84+94}{3} = 82$$

O mesmo raciocínio pode ser aplicado a cada critério por forma a obter um índice difuso por critério para que o desempenho do fornecedor, possa ser representado graficamente como ilustra a Figura 5.6.

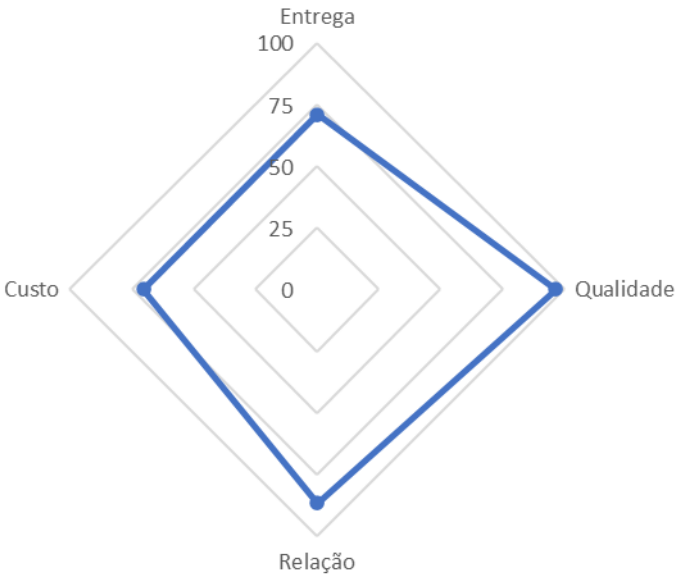

Figura 5.6 – Representação gráfica dos índices difusos de cada critério.
(Fonte: Elaboração própria)

Desde modo através da representação gráfica, é fácil verificar quais os critérios onde o fornecedor apresenta um melhor desempenho e atua em conformidade. Apesar de o fornecedor A apresentar valores bastante satisfatórios para todos os critérios, deve-se analisar também todos os atributos de modo a identificar pontos de possível melhoria. No caso do fornecedor A, observa-se que para os critérios de entrega e custo apresentam o menor índice difuso próximo de 75, por outro lado os critérios relação e qualidade apresentam os indicies mais altos próximos de 85 e 95 respetivamente.

Especificamente no caso do critério da entrega, como ilustrado na Figura 5.7, observa-se que o índice difuso do atributo A_{14} apresenta o menor valor de 38, o que significa que o fornecedor deve identificar a causa raiz associada e realizar um conjunto de ações para melhorar a fiabilidade das datas de entrega. Esta possível melhoria irá resultar numa melhor avaliação do critério da entrega e consequentemente no seu desempenho geral.

				MA		Indice	70,93
C1	**Entrega**	A11	Cumprimento das datas de entrega	MA	B	84	
		A12	Cumprimento da datas de necessidade	A	SM	63	
		A13	Desvio médio entre a data de rececção e data estimada	RA	SM	52	
		A14	Fiabilidade das Datas de Entrega	RA	S	38	

Figura 5.7 – Índices difusos dos atributos associados ao critério da entrega.
(Fonte: Elaboração própria)

6 Conclusão e trabalho futuro

No presente capítulo são apresentadas as conclusões retiradas com a realização do presente trabalho, posteriormente são apresentadas as sugestões de trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

A escolha do fornecedor é uma atividade crítica e com forte impacto para as organizações. Geralmente, o processo de seleção e avaliação de um fornecedor é fortemente dependente do fator humano e realizado de inúmeras formas diferentes. Assim, para uma gestão eficaz da rede de fornecedores é crucial proceder à avaliação do seu desempenho. Adicionalmente, este processo é caracterizado por incerteza e ambiguidade.

No âmbito deste trabalho foram estudados os conceitos relacionados com a gestão e desenvolvimento de fornecedores, com foco no processo na avaliação do desempenho, nomeadamente nos critérios e ferramentas usadas. Ficou evidente que se trata de um problema de elevada complexidade, devido à multidimensionalidade dos diversos fatores que têm impacto no desempenho geral de um fornecedor, especificamente na indústria aeronáutica, com uma forte regulamentação onde qualquer disrupção, por menor que seja, pode ter um impacto enorme nas operações.

Sendo o objetivo principal o desenvolvimento de um modelo de avaliação de fornecedores, capaz de lidar com a incerteza humana, ser flexível, foi proposto o uso da lógica difusa pela sua capacidade de traduzir a ambiguidade e a perceção humana para uma lógica matemática, conforme explicado.

Assim, através da aplicação da lógica difusa para a construção do modelo de avaliação fica demostrado a vantagem da aplicação de variáveis linguísticas para representar os graus de satisfação em relação a um fornecedor por cumprir um determinado critério de desempenho.

A grande vantagem do modelo proposto é a sua flexibilidade, permitido a adaptação constante dos critérios e atributos usados tendo por base o mercado e a estratégia da empresa. O

modelo também permite o ajuste do nível de relevância de cada critério e atributo, o que é essencial para refletir a estratégia e as prioridades das organizações.

O modelo demonstra também o valor de considerar atributos exclusivamente qualitativos, como a relação com o fornecedor. Estes elementos são difíceis de quantificar, no entanto desempenham um papel importante em assegurar uma relação saudável e de longo prazo com os fornecedores.

Porém verificaram-se algumas limitações ao modelo proposto. O facto de o modelo se basear unicamente na perceção do avaliador, este deve ser experiente e deve ter conhecimento de todas as interações e aquisições com o fornecedor, para que consiga avaliar o seu desempenho global.

Em suma, ficou demonstrado que a avaliação de fornecedores é um desafio complexo que requer uma análise cuidadosa dos diversos critérios. O modelo desenvolvido para a avaliação de fornecedores baseado na lógica difusa, conseguiu com sucesso lidar com a complexidade inerente ao processo de avaliação no setor aeronáutico. A lógica difusa permitiu aos avaliadores lidar com a ambiguidade e incerteza. Apesar do modelo ter se demonstrado eficaz, este tem potencial para ser aplicado a outras indústrias que enfrentem desafios similares.

6.2 Trabalho futuro

Considerando que uma das limitações do presente trabalho foi o tempo disponível para a sua conclusão, impedindo assim explorar as diferentes abordagens possíveis. Propõe-se assim algumas direções para trabalhos futuros.

Em primeiro lugar, sugere-se a aplicação do modelo proposto a uma amostra mais ampla de fornecedores de modo a validar a eficácia dos critérios e calibração dos fatores de ponderação definidos. Adicionalmente, recomenda-se o desenvolvimento do modelo para inclusão de novos critérios como por exemplo a gestão de risco e a sustentabilidade, ou mesmo integração de critérios quantitativos.

Por fim, seria interessante explorar a criação de modelos alternativos baseados em métodos como o AHP ou o TOPSIS, permitindo uma comparação dos resultados obtidos e uma análise mais abrangente

.

Referências Bibliográficas

Aerospace Corp, G. (2011). *CAPS Research Supplier Quality & Delivery Performance 2011 Supply Management Benchmarking Report*.

Alegre, P., Larentis, F., Paese Giacomello, C., & Camargo, M. E. (2012, December). Importance analysis in satisfaction research through multiple regression: effect of different rating scale formats. *A Revista Acadêmica Da FACE*, *V23*, 258–269.

Amato Neto, J., de Lourdes Marinho, B., Manuel Correia, G., & Fucci Amato, L. (2014). *Gestão estratégica de fornecedores e contratos: Uma visão integrada* (1ª Edição). Editora Saraiva.

Assi Marro, A., Matheus de Carvalho Souza, A., de Sousa Cavalcante, E. R., Silva Bezerra, G., & de Oliveira Nunes, R. (2000). *Lógica Fuzzy - Conceitos e aplicações*.

Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2006). A fuzzy-QFD approach to supplier selection. *Journal of Purchasing and Supply Management*, *12*(1), 14–27. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.02.001

Cavinato, J. L., Ralph, C. P. M., & Kauffman, G. (2000). *THE PURCHASING HANDBOOK A Guide for the Purchasing and Supply Professional SIXTH EDITION*. https://doi.org/10.1036/0071395482

Chakraborty, S. (2022). TOPSIS and Modified TOPSIS: A comparative analysis. *Decision Analytics Journal*, *2*, 100021. https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100021

Chou, S. Y., Shen, C. Y., & Chang, Y. H. (2007). Vendor selection in a modified re-buy situation using a strategy-aligned fuzzy approach. *International Journal of Production Research*, *45*(14), 3113–3133. https://doi.org/10.1080/00207540600806489

Czabanski, R., Jezewski, M., & Leski, J. (2017). Introduction to fuzzy systems. In *Studies in Fuzziness and Soft Computing* (Vol. 356, pp. 23–43). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59614-3_2

Da Silveira, F., & Pereira, D. (2008). O PROCESSO DE SELEÇÃO E AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES NO SETOR PÚBLICO BRASILEIRO. *Encuentro Internacional AECA.*

De Boer, L., Labro, E., & Morlacchi, P. (2001). A review of methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, *7*(2). https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9

Dickson, G. W. (1966). An Analysis Of Vendor Selection Systems And Decisions. *Journal of Purchasing*, *2*(1), 5–17. https://doi.org/10.1111/j.1745-493x.1966.tb00818.x

Dissanayake, C. K. (2015). FUZZY LOGIC APPLICATIONS IN SUPPLY CHAIN PERFORMANCE MEASUREMENT. *Proceedings of the American Society for Engineering Management 2015 International Annual Conference S. Long, E-H. Ng, and A. Squires Eds*. www.sciencedirect.com

EASA. (2013). *Opinion No 12/2013 Control of Suppliers*. http://easa.europa.eu/agency-measures/opinions.php.

EASA. (2016). *AMC & GM to Part-145 - Issue 2, Amendment 7*.

EASA. (2018). Regulation (EU) 2018/1139. *Official Journal of the European Union*, *61*(1).

Gallab, M., Bouloiz, H., Alaoui, Y. L., & Tkiouat, M. (2019). Risk Assessment of Maintenance activities using Fuzzy Logic. *Procedia Computer Science*, *148*, 226–235. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.065

Gelderman, C. J., & Van Weele, A. J. (2003). Handling measurement issues and strategic directions in Kraljic's purchasing portfolio model. *Journal of Purchasing and Supply Management*, *9*(5–6), 207–216. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2003.07.001

Ghorabaee, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2017). Supplier evaluation and selection in fuzzy environments: A review of MADM approaches. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja* , *30*(1), 1073–1118. https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1314828

Gordon, S. R. (2008). *Supplier evaluation and performance excellence : a guide to meaningful metrics and successful results / Sherry R. Gordon.* J. Ross Pub.

Hald, K. S., & Ellegaard, C. (2011). Supplier evaluation processes: The shaping and reshaping of supplier performance. *International Journal of Operations and Production Management*, *31*(8), 888–910. https://doi.org/10.1108/01443571111153085

Hawkins, T. G., Gravier, M. J., & Muir, W. A. (2020). The role of supplier performance evaluations in mitigating risk: Assessing evaluation processes and behaviors. *Industrial Marketing Management*, *87*, 2–17. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.03.004

Hellmann, M. (2001). *Fuzzy Logic Introduction*. https://www.researchgate.net/publication/238684924_Fuzzy_Logic_Introduction

Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research*, *202*(1), 16–24. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009

Hosseini, S., & Ivanov, D. (2020). Bayesian networks for supply chain risk, resilience and ripple effect analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, *161*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113649

Idmayanti, R., Meidelfi, D., Rahmayuni, I., & Sukma, F. (2021). The Implementation of the Simple Multi Attribute Rating Technique Method for Evaluating the Guidance Process for the Final Project of the Applied Software Engineering Technology Students. In *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering* (Vol. 3, Issue 3).

Ivan, K., & Lucia, N. (2013). Selected aspects of the supply chain management in the aerospace industry. *INCAS BULLETIN*, *5*(1), 135–149. https://doi.org/10.13111/2066-8201.2013.5.1.13

Johnson, P. F., Ivey, R., Leenders, M. R., Flynn, A. E., Leenders, J., Purchasing, F., Management, S., & Flynn, J. L. (2010). *Purchasing & Supply Chain Management* (McGraw-Hill, Ed.; 14th ed.). McGraw-Hill.

Kheybari, S., Rezaie, F. M., & Farazmand, H. (2020). Analytic network process: An overview of applications. *Applied Mathematics and Computation*, *367*. https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124780

Kraljic, P. (1983). Purchasing Must Become Supply Management. *Havard Business Review*, *61*(5), 109–117.

Li, H., Xu, Y., & Chen, Y. (2021). *Design and Best Practices of Supplier Performance Evaluation in Supply Chain Evaluation in Supply Chain Design and Best Practices of Supplier Performance Evaluation in Supply Chain*.

Lin, C. T., Hung, K. P., & Hu, S. H. (2018). A decision-making model for evaluating and selecting suppliers for the sustainable operation and development of enterprises in the aerospace industry. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(3). https://doi.org/10.3390/su10030735

Liu, F., & Mendel, J. M. (2008). Aggregation using the fuzzy weighted average as computed by the Karnik-Mendel algorithms. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *16*(1), 1–12. https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2007.896229

Lu, L., Goerlandt, F., Banda, O. A. V., & Kujala, P. (2022). Developing fuzzy logic strength of evidence index and application in Bayesian networks for system risk management. *Expert Systems with Applications*, *192*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116374

Manucharyan, H. (2021). Multi-criteria decision making for supplier selection: a literature critique. *Independent Journal of Management & Production*, *12*(1), 329–352. https://doi.org/10.14807/ijmp.v12i1.1265

Mocenco, D. (2015). SUPPLY CHAIN FEATURES OF THE AEROSPACE INDUSTRY PARTICULAR CASE AIRBUS AND BOEING. *Scientific Bulletin - Economic Sciences, University of Pitesti, Vol. 14(2)*, 17–25.

Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., & Patterson, J. L. (2009). *Purchasing & Supply Chain Management* (J. W. Calhoun & A. von Rosenberg, Eds.; 4th ed.). South-Western Cengage Learning.

Muhammad, R., & Manarvi, I. (2009). Vendor assessment and procurement decision making through data mining inaviation industry. *2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, CIE 2009*, 1470–1474. https://doi.org/10.1109/iccie.2009.5223718

Nadaban, S. (2021). From Classical Logic to Fuzzy Logic and Quantum Logic: A General View. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS COMMUNICATIONS & CONTROL*, *16*(1), 1–14. https://doi.org/10.15837/ijccc.2021.1.4125

Pavlačka, O., Pavlačková, M., & Hetfleť, V. (2017). Fuzzy weighted average as a fuzzified aggregation operator and its properties. *Kybernetika*, *53*(1), 137–160. https://doi.org/10.14736/kyb-2017-1-0137

Pop, G. I., Titu, A. M., & Pop, A. B. (2023). Enhancing Aerospace Industry Efficiency and Sustainability: Process Integration and Quality Management in the Context of Industry 4.0. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(23). https://doi.org/10.3390/su152316206

Rahim, R., & Risawandi. (2016). *STUDY OF THE SIMPLE MULTI-ATTRIBUTE RATING TECHNIQUE FOR DECISION SUPPORT*.

Rahim, R., Supiyandi, S., Siahaan, A. P. U., Listyorini, T., Utomo, A. P., Triyanto, W. A., Irawan, Y., Aisyah, S., Khairani, M., Sundari, S., & Khairunnisa, K. (2018). TOPSIS Method Application for Decision Support System in Internal Control for Selecting Best Employees. *Journal of Physics: Conference Series*, *1028*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012052

Rao, P. P. B., & Shankar, N. R. (2013). Ranking Fuzzy Numbers with an Area Method Using Circumcenter of Centroids. *Fuzzy Information and Engineering*, *5*(1), 3–18. https://doi.org/10.1007/s12543-013-0129-1

Rasmussen, A., Sabic, H., Saha, S., & Nielsen, I. E. (2023). Supplier selection for aerospace & defense industry through MCDM methods. *Cleaner Engineering and Technology*, *12*. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100590

Rosanisah, W., Mohd, W., & Abdullah, L. (2017). Aggregation Methods in Group Decision Making: A Decade Survey. In *Informatica* (Vol. 41).

Saaty, T. L. (2006). The analytic network process. In *International Series in Operations Research and Management Science* (Vol. 95, pp. 1–26). Springer New York LLC. https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6_1

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. In *Int. J. Services Sciences* (Vol. 1, Issue 1).

Sandeep, M., Kumanan, S., & Vinodh, S. (2011). Application of fuzzy SMART approach for supplier selection. *International Journal of Services and Operations Management*, *9*(3), 365–388. https://doi.org/10.1504/IJSOM.2011.041104

Sandi, P. V., Rohman, M. A., & Utomo, C. (2020). A concept to evaluate procurement principles implementation of public construction project in Surabaya. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *930*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/930/1/012005

Shankar, N. R., & Rao, P. P. B. (2011). Ranking fuzzy numbers with a distance method using Circumcenter of Centroids and an index of modality. *Advances in Fuzzy Systems*. https://doi.org/10.1155/2011/178308

Siekelova, A., Podhorska, I., & Imppola, J. J. (2021). Analytic Hierarchy Process in Multiple–Criteria Decision–Making: A Model Example. *SHS Web of Conferences*, *90*, 01019. https://doi.org/10.1051/shsconf/20219001019

Simo, U. F., & Gwét, H. (2018). Fuzzy Triangular Aggregation Operators. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, *2018*. https://doi.org/10.1155/2018/9209524

Simões, M. G., & Shaw, I. S. (2007). *Controle e Modelagem Fuzzy* (E. Blucher, Ed.; 2nd ed.). Blucher.

Siregar, D., Arisandi, D., Usman, A., Irwan, D., & Rahim, R. (2017). Research of Simple Multi-Attribute Rating Technique for Decision Support. *Journal of Physics: Conference Series*, *930*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/930/1/012015

Sousa, C. P. (2016). *Fuzzy no Excel* (1st ed.). Universidade Federal do Ceará.

Taherdoost, H., & Brard, A. (2019). Analyzing the Process of Supplier Selection Criteria and Methods. *Procedia Manufacturing*, *32*, 1024–1034. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.317

Tan, K. C., Lyman, S. B., & Wisner, J. D. (2002). Supply chain management: A strategic perspective. *International Journal of Operations and Production Management*, *22*(5–6), 614–631. https://doi.org/10.1108/01443570210427659

Thanaraksakul, W., & Phruksaphanrat, B. (2009). Supplier Evaluation Framework Based on Balanced Scorecard with Integrated Corporate Social Responsibility Perspective. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009*, *II*.

Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*.

Van Den Broek, P., & Noppen, J. (2009, January). Fuzzy Weighted Average-Analytical Solution. FUZZY WEIGHTED AVERAGE: ANALYTICAL SOLUTION. *IJCCI 2009 - Proceedings of the International Joint Conference on Computational Intelligence*. https://www.researchgate.net/publication/221616587

Vélez-Falconí, M., Marín, J., Jiménez, S., & Guachi-Guachi, L. (2020). *Comparative Study of Distance Measures for the Fuzzy C-means and K-means Non-Supervised Methods Applied to Image Segmentation*. http://www.sdas-group.com

Weigel, U., & Ruecker, M. (2017). *The Strategic Procurement Practice Guide*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57651-0

Yasin Al, Md., Sultan, A., & Khan, A. F. M. K. (2016). Comparison of Fuzzy Multiplication Operation on Triangular Fuzzy Number. *IOSR Journal of Mathematics*, *12*(04), 35–41. https://doi.org/10.9790/5728-1204013541

Yen, J. (1999). Fuzzy logic - a modern perspective. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *11*(1), 153–165. https://doi.org/10.1109/69.755624

Yıldız, A., & Yayla, A. Y. (2015). Multi-criteria decision-making methods for supplier selection: A literature review. *South African Journal of Industrial Engineering*, *26*(2), 158–177. https://doi.org/10.7166/26-2-1010

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets*. *Information and Control 8*, 338–353.

Zadeh, L. A. (1975). *The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I*.

Zimmermann, H.-J. (2001). Fuzzy Set Theory—and Its Applications. In *Fuzzy Set Theory—and Its Applications*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0