



## Universidades Lusíada

Silva, João Pedro Figueiredo da

### **Modelos e algoritmos para a seleção e avaliação de fornecedores na gestão da cadeia de abastecimento**

<http://hdl.handle.net/11067/7653>

#### **Metadados**

**Data de Publicação**

2023

**Resumo**

A seleção de fornecedores é uma atividade estratégica para as organizações, porque influencia diretamente a qualidade, a eficiência e a competitividade das suas operações. No entanto, esse processo pode ser complexo e desafiador, uma vez que envolve a análise de múltiplos critérios e a tomada de decisões baseadas em julgamentos subjetivos. Para facilitar e aperfeiçoar a seleção de fornecedores, vários métodos foram estudados. O AHP é um método de tomada de decisão multicritério que permite a co...

Supplier selection is a strategic activity for organizations because it directly influences the quality, efficiency and competitiveness of their operations. However, this process can be complex and challenging, as it involves analyzing multiple criteria and making decisions based on subjective judgments. To facilitate and perfect supplier selection, several methods have been studied. AHP is a multi-criteria decision-making method that allows the comparison and prioritization of alternatives bas...

**Palavras Chave**

Gestão industrial, Software, Tomada de decisão

**Tipo**

masterThesis

**Revisão de Pares**

no

**Coleções**

[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-10-15T19:19:08Z com informação proveniente do Repositório



**UNIVERSIDADE LUSÍADA**  
**VILA NOVA DE FAMALICÃO**

**MODELOS E ALGORITMOS PARA A SELEÇÃO E  
AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES NA GESTÃO  
DA CADEIA DE ABASTECIMENTO**

**João Pedro Figueiredo da Silva**

**Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial**

Vila Nova de Famalicão – setembro de 2023



**UNIVERSIDADE LUSÍADA**  
**VILA NOVA DE FAMALICÃO**

**MODELOS E ALGORITMOS PARA A SELEÇÃO E  
AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES NA GESTÃO DA  
CADEIA DE ABASTECIMENTO**

**Nome do João Pedro Figueiredo da Silva**

**Orientador: Prof. Doutora Bruna Silva Ramos**

**Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial**

## **Liberdade**

Ai que prazer  
Não cumprir um dever,  
Ter um livro para ler  
E não o fazer!  
Ler é maçada,  
Estudar é nada.  
O sol doira sem literatura.  
O rio corre, bem ou mal,  
Sem edição original.  
E a brisa, essa,  
De tão naturalmente matinal,  
Como tem tempo não tem pressa.

Livros são papéis pintados com tinta.  
Estudar é uma coisa em que está indistinta  
A distinção entre nada e coisa nenhuma.

Quanto é melhor, quanto há bruma,  
Esperar por D. Sebastião,  
Quer venha ou não!

Grande é a poesia, a bondade e as danças...  
Mas o melhor do mundo são as crianças,  
Flores, música, o luar, e o sol, que peca  
Só quando, em vez de criar, seca.

O mais do que isto  
É Jesus Cristo,  
Que não sabia nada de finanças  
Nem consta que tivesse biblioteca...

*Fernando Pessoa, 16 de março de 1935*

## Resumo

A seleção de fornecedores é uma atividade estratégica para as organizações, porque influencia diretamente a qualidade, a eficiência e a competitividade das suas operações. No entanto, esse processo pode ser complexo e desafiador, uma vez que envolve a análise de múltiplos critérios e a tomada de decisões baseadas em julgamentos subjetivos.

Para facilitar e aperfeiçoar a seleção de fornecedores, vários métodos foram estudados. O AHP é um método de tomada de decisão multicritério que permite a comparação e a priorização de alternativas com base em critérios relevantes, considerando as suas ponderações hierárquicas. É um método amplamente utilizado devido à sua capacidade de lidar com a complexidade e a subjetividade inerentes a este tipo de decisão.

Nesta dissertação, foi desenvolvida uma aplicação informática que incorpora o método AHP para apoiar o processo de seleção de fornecedores. A aplicação permite que um utilizador defina os critérios relevantes, estabeleça as ponderações hierárquicas e compare as alternativas de fornecedores com base nesses critérios, podendo atribuir pesos às comparações emparelhadas de acordo com as suas preferências individuais.

Além disso, a aplicação informática inclui recursos que facilitam a visualização dos resultados obtidos e a geração de relatórios, auxiliando na tomada de decisão de forma mais objetiva e transparente. Esta ferramenta contribui para uma seleção de fornecedores mais informada, considerando os critérios importantes para a organização e as preferências dos decisores.

Esta dissertação envolveu a implementação da aplicação informática e a sua validação por meio de um estudo de caso numa indústria de torrefação de café no Brasil, sendo que os resultados obtidos demonstraram a eficácia e a utilidade da aplicação, destacando a sua capacidade de simplificar o processo e fornecer uma visão mais clara das alternativas de fornecedores.

Em suma, esta dissertação contribui para a área da seleção e avaliação de fornecedores, fornecendo uma aplicação informática que utiliza o método AHP. A aplicação desenvolvida oferece uma metodologia de suporte aos tomadores de decisão, simplificando e melhorando o processo de seleção de fornecedores, resultando em decisões mais fundamentadas e alinhadas com os objetivos estratégicos das organizações.

**Palavras-chave:** Seleção e Avaliação de Fornecedores; Métodos Multicritério; AHP; Software de Apoio à Tomada de Decisão

## **Abstract**

Supplier selection is a strategic activity for organizations because it directly influences the quality, efficiency and competitiveness of their operations. However, this process can be complex and challenging, as it involves analyzing multiple criteria and making decisions based on subjective judgments.

To facilitate and perfect supplier selection, several methods have been studied. AHP is a multi-criteria decision-making method that allows the comparison and prioritization of alternatives based on relevant criteria, considering their hierarchical weightings. It is a widely used method due to its ability to deal with the complexity and subjectivity inherent in this type of decision.

In this dissertation, a software application incorporating the AHP method was developed to support the supplier selection process. The application allows a user to define the relevant criteria, establish the hierarchical weightings and compare the supplier alternatives based on these criteria, and can also assign weights to the paired comparisons according to their individual preferences.

In addition, the software application includes features that facilitate the visualization of the results obtained and the generation of reports, assisting in decision making in a more objective and transparent way. This tool contributes to a more informed supplier selection, considering the criteria important to the organization and the preferences of the decision makers.

This dissertation involved the implementation of the software application and its validation through a case study of a coffee roasting industry in Brazil, and the results obtained demonstrated the effectiveness and usefulness of the application, highlighting its ability to simplify the process and provide a clearer view of supplier alternatives.

In summary, this dissertation contributes to the area of supplier selection and evaluation by providing a software application that uses the AHP method. The developed application offers a methodology to support decision makers, simplifying and improving the supplier selection process, resulting in more informed decisions aligned with the strategic objectives of organizations.

**Keywords:** Supplier Selection and Evaluation; Multicriteria Methods; AHP; Decision Support Software

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Metodologia de Investigação . . . . .	3
1.4	Estrutura da Dissertação . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Contextualização Teórica</b>	<b>6</b>
2.1	Tomada de decisão . . . . .	6
2.1.1	Elementos da tomada de decisão . . . . .	7
2.1.2	O processo de tomada de decisão . . . . .	7
2.1.3	Tipos de problema de tomada de decisão . . . . .	9
2.1.4	Tipos de relações de preferência . . . . .	10
2.1.5	A qualidade das informações para a tomada de decisão . . . . .	11
2.2	O fornecedor . . . . .	12
2.3	Seleção e avaliação de fornecedores . . . . .	12
2.3.1	Fases do processo de seleção e avaliação de fornecedores . . . . .	14
2.3.2	Critérios de seleção e avaliação de fornecedores . . . . .	17
2.4	Métodos de seleção e avaliação de fornecedores . . . . .	21
2.5	Métodos multicritério de apoio à tomada de decisão . . . . .	23
2.5.1	ELECTRE . . . . .	24
2.5.2	PROMETHEE . . . . .	28
2.5.3	AHP . . . . .	33
2.5.4	TOPSIS . . . . .	38
2.5.5	BWM . . . . .	43
2.5.6	WASPAS . . . . .	46
2.5.7	Teoria dos Conjuntos <i>Fuzzy</i> . . . . .	49
2.6	Classificações da literatura de seleção e avaliação de fornecedores . . . . .	52
<b>3</b>	<b>Sistema de apoio à decisão para a seleção e avaliação de fornecedores</b>	<b>55</b>
3.1	Modelo proposto . . . . .	55
3.1.1	Etapa 1 . . . . .	56
3.1.2	Etapa 2 . . . . .	57
3.2	Implementação do modelo proposto . . . . .	58
3.3	Arquitetura do sistema de apoio à tomada de decisão . . . . .	59
3.3.1	Base de Dados . . . . .	60
3.3.2	Camada Lógica . . . . .	62

3.3.3	Interface Gráfica com o Utilizador . . . . .	62
<b>4</b>	<b>Validação da aplicação desenvolvida</b>	<b>73</b>
4.1	Caso de estudo duma fábrica de torrefação de café do Brasil . . . . .	73
4.2	Aplicação da ferramenta desenvolvida ao caso de estudo . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Conclusões e recomendações</b>	<b>79</b>
	<b>Referências</b>	<b>81</b>

## Índice de Figuras

A complexidade e importância das decisões de seleção de fornecedores . . . . .	13
Formas de selecionar fornecedores . . . . .	14
O processo dinâmico da seleção de fornecedores . . . . .	15
O processo da seleção de fornecedores . . . . .	15
Função de pertinência triangular assimétrica . . . . .	49
Classificação dos critérios e métodos de seleção de fornecedores desde 1960 . . . . .	54
Fluxograma com as etapas do modelo concebido para o apoio à tomada de decisão proposto . . . . .	55
Fluxograma respectivo ao processo de identificação dos critérios e definição dos pesos correspondentes . . . . .	56
Fluxograma respectivo ao processo de identificação dos fornecedores e obtenção da classificação final dos mesmos . . . . .	58
Arquitetura do sistema informático desenvolvido . . . . .	60
Separador <i>Suppliers</i> . . . . .	64
Exemplo de visualização do separador <i>Suppliers</i> após uma atualização bem sucedida	65
Menu pop-up de validação da seleção para as alternativas de fornecedor. . . . .	66
Separador <i>Criteria</i> . . . . .	66
Separador <i>Parameters</i> . . . . .	67
Comparações entre critérios. . . . .	68
Campos de entrada dos critérios quantitativos. . . . .	69
Disposição dos <i>widgets</i> do separador <i>Decision</i> . . . . .	70
Listas completas com os vetores das prioridades relativas dos critérios e das alternativas de fornecedor. . . . .	70
Classificação das alternativas de fornecedor após o clique no botão “ <i>Show Rankings</i> ”.	71
Exemplo de um gráfico de barras com alternativas de fornecedores desenhado após o clique no botão “ <i>Bar Chart</i> ”. . . . .	71
Exemplo de um desenho de gráfico circular com alternativas de fornecedores desenhado após clique no botão “ <i>Pie Chart</i> ”. . . . .	72
Esquema do método AHP utilizado para a seleção e avaliação de fornecedores, dividido em três níveis: objetivo geral, critérios relevantes, e identificação de alternativas . . . . .	73
Posicionamento dos <i>sliders</i> nas comparações emparelhadas entre cada critério. . . . .	76
Valores de cada alternativa de fornecedor para os critérios quantitativos. . . . .	77
Posicionamento dos <i>sliders</i> nas comparações emparelhadas para o critério <i>taste</i> . . . . .	77
Gráficos de barras das percentagens globais de cada alternativa de fornecedor (a considerar/sem considerar os pesos de cada critério). . . . .	78

Gráficos circulares das percentagens globais de cada alternativa de fornecedor (a considerar/sem considerar os pesos de cada critério). . . . .	78
---	----

## Índice de Tabelas

Elementos do processo de tomada de decisão . . . . .	7
Etapas do processo de tomada de decisão . . . . .	8
Classificação dos tipos de problemas de tomada de decisão . . . . .	9
Classificação dos tipos de problemas quanto à sua estrutura . . . . .	10
Situações básicas de preferências . . . . .	11
Fases da seleção de fornecedores . . . . .	16
Os 23 critérios de seleção de Dickson . . . . .	18
Comparação das posições entre os critérios de Dickson e os critérios de C. A. Weber et al. . . . .	19
Agrupamento dos critérios proposto por Avila et al. . . . .	21
Ramos da família ELECTRE . . . . .	25
Classificação inicial dos fornecedores do método ELECTRE TRI . . . . .	27
Matriz de concordância do método ELECTRE TRI . . . . .	27
Matriz de discordância do método ELECTRE TRI . . . . .	27
Matriz de <i>outranking</i> do método ELECTRE TRI . . . . .	28
Variantes da família PROMETHEE . . . . .	31
Pontuação dos critérios do método PROMETHEE II . . . . .	32
Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C1 . . . . .	32
Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C2 . . . . .	32
Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C3 . . . . .	32
Matriz do grau de sobreclassificação das alternativas do método PROMETHEE II . . . . .	33
Matriz de ordenação final das alternativas do método PROMETHEE II . . . . .	33
Escala Fundamental de Saaty . . . . .	34
Valores de ICA para matrizes quadradas de ordem n . . . . .	36
Matriz de comparação entre critérios do método AHP . . . . .	37
Padronização dos valores quantitativos correspondentes ao critério C1 . . . . .	37
Padronização dos valores quantitativos correspondentes ao critério C2 . . . . .	37
Padronização dos valores qualitativos correspondentes ao critério C3 . . . . .	38
Cálculos matriciais para a obtenção do vetor das prioridades de cada alternativa do método AHP . . . . .	38
Matriz de decisão na generalidade do método TOPSIS . . . . .	39
Matriz de decisão do método TOPSIS . . . . .	41
Somatório da raiz quadrada das classificações obtidas . . . . .	41
Matriz de decisão padronizada do método TOPSIS . . . . .	41
Pesos dos critérios do método TOPSIS . . . . .	42
Matriz de decisão pesada e padronizada através do método TOPSIS . . . . .	42

Soluções ideais do método TOPSIS . . . . .	42
Resultados dos cálculos das medidas de separação e da proximidade relativa à solução ideal do método TOPSIS . . . . .	43
Valores do IC para comparações entre 2 a 9 critérios . . . . .	44
Valores do limiar de RC . . . . .	45
Comparações $A_{Mj}$ (melhor critério em relação ao critério j) . . . . .	45
Comparações $A_{jP}$ (critério j em relação ao pior critério) . . . . .	45
Matriz de decisão do método BWM . . . . .	46
Matriz de decisão do método WSM . . . . .	47
Matriz de decisão do método WPM . . . . .	48
Tipos de funções de pertinência usadas na teoria dos conjuntos <i>fuzzy</i> . . . . .	50
Exemplo duma representação de termos linguísticos em números <i>fuzzy</i> triangulares . . . . .	51
Avaliações linguísticas dos fornecedores F1 e F2 . . . . .	51
Matriz de julgamento dos números <i>fuzzy</i> triangulares para os fornecedores F1 e F2 . . . . .	52
Matriz de julgamento dos valores “ <i>crisp</i> ” para os fornecedores F1 e F2 . . . . .	52
Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados dos fornecedores na base de dados . . . . .	61
Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados dos critérios na base de dados . . . . .	61
Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados das avaliações registadas na base de dados . . . . .	62
Comparações emparelhadas dos critérios . . . . .	74
Classificação dos critérios. . . . .	74
Valores correspondentes a cada critério quantitativo para os fornecedores A,B,C e D . . . . .	75
Vetores das prioridades padronizados (prioridades locais) dos fornecedores A, B, C e D . . . . .	75
Comparações emparelhadas entre as alternativas relativamente ao critério <i>taste</i> . . . . .	75
Matriz de decisão do método AHP para o caso de estudo de Pacheco et al. (2022) . . . . .	76

## **Lista de abreviaturas**

**AHP** *Analytic Hierarchy Process*

**BWM** *Best-Worst Method*

**COVID-19** *Coronavirus disease 2019*

**DEA** *Data Envelopment Analysis*

**ELECTRE** *Élimination Et Choix Traduisant la REalité*

**IC** Índice de Consistência

**ICA** Índice de Consistência Aleatória

**MARSAN** *Methode d'Analyse, de Recherche, et de Selection d'Activities Nouvelles*

**MCDM** *Multi-Criteria Decision-Making*

**NoSQL** *Not Only SQL*

**PME** Pequena e Média Empresa

**PROMETHEE** *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*

**RC** Razão de Consistência

**SAD** Sistemas de Apoio à Decisão

**SAW** *Simple Additive Weighting*

**SQL** *Structured Query Language*

**TCO** *Total Cost of Ownership*

**TOPSIS** *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

**WASPAS** *Weighted Aggregated Sum Product Assessment*

**WPM** *Weighted Product Model*

**WSM** *Weighted Sum Model*

# 1 Introdução

Na era moderna, diversas crises afetaram o sistema económico mundial, sendo que as principais foram causadas por guerras. No entanto, a origem de algumas crises económicas pode ter um carácter sanitário, pondo em causa todo o sistema de saúde global. Estão bastante presentes na memória coletiva, os efeitos da pandemia causada pelo *Coronavirus disease 2019* (COVID-19), principalmente na economia - houve uma desaceleração económica na maioria dos setores industriais.

Atualmente, num clima onde parecia existir alguma recuperação económica e financeira dos países, outros conflitos reforçaram a necessidade de uma boa gestão dos recursos. A título de exemplo, o impacto económico da guerra entre a Rússia e a Ucrânia está a atingir duramente a Europa. A economia europeia sente os efeitos do impacto deste conflito, tendo havido um aumento dos preços da energia e dos níveis de inflação. A Ucrânia e a Rússia são dois grandes países exportadores de bens essenciais para a indústria. Dentro desses bens, destacam-se na Ucrânia: cabos, na sua maioria destinados à indústria automóvel, mas também ao setor aeroespacial e laminados planos, de ferro ou aço não ligado. Por sua vez, destacam-se na Rússia: óleos de petróleo, gás de petróleo e outros hidrocarbonetos gasosos (Aníbal et al., 2022). Face a estas adversidades, o mercado industrial atual torna-se, cada vez mais, dinâmico, em todos os setores da indústria. Desta forma, é importante encontrar soluções e processos flexíveis, ajustáveis e com habilidade de respostas rápidas para, desta maneira, poder existir uma sustentabilidade económica e, conseqüentemente, uma longevidade das empresas.

No contexto competitivo em que as empresas se encontram, torna-se necessário o desenvolvimento e a implementação de diferenciais que permitam a sobrevivência num mercado, cada vez mais, volátil, em constante mudança e em constante mutação. Neste cenário, os critérios de seleção e avaliação de fornecedores podem ser utilizados no contexto da gestão da cadeia de abastecimento. Torna-se evidente que a gestão efetiva desta cadeia consiste numa vantagem competitiva para as organizações que a compõem (Langendyk, 2002).

O desenvolvimento favorável duma Pequena e Média Empresa (PME) determina a sustentabilidade das operações económicas (Tong et al., 2022). Nos últimos anos, as PME têm enfrentado cenários onde existe cada vez mais pressão. Dadas as limitações existentes, quer a nível de fundos de maneiio, quer a nível de poder de negociação, estas empresas encontram-se, com alguma frequência, em desvantagem nas suas relações com os fornecedores. Uma vez que a maioria da literatura existente não tem esta preocupação (de perceber a dimensão empresarial), serve, a presente dissertação, como uma ferramenta de suporte para potenciar o estudo do comportamento das PME, uma vez que elas constituem a maioria do tecido empresarial do nosso país.

## 1.1. Enquadramento

Trabalhos notáveis relativos ao comportamento da compra organizacional foram desenvolvidos entre a década de 60 e 70, nos quais se incluem o modelo do processo de compra industrial, o modelo geral para entender o comportamento da compra organizacional e o modelo de comportamento do comprador industrial (Quedas et al., 2010). Estes modelos levaram a novas descobertas nesse campo e, desde essa altura, influenciaram o interesse académico na investigação acerca do processo da compra organizacional.

Neste sentido, processos de seleção de fornecedores eficazes têm de ser implementados, para poder haver uma gestão de sucesso da cadeia de abastecimento. Nydick e Hill (1992) consideram a seleção de fornecedores como a fase de maior relevo em todo o processo de compras. Os mesmos autores também consideram que as organizações, tendo em vista a escolha do melhor fornecedor, devem considerar múltiplos critérios na altura da tomada de decisão. Adicionalmente, os critérios de seleção de fornecedores também devem ser formulados para que se possam desenvolver parcerias e relações duradouras (Monczka et al., 2008). A avaliação dos fornecedores é a última fase deste processo e, na sua generalidade, consiste na medição do desempenho do fornecedor em relação às expectativas do cliente (Prahinski e Benton, 2004). A avaliação do desempenho dos fornecedores, permite, também, a eliminação de parceiros não qualificados (Che e Wang, 2010). Assim sendo, estas práticas permitem aumentar a eficiência da gestão da cadeia de abastecimento e ajuda a evitar riscos de fiabilidade e flexibilidade, satisfazendo as necessidades logísticas das empresas (Černá e Buková, 2016).

Os sistemas de informação são muito úteis na reunião de informação disponível sobre as decisões a adotar, sendo, por isso, determinantes em todo o processo de tomada de decisão. Contudo, a mera reunião de informação e a sua célere disponibilização, não são suficientes. O auxílio a uma decisão, por via de um processo interativo de aproximação à melhor solução, constitui uma ferramenta preciosa, que os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) podem oferecer aos gestores. Pode definir-se SAD como: “qualquer sistema de informação suportado em meios informáticos, que combina modelos e dados com a finalidade de resolver problemas não estruturados ou semiestruturados, permitindo um grande envolvimento dos utilizadores”. Uma arquitetura de SAD integra, fundamentalmente, quatro grandes subsistemas: (1) Dados; (2) Modelos; (3) Comunicação e (4) Conhecimento (Vieira, 2003).

A metodologia de Logística *Lean* (ou *Lean logistics*) é uma filosofia de gestão e organização de operações de origem japonesa - Sistema Toyota de Produção. Aplicar *Lean Logistics* à cadeia de abastecimento consiste em identificar e eliminar as atividades que não agregam valor para, dessa forma, poder aumentar a velocidade e o fluxo de produtos, minimizando, assim, os custos. É com base nestes parâmetros que os modelos e algoritmos para a seleção e avaliação de fornecedores na gestão desta cadeia são, cada vez mais, importantes no desenvolvimento duma filosofia *Lean* dentro duma empresa. O objetivo principal deste

trabalho é o de desenvolver um SAD que seja rápido, forneça uma resposta fidedigna e que permita alavancar um processo de compra mais eficiente e mais eficaz.

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo identificar quais os fatores críticos na seleção de fornecedores, bem como na sua avaliação. Estes fatores vão influenciar o processo de tomada de decisão quando inseridos nos modelos e algoritmos utilizados pelas empresas. Desta forma, podem identificar-se alguns objetivos mais específicos:

- estudo do modelo concetual de seleção e avaliação de fornecedores;
- identificação dos principais critérios utilizados na seleção e avaliação de fornecedores;
- análise dos principais modelos e algoritmos utilizados no processo de seleção e avaliação de fornecedores;
- criação de um modelo (ou algoritmo) para a seleção e avaliação de fornecedores;
- teste, avaliação e análise de sensibilidade ao modelo (ou algoritmo) desenvolvido através da disponibilização de um simulador.

Para alcançar os objetivos propostos será realizada uma revisão da literatura no que concerne a modelos, algoritmos e métodos de seleção e avaliação de fornecedores, bem como aos fatores, parâmetros e critérios que influenciam a tomada de decisão. Pretende-se, também, a disponibilização de um SAD que ajude os gestores das diferentes empresas a selecionar e avaliar os respetivos fornecedores, complementando-o com a criação de um simulador informático que considere os parâmetros ponderados no modelo estipulado.

## 1.3. Metodologia de Investigação

Esta dissertação emprega uma metodologia de investigação que visa compreender e analisar os métodos utilizados pelas organizações para selecionar e avaliar os seus fornecedores. Para garantir uma compreensão abrangente e rigorosa do tema, foi determinado que seriam utilizadas as seguintes bases de dados: *ScienceDirect*, *CORE* e *ResearchGate*. O *ScienceDirect* é um portal cuja sua base de dados contempla artigos periódicos multidisciplinares e revistos por pares, abrangendo a investigação nos domínios da ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e humanas. Por sua vez, o *CORE* é um portal que atua da mesma forma que o *ScienceDirect*, com o foco mais voltado para artigos de acesso aberto e para os domínios da economia. Adicionalmente, outro tipo de documentos (como dissertações

ou teses) podem ser encontrados nesta base de dados. Por último, o *ResearchGate* é uma rede profissional dedicada à colaboração e partilha de investigação científica entre cientistas, investigadores e académicos. No entanto, convém referir que a validade e a fiabilidade das informações partilhadas na plataforma podem variar, pelo que se deve verificar sempre a autenticidade das fontes e das informações provenientes da mesma.

Este estudo é uma pesquisa focada na problemática da seleção e avaliação de fornecedores. Tendo em conta este facto, a investigação será dividida em duas partes: a primeira consiste na realização duma contextualização teórica das contribuições geradas sobre o tema, de maneira a facilitar a compreensão das metodologias mais utilizadas para solucionar o problema em estudo e a segunda consiste na validação do modelo desenvolvido através da utilização de casos de estudo conhecidos na literatura.

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos.

No capítulo um, é feita uma introdução geral ao problema estudado e ao objeto da investigação. É feito um enquadramento do tema, são abordados os objetivos e a estrutura do trabalho desenvolvido.

O capítulo dois é composto por uma contextualização teórica, dividida em três fases. Numa primeira fase serão explorados alguns conceitos teóricos para explicar, no contexto, o tema deste trabalho. Na segunda fase, uma exploração de alguns dos modelos que poderão ser utilizados para o desenvolvimento do processo de investigação irá ser realizada, abordando os passos que envolvem a sua resolução e dando exemplos da sua aplicação. E, finalmente, a terceira fase irá classificar estas abordagens, agrupando-as em certos grupos de categorias a considerar.

O terceiro capítulo é composto por uma formulação de um modelo para solucionar o desafio da seleção e avaliação de fornecedores. Este capítulo serve para repensar os modelos e as técnicas exploradas no capítulo anterior, para, desta maneira, formular um modelo ajustado às necessidades do mercado português. No mesmo capítulo, ocorre uma implementação do modelo desenvolvido. É feita a transição do modelo para uma aplicação de *software*. Uma aplicação gráfica é desenvolvida, com vista a implementar a solução proposta. A solução criada é extensivamente explorada.

No capítulo quatro, há uma discussão dos resultados obtidos – com o propósito de explicar o significado dos mesmos. O principal foco deste capítulo é evidenciar a importância do tema escolhido, de que forma este se relaciona com o conhecimento que já existe sobre o assunto e quais são as limitações encontradas no desenvolvimento do trabalho de investigação proposto.

Por último, no quinto capítulo, alguns dos tópicos analisados durante o capítulo dois

serão mencionados, mostrando o trabalho desenvolvido sobre eles e apresentando algumas conclusões gerais. Adicionalmente, serão referidas quais foram as aprendizagens e as observações retiradas no desenvolvimento deste trabalho de investigação, nomeadamente: limitações, sugestões para investigações futuras, entre outras.

## 2 Contextualização Teórica

Neste capítulo, apresenta-se o contexto e a relevância do tema escolhido, dividindo a pesquisa e a investigação feita em quatro questões fulcrais: “O que se entende, quando se fala em tomada de decisão?”; “Qual é o papel do fornecedor na tomada de decisão?”; “Como é que se dá o processo de seleção e avaliação de fornecedores?”; e “Quais são os principais métodos utilizados no processo de seleção e avaliação de fornecedores?”.

### 2.1. Tomada de decisão

Antes de serem abordados os conceitos e métodos relacionados com a seleção e avaliação de fornecedores, torna-se necessário entender o que é uma decisão. O termo decisão tem origem no grego *deceadere* e significa: parar de cortar ou deixar fluir. Uma decisão surge sempre que se configura uma situação em que exista mais do que uma alternativa viável de solução para um determinado problema.

O livro de Herbert Simon “Comportamento Administrativo” (publicado em 1947) foca-se no comportamento humano no processo de tomada de decisão, sendo uma referência no estudo das ciências sociais (Ferreira, 2020). Nessa publicação, Herbert Simon considera que grande parte dos seres humanos são pessoas parcialmente racionais (deixam-se levar pelos seus impulsos emocionais em diversas ocasiões).

Frequentemente, o ato de decidir encontra-se presente no nosso dia-a-dia. Em cada decisão que é realizada, está presente um palpite sobre o futuro (Bennet e Bennet, 2008). Desta maneira, o decisor vê-se constantemente forçado a construir palpites acerca de quais serão os resultados das suas ações e das suas decisões. À medida que os cenários ficam muito mais complexos, as consequências ficam, ainda mais, difíceis de prever, o que faz com que o processo de tomada de decisão esteja em constante mutação, de modo a poder adaptar-se a este novo grau de complexidade.

De acordo com Gomes et al. (2014), podem classificar-se as decisões da seguinte maneira:

- **Decisões simples:** decisões, tipicamente, tomadas por uma pessoa (ou, no máximo, entre duas pessoas). Tendo em conta estes fatores, tradicionalmente, estas decisões implicam menos parâmetros, menos incertezas e menos riscos.
- **Decisões complexas:** decisões, frequentemente, tomadas por um conjunto de pessoas. Normalmente, estas decisões consideram vários objetivos e os seus impactos dificilmente podem ser identificados corretamente.

### 2.1.1. Elementos da tomada de decisão

Roy (1996) afirma que a tomada de decisão é o processo de obtenção de *inputs* capazes de solucionar as questões levantadas sobre o processo de decisão pelas partes interessadas nos assuntos, tais como: clientes, acionistas, colaboradores, fornecedores, sociedade, governos, entre outras. Esta atividade é, na sua generalidade, realizada por uma pessoa (ou um grupo de pessoas) através de métodos formalizados e estruturados, mas que nem sempre são e estão completos.

Os modelos de apoio à tomada de decisão são constituídos por alguns elementos comuns. A saber: decisores, modelos, analistas, critérios e alternativas, conforme se caracteriza na Tabela 1.

**Tabela 1:** Elementos do processo de tomada de decisão (Adaptado de Bana et al. (1990); Roy (1996); Gomes et al. (2014))

<b>Elemento</b>	<b>Definição</b>
<b>Decisores</b>	São os atores que têm o poder de decidir sobre o problema analisado, ou apenas influenciam de alguma forma no processo de decisão, de acordo com os seus juízos de valor ou com as suas relações com o problema.
<b>Modelos</b>	São uma representação mental ou figurativa de grupos de fenómenos observados a partir de um determinado ambiente, na busca destes ajudarem na análise e na fundamentação das alternativas do problema de decisão, facilitando o processo da tomada de decisão para os decisores.
<b>Analistas</b>	São os apoiantes do processo de tomada de decisão, que possuem experiência ou especificidade na utilização de ferramentas ou técnicas conhecidas. A sua função é a de seleccionar o modelo de decisão mais adequado ao problema, obter os resultados do modelo, levantar as consequências de cada alternativa e recomendar a melhor solução.
<b>Critérios</b>	Representam um conjunto de preferências do tomador de decisão ordenadas em função dos valores associados pelos decisores.
<b>Alternativas</b>	São o conjunto de elementos que serão avaliados em função dos critérios estabelecidos para o problema.

### 2.1.2. O processo de tomada de decisão

Ferreira (2020) cita o trabalho de János Fülöp (2005), que estima que o processo de tomada de decisão se divide em 8 etapas, as quais são descritas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Etapas do processo de tomada de decisão (Adaptado de Ferreira (2020))

<b>Etapa</b>	<b>Definição</b>
<b>(1) Definição do problema</b>	Identificação dos limites organizacionais, das crenças limitantes, das raízes e das questões possivelmente levantadas pelas partes interessadas que são envolvidas no processo. O objetivo principal desta etapa é o de deixar claras as condições iniciais e as condições desejadas.
<b>(2) Determinar os requisitos</b>	Os requisitos têm de ser definidos como “condições a que qualquer solução aceitável para o problema deve atender” (Ferreira, 2020). Do ponto de vista matemático, os requisitos traduzem-se em restrições que caracterizam o conjunto de soluções possíveis para solucionar um determinado problema. Tipicamente, são expressos sob a forma quantitativa.
<b>(3) Definir os objetivos</b>	Os objetivos podem ser apresentados como “declarações amplas de intenções e valores programáticos desejáveis” (Ferreira, 2020). Tipicamente, os objetivos caminham num sentido inverso ao dos requisitos, o que pode gerar conflitos entre ambos.
<b>(4) Identificar as alternativas.</b>	Etapa onde as alternativas para solucionar o problema definido têm de ser identificadas. Estas representam a maneira como a condição inicial é alterada, de maneira a atingir a condição desejada, segundo os requisitos definidos. Isto acontece se o número de alternativas identificadas for finito.
<b>(5) Definir os critérios</b>	A definição dos critérios tem de ter como base os objetivos definidos anteriormente. Desta forma, os critérios definidos traduzem-se em medidas objetivas que permitem avaliar como cada alternativa atinge as suas, respetivas, metas.
<b>(6) Selecionar uma ferramenta para a tomada de decisão</b>	A seleção apropriada de uma ferramenta de suporte depende muito do problema em si, bem como dos objetivos definidos. Existem ocasiões em que o contexto pode permitir métodos mais simples e existem ocasiões que só podem ser solucionadas com métodos mais complexos.
<b>(7) Avaliar as alternativas, tendo em conta os critérios</b>	Os dados de entrada correspondem à avaliação de cada alternativa, tendo como foco os critérios definidos anteriormente. Consoante o critério, a avaliação pode ser crítica ou factual, o que se reflete na subjetividade do decisor.
<b>(8) Validar as soluções com base na declaração do problema</b>	Validação das alternativas, de maneira a avaliar a relação direta que estas estabelecem com os objetivos e requisitos do problema de tomada de decisão definidos anteriormente.

Roy (1996), por seu turno, propõe que o processo de tomada de decisão é composto por quatro etapas distintas. A saber:

1. definir quais são as possibilidades, em que condições estas podem acontecer (ações ou potenciais ações) e estabelecer a problemática;
2. indicar preferências, pelo meio da comparação de ações, modelação das consequências e desenvolvimento de critérios;
3. modelação de preferências abrangentes; e
4. elaboração de recomendações consoante os resultados da etapa 3.

### 2.1.3. Tipos de problema de tomada de decisão

Por outro lado, Roy (1996) explica que é necessário analisar o problema proposto, de maneira a identificar a sua tipologia. Segundo o mesmo, a modelação do problema é um fator que influencia bastante na escolha do método de análise a ser aplicado ao estudo. Nesse sentido, o autor define os tipos de problemas que se encontram classificados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Classificação dos tipos de problemas de tomada de decisão (Adaptado de Roy (1996))

<b>Tipo de problema</b>	<b>Definição</b>
<b><math>\alpha</math></b>	Trata-se de um <b>problema de escolha</b> , em que o objetivo é facilitar o entendimento do decisor sobre determinada decisão dentro de um conjunto de alternativas possíveis.
<b><math>\beta</math></b>	É um <b>problema de classificação</b> , que tem como objetivo associar cada alternativa de solução a um determinado grupo ou classe, que serão definidos a partir de regras aplicadas ao conjunto de alternativas.
<b><math>\gamma</math></b>	Representa um <b>problema de ordenação</b> e o seu objetivo é o de ordenar as alternativas de solução do problema de acordo com as preferências do decisor.
<b><math>\delta</math></b>	O <b>problema de descrição</b> tem como objetivo apoiar o processo de tomada de decisão pela definição de cada alternativa de solução e as suas possíveis consequências.

Por sua vez, Gomes et al. (2014) classificam os problemas em relação à sua estrutura, tal como se pode observar na Tabela 4.

**Tabela 4:** Classificação dos tipos de problemas quanto à sua estrutura (Retirado de Gomes et al. (2014))

<b>Tipo de problema</b>	<b>Definição</b>
<b>Estruturado</b>	Problema em que a solução é alcançada através de processos lógicos e bem definidos, em que a ação é conhecida e a decisão está relacionada com consequências conhecidas. Trata-se de um problema com certeza determinística.
<b>Semiestruturado</b>	Problema que faz uso de modelos matemáticos para as partes estruturadas, enquanto que a decisão final é tomada de forma subjetiva e de difícil quantificação. Neste tipo de problemas, as consequências são conhecidas e probabilísticas e o decisor aplica um julgamento sobre as alternativas possíveis.
<b>Não Estruturado</b>	Problema sem um processo lógico e bem definido para a sua resolução devido à falta de quantificação dos seus elementos. A sua resolução tem como base a intuição humana, estando sujeito a probabilidades desconhecidas ou possibilidades subjetivas.

#### **2.1.4. Tipos de relações de preferência**

Após a definição do tipo de problema, torna-se necessário definir as preferências do decisor quanto ao conjunto das alternativas que lhe são apresentadas e, por conseguinte, determinar as consequências dessas preferências.

Uma vez mais, Roy (1996) explica que as preferências são relações binárias que estabelecem ligações entre dois objetos ou descrevem se há presença (ou não) de determinada propriedade. Nesse contexto, a modelação do tipo de relação de preferência irá apoiar o processo de tomada de decisão mediante as condições que expressem as preferências do decisor, quando as alternativas são comparadas duas a duas. O mesmo autor afirma que estas comparações são modeladas através de um sistema de relações de preferências. Assim sendo, estabelecem-se as relações de preferência representadas na Tabela 5.

**Tabela 5:** Situações básicas de preferências (Retirado de Gomes et al. (2014))

<b>Tipo de Preferência</b>	<b>Descrição</b>
<b>Indiferença (I)</b>	Existência de razões claras e positivas que justificam uma equivalência entre duas alternativas.
<b>Preferência estrita (P)</b>	Existência de razões claras e positivas que justificam uma preferência significativa em relação a uma das duas alternativas.
<b>Preferência fraca (Q)</b>	Existência de razões claras e positivas que não implicam uma preferência estrita de valor em favor de uma das duas alternativas, mas que essas razões são insuficientes para se deduzir uma preferência estrita em favor da outra, ou relação de indiferença entre as duas alternativas, o que não permite diferenciar nenhuma das duas alternativas.
<b>Incomparabilidade (R)</b>	Inexistência de razões claras e positivas que justifiquem uma das três situações precedentes.

### **2.1.5. A qualidade das informações para a tomada de decisão**

No contexto da seleção e avaliação de fornecedores, encontrar a assertividade no processo de tomada de decisão torna-se difícil, uma vez que as informações relevantes, muitas vezes, são de natureza heterogênea, imprecisas e difíceis de processar. Tendo isto em conta, Viet et al. (2018) definem que as informações úteis para a tomada de decisão na gestão da cadeia de abastecimento possuem três requisitos. Estas devem ser: precisas, pontuais e detalhadas (i.e., devem refletir a realidade subjacente, devem ser atualizadas constantemente e devem possuir diferentes níveis de detalhe). A utilização das informações no processo de tomada de decisão é determinada pelas exigências do trabalho, pelas exigências do ambiente social, pela falta de conhecimento individual, pela experiência emocional, bem como pela subjetividade. E é a subjetividade que permeia em todo o processo de tomada de decisão, sendo este afetado por aspetos individuais, nem sempre numa maneira consciente.

Esta constante necessidade, de aumentar o volume de dados e de os disponibilizar em tempo real, requer a construção de novas infraestruturas e favorece adaptações à manipulação de informações (Tupa et al., 2017). No advento da Indústria 4.0, esta gestão da geração de informações acarreta, cada vez mais, desafios para as organizações. Habitualmente, as PME têm como principal desafio a centralização dos seus dados, enquanto que as grandes empresas têm como principal desafio a identificação dos dados mais relevantes (Li et al., 2019). Assim sendo, o investimento na recolha e partilha de informações, por si só, não garante um desempenho melhorado da cadeia de abastecimento, pelo que, na atualidade, apesar de haver uma elevada geração de dados, nem todos têm a mesma qualidade, valor ou importância para as suas exigências específicas.

## **2.2. O fornecedor**

O papel do fornecedor adquire, cada vez mais, uma crescente participação na performance geral das organizações, dando ênfase à construção de relacionamentos de parceria. Krause et al. (2001) afirmam que o foco da indústria está a virar-se para as atividades finais, passando a terceiros todas as demais atividades que não são principais ao negócio das mesmas. Assim sendo, as empresas acabam por se tornar, ainda mais, dependentes do desempenho dos seus fornecedores. Neste contexto, é imprescindível promover a coordenação das operações entre as organizações, o que exige a construção de relacionamentos estreitos, confiáveis e duradouros (Viana e Alencar, 2012).

De uma forma geral, as organizações têm duas opções de atividade estratégicas: ou desenvolvem o produto internamente ou adquirem os componentes para a sua montagem no mercado. A maioria dos autores é consensual na opinião de que a construção de parcerias e a cooperação entre empresas proporcionam inúmeras vantagens para os membros duma cadeia de abastecimento. Contudo, para que estas estratégias de cooperação possam vir a ter sucesso, é imprescindível o estabelecimento de parcerias com empresas competentes, confiáveis e comprometidas com o resultado de toda a cadeia (Viana e Alencar, 2012).

Neste contexto, o desempenho dos fornecedores passa a exercer um papel preponderante na qualidade dos produtos e dos serviços que serão oferecidos pelos seus contratantes. Tendo em conta esta preponderância, a agilidade de um fornecedor pode limitar as habilidades de um fabricante em responder às exigências do mercado (Christopher, 2000).

Atualmente, a indústria está cada vez mais seletiva, traduzindo todas estas novas exigências, do mercado atual, em diferentes critérios de seleção e avaliação. Esta diversidade, de critérios, tem aumentado a complexidade do processo seletivo, pelo que o problema da escolha do fornecedor torna-se, cada vez mais, complexo, quando se consideram todos estes aspetos.

## **2.3. Seleção e avaliação de fornecedores**

Os processos de decisão relacionados com a área do abastecimento envolvem seis sub-processos de problemas de decisão (Silva, 2013): fazer ou comprar; seleção de fornecedores; negociação de contratos; colaboração no desenvolvimento de produtos; logística inversa; e análise do abastecimento.

O processo da seleção de fornecedores adquire um papel, cada vez mais, fundamental no desempenho das organizações, seja porque ajuda as mesmas a atingir os seus objetivos, seja porque ajuda a construir um fluxo eficiente da cadeia de abastecimento, seja porque ajuda a reduzir os custos de compra, fazendo das empresas lugares mais competitivos nos

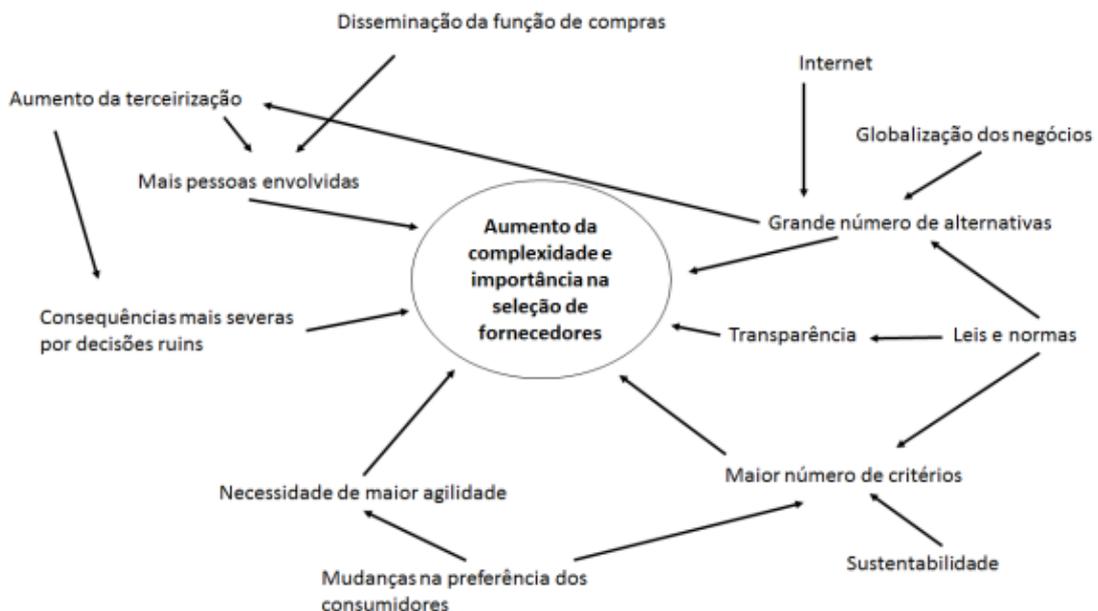
mercados e garantindo uma maior satisfação do utilizador final (Kumar e Seema, 2017).

Dependendo do contexto e da estratégia comercial, a seleção do número de fornecedores a adotar pelas organizações pode ser categorizada em: *single sourcing* (um único fornecedor) ou *multiple sourcing* (múltiplos fornecedores).

C. Weber et al. (2000) admitem que o processo da seleção do melhor fornecedor torna-se bastante complexo pelos seguintes aspetos:

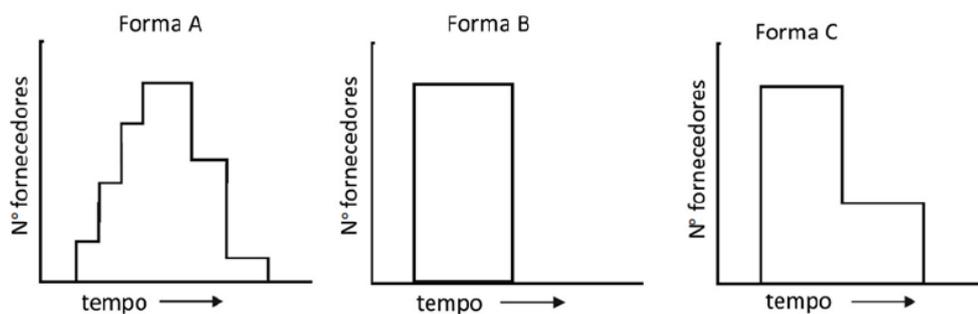
1. existe um grande número de opções de fornecedores que podem ser considerados;
2. os critérios de seleção são multi-variados e a combinação e seleção dos melhores critérios de performance é muito difícil; e
3. o fornecedor pode alterar o seu desempenho em relação aos critérios de maior relevância, estabelecidos pelos compradores.

De Boer et al. (2001) representam o impacto desta constante evolução, na complexidade do processo de seleção, através da Figura 1. Neste panorama, entende-se por seleção de fornecedores como o processo pelo qual vários fornecedores concorrentes são avaliados, através da utilização de critérios múltiplos que sejam um reflexo da estratégia organizacional, na busca da proposta mais vantajosa para a organização, garantindo a todos os interessados condições iguais de participação (Quedas et al., 2010; Viana e Alencar, 2012). Muito resumidamente, este processo caracteriza-se pela tomada de decisão, tendo em conta critérios, tangíveis e intangíveis, tais como: preço, qualidade, capacidade técnica, idoneidade, entre outros (Kumar e Seema, 2017).



**Figura 1:** A complexidade e importância das decisões de seleção de fornecedores (Adaptado de De Boer et al. (2001))

Por outro lado, De Boer (2017) define três formas que o processo de seleção de fornecedores pode tomar, dependendo do contexto onde este se insere (Figura 2). O primeiro método (forma A) consiste no agrupamento dos potenciais fornecedores. Posteriormente, através da utilização de vários critérios de seleção e avaliação, alguns desses potenciais fornecedores começam a ser descartados, antes dos pedidos de propostas de compra serem enviados, sendo que apenas um pequeno conjunto de potenciais fornecedores irá receber os mesmos pedidos. À posteriori, os potenciais fornecedores elaboram e enviam as suas propostas e, com base na avaliação das mesmas, o fornecedor mais apto será escolhido. O segundo método (forma B) consiste na publicação do pedido de proposta numa base de dados pública. Dessa maneira, todos os potenciais fornecedores da região terão acesso ao pedido de proposta, de modo que os interessados irão enviar as suas propostas, que serão analisadas ao mesmo tempo. Este método permite fazer a seleção numa instância só. No terceiro método (forma C), é anunciada a intenção de compra à cadeia de abastecimento. Posteriormente, os potenciais fornecedores avaliam os critérios do anúncio e enviam as suas propostas. Estas propostas são avaliadas e o número de candidatos é reduzido. De seguida, utiliza-se outro conjunto de critérios para analisar as ofertas e o fornecedor final é escolhido.

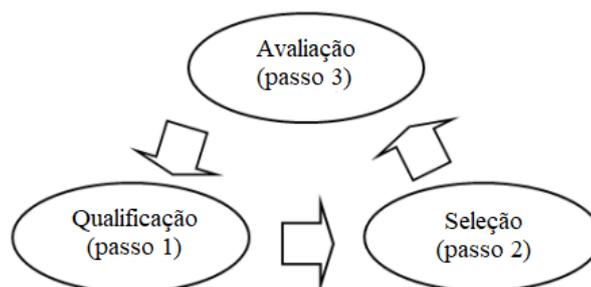


**Figura 2:** Formas de selecionar fornecedores (Adaptado de De Boer (2017))

### 2.3.1. Fases do processo de seleção e avaliação de fornecedores

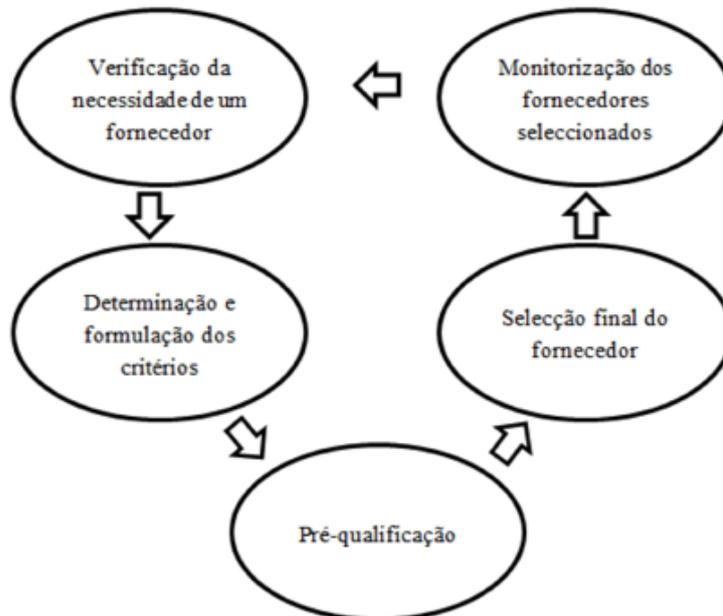
Vários autores consideram diversos números de fases para a seleção de fornecedores. Ilustram-se, de seguida, algumas considerações notáveis da literatura.

Avila et al. (2015) consideram a existência de apenas três etapas. Segundo os mesmos, a fase da seleção de fornecedores costuma ser a segunda etapa de todo o processo, que vem após uma fase de qualificação dos fornecedores e antes duma fase de avaliação dos mesmos (Figura 3). Como se trata de um procedimento que é contínuo e está sujeito a novas entradas e saídas de parceiros, este processo pode ser classificado como: contínuo e dinâmico.



**Figura 3:** O processo dinâmico da seleção de fornecedores (Adaptado de Avila et al. (2012))

Já De Boer e Van Der Wegen (2003) consideram a existência de cinco fases no processo de seleção de fornecedores (observáveis na Figura 4). Há uma fase inicial, onde se verifica se existe uma necessidade de encontrar um novo fornecedor. Se sim, a fase seguinte implica a determinação e formulação dos critérios de seleção e avaliação do fornecedor. Posteriormente, existe uma pré-qualificação, onde se estabelece contacto com os potenciais fornecedores, no sentido de filtrar informação que permita determinar se os mesmos cumprem com os requisitos formulados. Estando estabelecida uma lista de potenciais fornecedores, passa-se para o passo seguinte: o da seleção final dos fornecedores. Na etapa final, que se estabelece após a compra, é feita uma monitorização dos fornecedores que foram seleccionados.



**Figura 4:** O processo da seleção de fornecedores (Retirado de Mendes (2013))

Outra abordagem, encontrada por Wu e Barnes (2011), tem como base os conceitos presentes no trabalho de De Boer et al. (2001) e afirma que o processo da seleção de fornecedores possui quatro fases distintas (as quais se encontram extensivamente descritas na Tabela 6). Nesta abordagem, as quatro fases do processo de seleção e avaliação de fornecedores

previstas ajustam-se a diferentes tipos de processos de compra, que estão caracterizados em: compra nova (nova tarefa) ou recompra. Dentro da categoria de recompra, existe outra divisão em duas subcategorias: a recompra modificada (as circunstâncias do processo de compra alteram-se) e a recompra direta (as circunstâncias do processo de compra mantêm-se).

**Tabela 6:** Fases da seleção de fornecedores (Adaptado de Wu e Barnes (2011))

Fase	Nova tarefa	Recompra	
	Cadeia de abastecimento ágil	Recompra modificada	Recompra direta
<b>Formulação de critérios</b>	Não existem critérios utilizados anteriormente;  Conjunto inicial de parceiros moderado.	Critérios utilizados anteriormente disponíveis;  Grande conjunto de parceiros iniciais.	Critérios utilizados anteriormente disponíveis;  Pequeno conjunto de parceiros.
<b>Qualificação</b>	Triagem em vez de qualificação;  Sem registos históricos disponíveis.	Triagem bem como classificação;  Dados históricos disponíveis.	Triagem em vez de qualificação;  Dados históricos disponíveis.
<b>Seleção final</b>	Qualificação em vez de triagem;  Muitos critérios;  Muita interação;  Modelo usado uma vez.	Classificação em vez de triagem;  Menos critérios;  Menor interação;  Modelo usado novamente.	Avaliação em vez de seleção;  Alguns critérios;  Alguma interação;  Modelo usado novamente.
<b>Feedback aplicação</b>	Alguma procura nova por parte dos consumidores?  Modificar ou reconstruir os modelos usados anteriormente?	Alterar a estrutura atual de abastecimento?  A performance da estrutura da cadeia de abastecimento atual cobre a procura?	Fortes relações?  Mais alternativas?

### **2.3.2. Critérios de seleção e avaliação de fornecedores**

A procura e a escolha de um fornecedor acertado é uma tarefa bastante difícil e complexa para os departamentos de compras, uma vez que cada um dos fornecedores contemplados tem diferentes valências, sendo estas pontos a favor ou pontos contra a sua relação. O procedimento mais correto, para que a escolha seja sustentada e fidedigna, é considerar vários critérios de seleção e avaliação na decisão final, sendo que esta decisão acaba por ser uma conjugação de avaliações, mediante os critérios utilizados.

Definir os critérios de seleção de fornecedores é um processo bastante complexo, porque as decisões de compra podem ser baseadas num leque muito grande de fatores a serem considerados, quer estes sejam a categoria do produto ou serviço que se pretende adquirir, quer estes sejam a situação da compra, entre outras questões. (Chen et al., 2006).

O primeiro grande levantamento dos critérios de seleção de fornecedores, foi elaborado por Dickson (1966) com base num questionário que o próprio elaborou e enviou a 273 empresas compradoras dos Estados Unidos da América e do Canadá. Nesse mesmo estudo, Dickson identificou 23 critérios diferentes que, à época, eram comumente utilizados na problemática da seleção e avaliação de fornecedores, com base numa escala de cinco níveis de importância (extrema/considerável/média/ligeira/nenhuma), tal como a Tabela 7 demonstra.

**Tabela 7:** Os 23 critérios de seleção de Dickson (Adaptado de Dickson (1966))

<b>Posição</b>	<b>Critério</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Avaliação</b>
1	Qualidade	3.508	Extremamente Importante
2	Entrega (fornecimento)	3.417	Importância Considerável
3	Histórico do Desempenho	2.998	
4	Políticas de Reclamação e Garantias	2.849	
5	Recursos e Capacidade de Produção	2.775	
6	Preço	2.758	
7	Capacidade Técnica	2.545	
8	Posição Financeira	2.514	
9	Cumprimentos Processuais	2.488	
10	Sistema de Comunicação	2.426	
11	Reputação e Posição na Indústria	2.412	
12	Interesse no Negócio	2.256	
13	Gestão e Organização	2.216	
14	Controlo das Operações	2.211	
15	Assistência Pós-Venda	2.187	
16	Atitude	2.120	
17	Impressão	2.054	
18	Habilidade/Qualidade do Embalamento	2.009	
19	Histórico das Relações de Trabalho	2.003	
20	Localização Geográfica	1.872	
21	Quantidade de Negócios no Passado	1.597	
22	Formação Profissional	1.537	
23	Acordos Recíprocos	0.610	Ligeira Importância

Passados 25 anos, C. A. Weber et al. (1991) fizeram uma revisão destas 23 escolhas tomadas, tendo em conta 74 artigos escritos entre os anos de 1966 e 1991, chegando à conclusão de que houve mudanças nas preferências dos critérios utilizados ao longo desse tempo, tal como a Tabela 8 indica.

**Tabela 8:** Comparação das posições entre os critérios de Dickson e os critérios de C. A. Weber et al.  
(Adaptado de C. A. Weber et al. (1991))

<b>Posição</b>	<b>Dickson (1966)</b>	<b>Weber et al. (1991)</b>
1	Qualidade	Preço ↑
2	Entrega (fornecimento)	Entrega (fornecimento)
3	Histórico do Desempenho	Qualidade ↓
4	Políticas de Reclamação e Garantias	Recursos e Capacidade de Produção ↑
5	Recursos e Capacidade de Produção	Localização Geográfica ↑
6	Preço	Capacidade Técnica ↑
7	Capacidade Técnica	Gestão e Organização ↑
8	Posição Financeira	Reputação e Posição na Indústria ↑
9	Cumprimentos Processuais	Posição Financeira ↓
10	Sistema de Comunicação	Histórico do Desempenho ↓
11	Reputação e Posição na Indústria	Assistência Pós-Venda ↑
12	Interesse no Negócio	Atitude ↑
13	Gestão e Organização	Habilidade/Qualidade do Embalamento ↑
14	Controlo das Operações	Controlo das Operações
15	Assistência Pós-Venda	Formação Profissional ↑
16	Atitude	Cumprimentos Processuais ↓
17	Impressão	Histórico das Relações de Trabalho ↑
18	Habilidade/Qualidade do Embalamento	Sistema de Comunicação ↓
19	Histórico das Relações de Trabalho	Acordos Recíprocos ↑
20	Localização Geográfica	Impressão ↓
21	Quantidade de Negócios no Passado	Interesse no Negócio ↓
22	Formação Profissional	Quantidade de Negócios no Passado ↓
23	Acordos Recíprocos	Políticas de Reclamação e Garantias ↓

### 2.3.2.1 Agrupamento dos critérios de seleção e avaliação de fornecedores

Com o intuito de agregar todos estes critérios de decisão em grupos de critérios mais abrangentes, Lehmann e O'Shaughnessy (1982) propuseram o uso de 5 grandes grupo de critérios: performance; economia; plenitude; acordos; e normas sociais.

Caddick e Dale (1987), por sua vez, referem a inclusão dos seguintes grupos de critérios: qualidade; plano de produção; validade do sistema de controlo; histórico de atividades; categoria do item; e preço.

Patton (1996), por seu turno, propôs a utilização de 7 grupos de critérios: preço; qualidade; entrega (pontualidade e conformidade); suporte de vendas; equipamento; tecnologia; ordenação do processo; e posição financeira do fornecedor. L. Ellram et al. (2002) acrescentam, ainda, que a compatibilidade da gestão ou a estratégia de orientação devem ser adicionadas aos critérios anteriores.

Kannan e Tan (2002) estudaram os critérios de seleção de fornecedores através duma pesquisa aplicada a mais de 400 indústrias americanas, identificando uma série de aspetos que foram divididos nas seguintes categorias: comprometimento estratégico do fornecedor com o comprador; habilidade para atender às necessidades do comprador; capacidade; ajustes entre comprador-fornecedor; e honestidade e integridade do fornecedor.

Quedas et al. (2010), no decorrer da sua revisão literária, propuseram a construção de 6 categorias de critérios: capacidade de atendimento e relacionamento; aspetos técnicos e tecnológicos; elementos facilitadores do negócio; garantia e qualidade dos produtos; comprometimento, fiabilidade e reputação dos fornecedores; e aspetos financeiros.

Da mesma maneira, Avila et al. (2012) realizaram uma revisão da literatura que abrange os anos de 1966 a 2010, obtendo a Tabela 9 como resultado. Com base na análise feita, Avila et al. (2012) consideram a existência de 5 critérios mais abrangentes, aos quais lhe dão o nome de sistema. Por sua vez, cada sistema é composto por 5 outros critérios diretamente relacionados entre si (subcritérios). O sistema da qualidade abrange todos os fatores que podem ser importantes na avaliação da qualidade pelo consumidor. O sistema das finanças, poucas vezes mencionado na literatura, abrange todos os temas relacionados com a estabilidade financeira do fornecedor/parceiro. O sistema de sinergias relaciona todos os fatores que podem potenciar a relação de lucro entre clientes e fornecedores dentro da cadeia de abastecimento. O sistema de custo, um dos mais citados na literatura, agrega todos os aspetos que podem contribuir para as despesas durante a transação comercial. Finalmente, o sistema de produção inclui todos os assuntos relacionados com a inovação técnica ou suporte de processos.

Dada a grande disparidade entre os agrupamentos feitos pelos autores previamente mencionados, considera-se a definição e o agrupamento dos critérios de seleção e avaliação de fornecedores como o processo de definição mais complexo, dentro desta problemática.

**Tabela 9:** Agrupamento dos critérios proposto por Avila et al. (Adaptado de Avila et al. (2012))

<b>Crítérios</b>	<b>Subcrítérios</b>
<b>Sistema da Qualidade (Q)</b>	Sistemas de gestão da qualidade (Q1) Garantias (Q2) Nível de serviço (Q3) Orientação para o cliente (Q4) Sistemas de gestão da qualidade total (Q5)
<b>Sistema das Finanças (F)</b>	Rácios económicos/financeiros (F1) Indicadores de valor acrescentado (F2) Estabilidade financeira (F3) Contratualização (F4) Preço cotado no mercado financeiro (F5)
<b>Sistema de Sinergias (S)</b>	Potencial das sinergias (S1) Localização (S2) Aspetos estratégicos (S3) Relacionamentos entre as organizações (S4) Aspetos culturais (S5)
<b>Sistema de Custo (C)</b>	Custo do produto (C1) Custos de logística (C2) Flexibilidade de pagamento (C3) Custos do serviço pós venda (C4) Custos de formação (C5)
<b>Sistema de Produção (P)</b>	Preocupações ambientais (P1) Funcionalidades produtivas na produção (P2) Inovação (P3) Gama de produtos (P4) Capacidade de produção (P5)

#### **2.4. Métodos de seleção e avaliação de fornecedores**

A natureza e o número de critérios, a serem avaliados pelos decisores, complicam o processo de seleção. Por outro lado, a adoção de fatores qualitativos dificulta a sua respetiva mensuração, uma vez que estes fatores têm um carácter amplamente subjetivo. Adicionalmente, existem certos critérios que podem entrar em conflito uns com os outros (exemplo: o critério da qualidade, quando comparado com o critério do preço, costuma ter uma relação inversamente proporcional).

Tendo em conta esta complexidade exponencial, o processo seletivo deve estar apoiado com ferramentas e técnicas capazes, tanto de aumentar a eficiência da escolha, como facilitar

o processo de decisão. Uma das partes mais complicadas deste processo é a definição dos parâmetros de avaliação, uma vez que estes vão refletir as preferências e os *trade-offs* dos decisores (Alencar et al., 2007).

Posteriormente a este processo de definição, a articulação de todos os critérios considerados torna-se a grande preocupação dos estudiosos que, por sua vez, têm vindo, ao longo dos anos, a trabalhar no sentido de desenvolverem metodologias mais específicas para a resolução deste problema.

A grande variedade de desenvolvimento de ferramentas e técnicas para a solução do problema adensa, ainda mais, o processo de adoção duma delas em particular, pelo que, de seguida, descrevem-se algumas categorias de metodologias estudadas.

Os modelos de ponderação linear, costumam caracterizar-se pela atribuição de pesos a cada critério, maioritariamente de forma subjetiva. A avaliação global de cada fornecedor é dada pela soma do seu desempenho nos critérios multiplicado pelos seus respetivos pesos (C. A. Weber et al., 1991). Estes modelos são simples, muito rápidos, os mais fáceis de conceber e os que acarretam menos custos para implementar. Contudo, podem ser influenciados por eventos recentes e, como implicam um alto nível de subjetividade, são bastante imprecisos (Petroni e Braglia, 2000).

Por outro lado, existem modelos de programação matemática, onde o problema é representado por uma função matemática objetivo, a qual deve ser, posteriormente, maximizada ou minimizada (De Boer et al., 2001). Estes modelos, frequentemente, consideram apenas os critérios mais quantitativos para solucionar a problemática da seleção e avaliação de fornecedores, pelo que não são ideais quando existem muitos critérios qualitativos envolvidos no processo de tomada de decisão.

Adicionalmente, existem os chamados modelos de custo total que tentam quantificar todos os custos associados com a seleção do fornecedor, no decorrer do ciclo de vida do item que é comprado, convertendo esses custos em unidades monetárias (Degraeve e Roodhooft, 1999). Os modelos mais conhecidos incluem: o Modelo de Custo-Relação (Timmerman, 1986) e o *Total Cost of Ownership* (TCO) (L. M. Ellram, 1990). O primeiro modelo é bastante flexível, sendo um método complexo que requer um sistema de contabilidade dos custos bem desenvolvido. O TCO, por sua vez, é bastante mais preciso, mas também aloca muito tempo e recursos na sua implementação, uma vez que a sua complexidade requer mais tempo e implica que existe alguém capaz de identificar os elementos mais importantes do modelo.

Alguns autores, consideram a existência duma análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* (DEA)), onde as alternativas são avaliadas de acordo com uma relação custo-benefício, sendo os critérios de custo *inputs* e os critérios de benefício *outputs*. A eficiência de uma alternativa, no caso de um fornecedor, é obtida através da razão entre a soma ponderada dos seus *outputs* e a soma ponderada dos seus *inputs* (De Boer et al., 2001).

Nos últimos anos, tem havido um interesse acrescido pelos conceitos ligados à inteligência artificial, pelo que não é de estranhar que, na questão da seleção e avaliação de for-

necedores, também já foram aplicados modelos baseados em sistemas computacionais (De Boer et al., 2001).

Por último, a maioria dos modelos estudados encaixam na categoria de métodos multicritério de apoio à tomada de decisão. Ao contrário dos métodos de seleção e avaliação de fornecedores baseados em apenas um critério, os métodos multicritério consideram múltiplos fatores (ou critérios) relevantes para a tomada de decisão. Estes critérios podem abranger uma ampla gama de aspetos, tais como: preço, qualidade, prazo de entrega, entre outros. Assim sendo, serve a secção 2.5 para esmiuçar o que cada um destes métodos representa.

## 2.5. Métodos multicritério de apoio à tomada de decisão

No dia-a-dia das organizações, muitas decisões são tomadas em que a escolha entre alternativas pode ser avaliada com base num único critério. Porém, nem todos os problemas são resolvidos tão facilmente. Nos ambientes de tomada de decisão mais dinâmicos e arriscados, o conflito aparece em vários níveis de gestão, complicando o exercício da mesma. Nesse sentido, a consideração de múltiplas variáveis no processo de tomada de decisão, pode tornar a escolha mais equilibrada e precisa (Nutt, 2011; Song e Zhu, 2019). Liang et al. (2017) afirmam que, na avaliação do desempenho destas alternativas em vários critérios conflitantes entre si, o decisor não pode simplesmente fazer uma comparação para realizar a melhor escolha. Tem que recorrer à aplicação de um método multicritério de apoio à tomada de decisão (*Multi-Criteria Decision-Making* (MCDM)).

Roy e Słowiński (2013) afirmam que as decisões que envolvem este contexto podem ser descritas nas seguintes problemáticas:

- **Escolha:** reduzir, a um conjunto menor, o número de alternativas existentes;
- **Ordenação:** ordenar as alternativas por ordem crescente ou decrescente;
- **Classificação:** classificar as alternativas, agrupando-as por similaridade, de forma categórica ou ordenada.

Predrycz et al. (2011), por seu turno, distinguem as abordagens de apoio à tomada de decisão em duas subclasses: multiobjetivo e multicritério. Numa abordagem multiobjetivo, o decisor define vários objetivos conflitantes entre si. Assim sendo, um modelo deste género deve incluir um vetor com as variáveis para a tomada de decisão e deve gerar funções que descrevem os objetivos múltiplos e as suas respectivas restrições. Dependendo do contexto da tomada de decisão, as funções objetivo podem ser maximizadas ou minimizadas. De uma forma geral, as abordagens multiobjetivo incluem modelos de programação linear e não linear (Park et al., 2018). As abordagens multicritério, por sua vez, envolvem a seleção da “melhor” alternativa, dentro de um conjunto de alternativas pré-selecionadas. Estas alternativas são descritas em termos de critérios, que são as características, qualidades ou parâmetros

do seu desempenho. De uma forma geral, esta abordagem está relacionada com tomar uma preferência (i.e., fazer a escolha, priorizar e/ou classificar as alternativas disponíveis). Estes modelos têm em consideração um conjunto de alternativas em relação a vários critérios que são sistematicamente avaliados, ajudando o decisor a agregar a complexidade da informação (Bana et al., 1990). Os métodos multicritério considerados mais relevantes vão ser abordados de seguida.

### 2.5.1. ELECTRE

O método *Élimination Et Choix Traduisant la REalité* (ELECTRE) é uma abordagem de auxílio à decisão multicritério proposta por Bernard Roy (Roy, 1991). Ele foi desenvolvido inicialmente na década de 1960, introduzido por Roy et al. (1966) como uma alternativa para superar algumas das limitações impostas pelo método *Methode d'Analyse, de Recherche, et de Selection d'Activities Nouvelles* (MARSAN) (Iniestra e Gutiérrez, 2009).

No método ELECTRE, os decisores avaliam diferentes alternativas com base em vários critérios relevantes. O processo de avaliação ocorre em duas etapas principais: eliminação e escolha (Roy, 1985). Na etapa de eliminação, as alternativas são comparadas em relação a cada critério, gerando matrizes de concordância e discordância. Essas matrizes refletem o grau de conformidade ou não conformidade de cada alternativa em relação aos critérios predefinidos pelos decisores. A etapa de escolha ocorre através da aplicação de uma função de agregação às matrizes de concordância e discordância, tendo em consideração os pesos atribuídos a cada critério (Zavadskas et al., 2010). Essa função de agregação produz uma matriz final de classificação, que ordena as alternativas de acordo com a sua preferência global.

Uma vez que as alternativas são classificadas, é possível realizar análises adicionais para identificar os melhores compromissos e avaliar a sensibilidade dos resultados em relação às mudanças nos pesos dos critérios (Roy, 1991).

A família de métodos ELECTRE é composta por várias variantes e extensões que foram desenvolvidas ao longo do tempo para melhorar e adaptar o método original. Alguns ramos notáveis da família ELECTRE encontram-se listados na Tabela 10. Cada uma destas variantes apresenta características e abordagens específicas para lidar com diferentes tipos de problemas e cenários de decisão. Tendo em conta este facto, existem três grandes categorias de métodos ELECTRE: métodos de escolha (I, Iv, Is), métodos de ordenação (II, III, IV) e métodos de classificação (TRI-B e TRI-C) (Figueira et al., 2013). Além destas variantes, existem várias outras extensões e adaptações da família ELECTRE, como por exemplo o ELECTRE-TODIM (TODIM - Tomada de Decisão Interativa Multicritério), ELECTRE IS (*Interactive Sorting*) e ELECTRE HISM (*Heterogeneous Interactions with Stochastic Model*) (Figueira et al., 2013).

**Tabela 10:** Ramos da família ELECTRE

Nome do Ramo	Descrição
ELECTRE I	É a forma mais básica e original do método ELECTRE proposto por Bernard Roy (Roy, 1996). Esta versão utiliza uma abordagem de eliminação progressiva para classificar alternativas, com base numa matriz de concordância e numa matriz de discordância. As preferências dos decisores são modeladas através de pesos e limites.
ELECTRE II	Esta variante adiciona um passo de pré-ordenação ao método ELECTRE I. Esta versão permite que as alternativas sejam pré-classificadas em relação a um conjunto de critérios antes da aplicação do processo de eliminação progressiva. Este fator reduz a complexidade computacional e melhora a eficiência do método (Roy, 1996).
ELECTRE III	É uma extensão do método ELECTRE que introduz conceitos de preferências parciais e ordenamento parcial. Esta versão permite que os decisores expressem as suas preferências em relação a pares de alternativas, fornecendo uma estrutura mais detalhada para o processo de classificação. O ELECTRE III também incorpora pesos e limites para cada critério (Roy, 1996).
ELECTRE IV	É uma extensão mais avançada do método ELECTRE que introduz uma função de agregação baseada em <i>outranking</i> . Esta versão permite que os decisores comparem diretamente as alternativas duas a duas, tendo em consideração a dominância entre elas. Esta função de agregação ajuda a classificar as alternativas de forma mais precisa e eficaz (Roy, 1996).
ELECTRE TRI ( <i>Tabulation based on the Full Transitive Reduction of the Incidence matrix</i> )	É uma variante do método ELECTRE que usa uma matriz de incidência para representar as relações de preferência entre alternativas. Esta versão simplifica o processo de cálculo, reduzindo a complexidade computacional e melhorando a eficiência do método (Figueira et al., 2013).

Tendo em conta que a variante ELECTRE TRI utiliza uma matriz de incidência para representar as relações de preferência entre alternativas, irá ser, de seguida, apresentada uma formulação do método. Seja A o conjunto de alternativas a serem avaliadas e C o conjunto de critérios utilizados para a avaliação.  $x_{ij}$  representa o desempenho da alternativa i no critério j e  $w_j$  representa o peso atribuído ao critério j.

Para cada par de alternativas i e k, calcula-se a concordância  $C_{ij}$  e a discordância  $D_{ij}$  em relação a cada critério j. A concordância ( $C_{ij}$ ) é calculada através da fórmula apresentada

na Equação 1.

$$C_{ij} = \sum w_j \times s(x_{ij}, x_{kj}) \quad (1)$$

$s(x_{ij}, x_{kj})$  é uma função de preferência que mede o grau em que a alternativa i é, pelo menos, tão boa quanto a alternativa k no critério j. Essa função encontra-se definida na Equação 2.

$$s(x_{ij}, x_{kj}) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_{ij} \geq x_{kj} + \varepsilon_C \\ 0 & \text{se } x_{ij} \leq x_{kj} - \varepsilon_C \\ \frac{x_{ij} - x_{kj} + \varepsilon_C}{2\varepsilon_C} & \text{alternativamente} \end{cases} \quad (2)$$

$\varepsilon_C$  é um limite de concordância que define a diferença mínima considerada significativa. A discordância  $D_{ij}$  entre a alternativa i e a alternativa k é calculada através da formula apresentada na Equação 3.

$$D_{ij} = \sum w_j \times s(x_{kj}, x_{ij}) \quad (3)$$

$s(x_{kj}, x_{ij})$  é uma função de preferência que mede o grau em que a alternativa i é pior do que a alternativa k no critério j. Esta função pode ser definida de forma semelhante à função de concordância.

A matriz de *outranking* ( $R_{ik}$ ) é obtida comparando as concordâncias e discordâncias entre as alternativas i e k:

$$R_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se } C_{ij} > \tau_c \text{ e } D_{ij} \leq \tau_d \\ 0 & \text{alternativamente} \end{cases} \quad (4)$$

onde  $\tau_c$  é um limite de concordância e  $\tau_d$  é um limite de discordância. A matriz de *outranking* é reduzida transitivamente para eliminar relações de preferência redundantes. Este passo é feito aplicando o operador de fecho transitivo à matriz de *outranking*. O processo de aplicação do operador de fecho transitivo pode ser descrito em etapas:

1. Inicialmente, a matriz de *outranking* contém apenas as relações de preferência diretas estabelecidas.
2. Para cada par de alternativas i e k, verifica-se se há uma alternativa j em que a relação de preferência entre i e j e a relação de preferência entre j e k estejam presentes na matriz de *outranking*. Se sim, adiciona-se a relação de preferência entre i e k à matriz de *outranking*.
3. Repetir o passo 2 até que não seja possível adicionar mais relações de preferência indiretas à matriz de *outranking*.

No final do processo de aplicação do operador de fecho transitivo, a matriz de *outranking* resultante contém todas as relações de preferência diretas e indiretas estabelecidas entre as alternativas. Este processo garante que todas as relações de preferência sejam consistentes e transitivas, fornecendo uma representação completa das preferências globais entre as

alternativas. Finalmente, tendo como base a matriz de *outranking* resultante, as alternativas podem ser classificadas de acordo com a sua relação de preferência global.

Consideram-se três fornecedores (F1, F2 e F3) com base em três critérios: C1, C2 e C3. Atribuíram-se notas de desempenho para cada fornecedor em cada critério, variando entre zero e dez (zero é o pior desempenho e dez é o melhor desempenho). Os dados de desempenho geram a matriz da Tabela 11.

**Tabela 11:** Classificação inicial dos fornecedores do método ELECTRE TRI

	C1	C2	C3
F1	8	7	6
F2	6	9	8
F3	9	8	7

Os pesos atribuídos a cada critério são:  $w_1=0,4$ ,  $w_2=0,3$  e  $w_3=0,3$ . Com base nos pesos atribuídos aos critérios, calcula-se a matriz de concordância (Tabela 12), utilizando um limite de concordância ( $\varepsilon_C$ ) de 0,5.

**Tabela 12:** Matriz de concordância do método ELECTRE TRI

	F1	F2	F3
F1	-	0,4	0
F2	0,6	-	0,6
F3	1	0,4	-

Por exemplo, a concordância entre F1 e F2 pode ser calculada através da Equação 1 da seguinte forma:

$$C_{12} = 0,4 \times 1 + 0,3 \times 0 + 0,3 \times 0 = 0,4$$

Da mesma maneira, calcula-se a matriz de discordância (Tabela 13) recorrendo a um limite de discordância ( $\varepsilon_D$ ) de 0,5.

**Tabela 13:** Matriz de discordância do método ELECTRE TRI

	F1	F2	F3
F1	-	0,6	1
F2	0,4	-	0,4
F3	0	0,4	-

Similarmente, a discordância entre F1 e F2 pode ser calculada através da Equação 3 da seguinte forma:

$$D_{12} = 0,4 \times 0 + 0,3 \times 1 + 0,3 \times 1 = 0,6$$

Com base nas matrizes de concordância e discordância, constrói-se a matriz de *outranking* (Tabela 14). Comparam-se as concordâncias e discordâncias de cada par de fornecedores para determinar se uma alternativa supera a outra.

**Tabela 14:** Matriz de *outranking* do método ELECTRE TRI

	F1	F2	F3
F1	-	Não	Não
F2	Sim	-	Sim
F3	Sim	Não	-

Aplica-se, de seguida, a redução transitiva completa para eliminar relações de preferência redundantes. Neste exemplo, não existem relações redundantes, pelo que a matriz final gerada é a matriz da Tabela 14. Com base na matriz de *outranking* resultante, classificam-se as alternativas pela respetiva ordem de preferência global. Assim sendo, a classificação final das alternativas (em ordem decrescente) através da aplicação duma metodologia ELECTRE TRI é a seguinte:  $F2 > F3 > F1$ .

### 2.5.2. PROMETHEE

O método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) é uma abordagem multicritério desenvolvida por Brans e Vincke em 1985. É amplamente utilizado para a tomada de decisão em situações em que múltiplos critérios devem ser considerados. O PROMETHEE permite classificar alternativas com base nas suas preferências relativas em relação a um conjunto de critérios.

De uma forma geral, esta abordagem pode ser dividida em duas etapas principais: pré-processamento e ordenação. Na etapa de pré-processamento, é realizada a normalização dos critérios para torná-los comparáveis. De seguida, são aplicadas funções de preferência, que podem ser lineares, gaussianas ou de outro tipo, para quantificar as relações de preferência entre as alternativas. Após o pré-processamento, a etapa de ordenação é realizada. Nessa etapa, os índices PROMETHEE são calculados para cada par de alternativas, refletindo a preferência relativa em relação aos critérios considerados. Estes índices são combinados para obter um índice global que permite classificar as alternativas numa ordem de preferência.

Uma das principais vantagens do método é a sua capacidade de lidar com incertezas e preferências individuais. De acordo com Macharis et al. (2010), o PROMETHEE permite

que os decisores ponderem os critérios de acordo com a sua importância relativa e forneçam os seus próprios valores de preferência. Isto torna o método mais adequado para situações em que as preferências podem variar entre os próprios decisores. No entanto, também convém destacar que o método apresenta algumas limitações. Por exemplo, o número de critérios deve ser limitado para evitar a complexidade computacional excessiva. Além disso, as funções de preferência devem ser escolhidas com cuidado para evitar distorções nos resultados finais.

Em suma, o método PROMETHEE é uma abordagem multicritério poderosa para a tomada de decisão. Permite a ordenação de alternativas com base em preferências relativas e é amplamente utilizado em diversas áreas. No entanto, é necessário considerar as suas limitações e escolher adequadamente os critérios e funções de preferência para obter resultados confiáveis.

A família de métodos PROMETHEE é composta por várias variantes e extensões do método básico, sendo que estas variantes foram desenvolvidas para lidar com diferentes características e complexidades nas tomadas de decisão multicritério. Na Tabela 15 descrevem-se as principais variantes.

Formula-se, de seguida, o método PROMETHEE II. Para cada critério  $j$ , o decisor deve estabelecer um peso  $p_j$ . O somatório dos pesos de todos os critérios deve ser igual a um. De seguida, o decisor deve estabelecer regras de sobreclassificação (função  $F_j$  da Equação 5). Esta função estabelece a comparação do desempenho ( $g_j$ ) entre as alternativas  $a$  e  $b$ .

$$F_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (5)$$

As regras de sobreclassificação para obtenção dos valores da função  $F_j$  podem ser do tipo: preferência estrita (Equação 6), limite de indiferença (representado pela letra  $q$  na Equação 7), preferência crescente até ao limite de preferência (limite representado pela letra  $p$  na Equação 8), entre outras regras mais complexas.

$$F_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) > 0 \\ 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$F_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) > q \\ 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) \leq q \end{cases} \quad (7)$$

$$F_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) > p \\ \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p} & \text{se } 0 \leq g_j(a) - g_j(b) \leq p \\ 0 & \text{se } g_j(a) - g_j(b) \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

Após a escolha da função de preferência que se pretende aplicar à Equação 5, constrói-se as matrizes das diferenças para cada critério selecionado. A partir destas matrizes, calcula-se o grau de sobreclassificação de  $a$  sobre  $b$ , para cada par de alternativa  $(a, b)$ . Este grau é

dado pela Equação 9.

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^n p_j \times F_j(a, b) \quad (9)$$

A equação supracitada é utilizada para construir a matriz do grau de sobreclassificação das alternativas. Após a obtenção desta matriz, procede-se à ordenação das alternativas. Esta ordenação é feita com base no conceito de fluxo líquido e está representada na Equação 10.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (10)$$

**Tabela 15:** Variantes da família PROMETHEE (Adaptado de Brans e Mareschal (1994), Albuquerque (2015) e Cunha et al. (2022))

Nome da Variante	Descrição
PROMETHEE I	É a versão original do método, proposta por Brans e Vincke em 1985 (Brans e Vincke, 1985). Estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas, ordenando-as como “preferidas”, “indiferentes” ou “incomparáveis”.
PROMETHEE II	Esta variante do método foi introduzida por Brans et al. (1986) e estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, uma vez que não admite alternativas “incomparáveis”, classificando cada alternativa da mais eficiente para a menos eficiente. A diferença entre as avaliações gera o fluxo líquido de superação, que é utilizado para tomar decisões. Esta extensão é mais adequada quando os critérios são interdependentes.
PROMETHEE III	Brans e Mareschal (1994) definem o PROMETHEE III como uma extensão do PROMETHEE II que alarga a noção de “indiferença”, com um quadro probabilístico de fluxos (preferência por intervalos).
PROMETHEE IV	Brans e Mareschal (1994) definem que esta é uma generalização do método PROMETHEE II. O PROMETHEE IV estabelece uma pré-ordem total ou parcial das alternativas, que é utilizada em problemas de escolha e destina-se a situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo (tende para infinito).
PROMETHEE V	Abordagem proposta por Brans e Mareschal (1992) que começa com uma ordenação completa entre as alternativas (PROMETHEE II) para, posteriormente, introduzir restrições à alternativa selecionada, utilizando metodologias de programação inteira.
PROMETHEE-Gaia	Esta abordagem também foi proposta por Mareschal e Brans (1988) e combina o método PROMETHEE com a técnica de <i>Geometrical Analysis for Interactive Aid</i> . O PROMETHEE-Gaia utiliza representações geométricas para visualizar as preferências e interações entre as alternativas num espaço multidimensional, facilitando a compreensão e a tomada de decisão.

$\phi^+(a)$  representa o somatório de preferência da alternativa  $a$  sobre todas as alternativas  $b$  (fluxo positivo) e  $\phi^-(a)$  representa o somatório de preferência da alternativa  $b$  sobre todas as alternativas  $a$  (fluxo negativo). É em função do valor da diferença entre estes dois fluxos que se faz a ordenação das alternativas segundo o método PROMETHEE II. Quanto maior

for o valor do fluxo líquido ( $\phi(a)$ ), mais prioritária é a alternativa a.

Suponha-se que três fornecedores (F1, F2 e F3) estão a ser avaliados com base em três critérios (C1, C2 e C3). Atribuem-se os seguintes pesos aos critérios:  $w_1 = 0,4$ ,  $w_2 = 0,3$  e  $w_3 = 0,3$ . Suponha-se, também, que os valores correspondentes a cada fornecedor são aqueles que constam na Tabela 16

**Tabela 16:** Pontuação dos critérios do método PROMETHEE II

	C1	C2	C3
F1	7	7	6
F2	6	6	8
F3	8	8	7

Utilizando a função de preferência estrita para todos os critérios, as diferenças parciais podem ser calculadas através da utilização da Equação 5, onde se subtraem os valores para chegar a uma conclusão. As matrizes das diferenças para cada critério estão representadas nas Tabelas 17, 18 e 19.

**Tabela 17:** Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C1

	F1	F2	F3
F1	-	1	0
F2	0	-	0
F3	1	1	-

**Tabela 18:** Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C2

	F1	F2	F3
F1	-	1	0
F2	0	-	0
F3	1	1	-

**Tabela 19:** Matriz das diferenças do método PROMETHEE II para o critério C3

	F1	F2	F3
F1	-	0	0
F2	1	-	1
F3	1	0	-

Por exemplo, o grau de subclassificação da alternativa F1 em relação à alternativa F2 é obtido através do cálculo representado na Equação 9, da seguinte forma:

$$\pi(F1, F2) = 0,4 \times 1 + 0,3 \times 1 + 0,3 \times 0 = 0,7$$

Fazendo este mesmo cálculo para todas as comparações, obtém-se a matriz representada na Tabela 20.

**Tabela 20:** Matriz do grau de sobreclassificação das alternativas do método PROMETHEE II

	F1	F2	F3
F1	0	0,7	0
F2	0,3	0	0,3
F3	1	0,7	0

Utilizando a Equação 10, pode-se calcular o fluxo líquido da alternativa F1. O fluxo positivo é equivalente ao somatório dos valores da linha um da matriz da Tabela 20. Por sua vez, o fluxo negativo é equivalente aos valores da coluna um da mesma Tabela. Desta forma, os seguintes cálculos são obtidos:

$$\phi(F1) = (0 + 0,7 + 0) - (0 + 0,3 + 1) = 0,7 - 1,3 = -0,6$$

Voltando a aplicar os mesmos cálculos para todas as alternativas deste exemplo, pode-se construir a matriz representada na Tabela 21.

**Tabela 21:** Matriz de ordenação final das alternativas do método PROMETHEE II

	Fluxo Positivo ( $\phi^+$ )	Fluxo Negativo ( $\phi^-$ )	Fluxo Líquido ( $\phi$ )
F1	0,7	1,3	- 0,6
F2	0,6	1,4	-0,8
F3	1,7	0,3	1,4

Com base nos valores obtidos, pode-se afirmar que a melhor alternativa é o fornecedor F3. A classificação final das alternativas (em ordem decendente) através da aplicação duma metodologia PROMETHEE II é a seguinte: F3 > F1 > F2.

### 2.5.3. AHP

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP), criado e proposto por Saaty em 1980, é especialmente utilizado para transformar dados qualitativos em dados que permitem a comparação. Este método permite efetuar a desmultiplicação de situações complexas, tornando-as mais

perceptíveis e claras, criando, no processo, várias classes hierárquicas unidirecionais (De Felice et al., 2015). Adicionalmente, outros dois princípios são tidos em conta: há a determinação das prioridades dos critérios e há uma especial atenção dada à consistência da medição e à dependência entre critérios. Tendo em conta estes fatores, a aplicação do método ocorre com frequência em casos de tomada de decisão em planeamentos, distribuição de recursos e resolução de conflitos (Saaty, 1987).

O AHP é um método que permite a comparação entre vetores de prioridades, criando uma ordem de resultados possíveis, hierarquicamente divididos, sendo o nível hierárquico superior o objetivo fulcral do problema de decisão e, por sua vez, os níveis inferiores são considerados contributos para atingir esse mesmo objetivo (Saaty, 2006).

Uma descrição da metodologia é apresentada pelo próprio autor (Saaty, 1987), dividindo os elementos do problema em: objetivo, critérios, subcritérios, alternativas (fornecedores) e um conjunto de julgamentos que estabeleçam relações entre si. Originalmente, Saaty definiu uma escala de importância com nove valores, presentes na Tabela 22.

**Tabela 22:** Escala Fundamental de Saaty (Adaptado de Menon e Ravi (2022))

<b>Escala</b>	<b>Definição</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Igual importância	Os elementos i e j são igualmente importantes
<b>3</b>	Importância moderada	O elemento i é pouco mais importante que o elemento j
<b>5</b>	Importância forte	O elemento i é fortemente mais importante que o elemento j
<b>7</b>	Importância muito forte	O elemento i é fortemente muito mais importante que o elemento j
<b>9</b>	Importância absoluta	O elemento i é absolutamente mais importante que o elemento j
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermédios	Representam um compromisso entre prioridades

Tal como se pode observar na Tabela 22, quanto maior for a pontuação obtida, mais importante será o critério i em relação ao critério j. Feitas estas comparações par-a-par, é construída a matriz de decisão (representada abaixo pela letra C), de maneira a possibilitar a determinação das importâncias relativas dos critérios, subcritérios e alternativas anteriormente definidas. Assim sendo, as avaliações quantitativas e qualitativas são traduzidas numa

classificação multicritério.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix}$$

Na formulação da matriz  $C$  supracitada, devem ser consideradas algumas condições:

- $c_{ij} = \alpha$ ;
- $c_{ji} = \frac{1}{\alpha}$ ; e
- $c_{ii} = 1$

onde:

- $\alpha$  é um valor da escala de Saaty; e
- $c_{ij}$  é a comparação emparelhada entre o critério  $i$  e o critério  $j$ .

Posteriormente, esta matriz de decisão é padronizada coluna a coluna, tendo em conta a Equação 11. Convém referir que o somatório de cada coluna da matriz de decisão padronizada, após este passo, tem que ser igual a um.

$$m_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{j=1}^n c_{ij}} \quad (11)$$

Após esta etapa, os pesos locais de cada critério são calculados, obtendo-se o vetor das prioridades relativas de cada critério. Este vetor ( $W$ ) define qual a importância relativa de cada critério, por ordem de grandeza. De igual forma que com a Equação 11, convém mencionar que a soma de todos os elementos do vetor de decisão  $W$  deverá ser igual a um. O vetor  $W$  é calculado de acordo com a Equação 12.

$$W = [w_i]_{n \times 1} \quad (12)$$

onde  $w_i$  é calculado através da Equação 13. Nesta fórmula,  $n$  representa o número de critérios da matriz  $C$ .

$$w_i = \sum_{j=1}^n \frac{m_{ij}}{n} \quad (13)$$

Tendo em conta que o método AHP permite a utilização de valores qualitativos e quantitativos, pode haver casos onde algumas inconsistências nas pontuações possam existir. Saaty

define que, tendo em conta que a consistência destas pontuações pode ser questionável, deve-se testar a consistência da matriz de decisão, através do cálculo: do índice de consistência (IC) e da razão de consistência (RC).

O Índice de Consistência (IC) é encontrado usando a Equação 14, onde n representa o número de critérios da matriz C.

$$IC = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (14)$$

$\lambda \max$ , neste caso, representa o máximo valor próprio da matriz de comparação C, dado pela Equação 15.

$$\lambda \max = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Cw_i}{w_i}}{n} \quad (15)$$

A Razão de Consistência (RC) é calculada para verificar a consistência da matriz de decisão, tendo em conta a Equação 16.

$$RC = \frac{IC}{ICA} \quad (16)$$

onde o Índice de Consistência Aleatória (ICA) é referente a um grande número de comparações. Este índice é um valor fixo que está dependente do número de critérios (n) utilizados para elaborar a matriz de decisão C. Os valores tabelados de ICA podem ser observados na Tabela 23. Adicionalmente, convém referir que este índice só faz sentido existir se o número de critérios existentes for maior ou igual a três, pelo que, naturalmente, os valores de ICA para n igual a um e n igual a dois correspondem a zero.

**Tabela 23:** Valores de ICA para matrizes quadradas de ordem n (Adaptado de Saaty (1987))

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ICA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Caso a RC seja superior a 10%, o decisor (ou agente de decisão) terá que rever as suas pontuações e deverá efetuar uma nova pontuação dos critérios, até que essas se tornem consistentes (ou seja, menores que 10%). Se a RC for menor que 10%, as pontuações atribuídas são consistentes, o que resultará em valores confiáveis. Este processo, da verificação da consistência, contribui para prevenir as incongruências no julgamento dos decisores porque funciona como um mecanismo de *feedback* para quem está a tomar a decisão poder analisar e rever os seus juízos. Como consequência deste processo, garante-se que os juízos feitos mantêm alguma consistência, o que é um ingrediente fulcral para se tomarem boas decisões.

Sejam F1, F2 e F3 três alternativas de fornecedores a serem avaliados. Sejam C1 e C2 dois critérios quantitativos e C3 um critério qualitativo. As comparações feitas entre os critérios através da utilização da escala de Saaty constroem a matriz da Tabela 24.

**Tabela 24:** Matriz de comparação entre critérios do método AHP

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>C1</b>	1	0,5	3
<b>C2</b>	2	1	4
<b>C3</b>	0,333	0,25	1

Usando as fórmulas das Equações 11, 12 e 13 obtêm-se os seguintes vetores de pesos dos critérios:  $w_1 = 0,320$ ,  $w_2 = 0,557$  e  $w_3 = 0,123$ . Adicionalmente, calcula-se a RC correspondente para a matriz da Tabela 24, através do uso das Equações 14, 15 e 16. A RC correspondente é igual a 0,016, o que confirma a consistência das decisões tomadas.

Pretende-se minimizar os resultados das alternativas para ambos os critérios quantitativos (C1 e C2), pelo que as matrizes de padronização destes critérios consideram o valor inverso ao valor correspondente a cada alternativa para o processo de padronização. As Tabelas 25 e 26 representam as matrizes mencionadas anteriormente.

**Tabela 25:** Padronização dos valores quantitativos correspondentes ao critério C1

	<b>C1</b>	<b>C1 (inverso)</b>	<b>C1 (padronizado)</b>
<b>F1</b>	9	0,111	0,322
<b>F2</b>	7	0,143	0,414
<b>F3</b>	11	0,091	0,264

**Tabela 26:** Padronização dos valores quantitativos correspondentes ao critério C2

	<b>C2</b>	<b>C2 (inverso)</b>	<b>C2 (padronizado)</b>
<b>F1</b>	15	0,067	0,281
<b>F2</b>	20	0,050	0,284
<b>F3</b>	17	0,059	0,335

Por último, o critério C3 é qualitativo. Nesse sentido, devem ser efetuadas comparações entre cada alternativa para obter os pesos correspondentes a este critério. A matriz correspondente com os cálculos resultantes destas comparações encontra-se disponível na Tabela 27. Uma vez mais, a RC também é calculada para esta matriz. O valor obtido também é 0,016, o que confirma a consistência das avaliações que foram efetuadas.

**Tabela 27:** Padronização dos valores qualitativos correspondentes ao critério C3

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>		<b>C3 (padronizado)</b>
<b>F1</b>	1	3	0,5	=	0,320
<b>F2</b>	0,333	1	0,25		0,123
<b>F3</b>	2	4	1		0,557

A fase final dos cálculos do método AHP envolvem o cálculo do vetor das prioridades para cada fornecedor. Estes cálculos são efetuados multiplicando os valores padronizados obtidos anteriormente nas Tabelas 25, 26 e 27 com os pesos de cada critério (obtidos depois de se resolver a matriz da Tabela 24). Este processo de cálculo é ilustrado na Tabela 28.

**Tabela 28:** Cálculos matriciais para a obtenção do vetor das prioridades de cada alternativa do método AHP

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>		<b>Pesos dos critérios</b>		<b>Vetor das Prioridades</b>
<b>F1</b>	0,322	0,320	0,381	x	0,320	=	0,328
<b>F2</b>	0,414	0,123	0,284		0,557		0,236
<b>F3</b>	0,264	0,557	0,355		0,123		0,438

A partir dos valores obtidos, verifica-se que o fornecedor F3 é o mais indicado para estabelecer um contrato. A classificação final das alternativas (em ordem descendente) através da aplicação do método AHP é a seguinte: F3 > F1 > F2.

#### 2.5.4. TOPSIS

O *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981). Originalmente, este método foi concebido com o intuito de ser uma alternativa ao método ELECTRE. O conceito básico do método TOPSIS é que a alternativa selecionada, de todas as alternativas possíveis, seja aquela que tem a distância mais curta para a solução positiva ideal e a distância mais comprida para a solução negativa ideal.

Este método considera 3 tipos de atributos:

1. atributos de benefício qualitativos;
2. atributos de benefício quantitativos; e
3. atributos de custo.

Adicionalmente, duas alternativas hipotéticas e artificiais são concebidas:

1. **solução positiva ideal:** é a alternativa que tem os melhores níveis de solução, quando todos os atributos são considerados em conjunto;
2. **solução negativa ideal:** é a alternativa que tem os piores níveis de solução, quando todos os atributos são considerados em conjunto.

Assumindo que existem  $m$  alternativas (fornecedores) e  $n$  atributos (critérios), cada alternativa é pontuada em relação ao respectivo atributo.

Sendo  $x_{ij}$  a pontuação do fornecedor  $i$  com respeito ao critério  $j$ , desenvolve-se o conceito de matriz  $X$  (Equação 17).

$$X = (x_{ij})_{m \times n}. \quad (17)$$

Neste método, o primeiro passo envolve desenvolver uma matriz de decisão que mostre as avaliações pertinentes de cada atributo para os diferentes fornecedores. Esta matriz encontra-se visível na Tabela 29.

**Tabela 29:** Matriz de decisão na generalidade do método TOPSIS

	Critério 1	Critério 2	...	Critério n
Fornecedor 1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1n}$
Fornecedor 2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2n}$
...	..	...	...	...
Fornecedor m	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mn}$

No passo seguinte, desenvolve-se um sistema de rácios onde cada performance de um fornecedor sobre um certo critério é comparada com o representativo de todas as alternativas. Este passo transforma várias dimensões dos atributos em atributos não-dimensionais, o que permite a comparação entre critérios. As pontuações são padronizadas utilizando a Equação 18.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$r_{ij}$  é um número sem dimensão que pertence ao intervalo  $[0,1]$ . Este número representa a performance padronizada do fornecedor  $i$  no critério  $j$ . Em alguns casos, observa-se com frequência que alguns critérios são mais importantes do que outros. Nesse sentido, pode-se multiplicar o atributo  $r$  correspondente pelo seu peso (i.e., o coeficiente de significância). Quando estes pesos são tidos em consideração, a Equação 18 transforma-se na Equação 19, onde  $w_j$  representa o conjunto dos pesos para cada critério  $j = 1, 2, \dots, n$ .

$$V_{ij} = w_j r_{ij} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (19)$$

Posteriormente, as soluções ideais positiva e negativa são determinadas. Seja P o conjunto de valores das colunas dos critérios de benefício (i.e., os critérios com maior valor deverão pertencer a este conjunto) e N o conjunto de valores das colunas dos critérios negativos (i.e., os critérios com o menor valor deverão pertencer a este conjunto). A Equação 20 permite obter a solução ideal positiva,

$$SIP = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} \quad (20)$$

onde  $V_j^+$  é o valor máximo da coluna j, assumindo que se quer maximizar o critério (caso contrário, associa-se ao respectivo valor negativo do conjunto N).

$$V_j^+ = \max(V_{ij}); j \in P, \quad V_j^- = \min(V_{ij}); j \in N \quad (21)$$

Para a solução ideal negativa, o cálculo pode ser efetuado utilizando a Equação 22

$$SIN = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} \quad (22)$$

onde  $V_j^-$  é o valor mínimo da coluna j, assumindo que se quer minimizar o critério (caso contrário, associa-se ao respectivo valor positivo do conjunto P).

$$V_j^- = \min(V_{ij}); j \in N, \quad V_j^+ = \max(V_{ij}); j \in P \quad (23)$$

Após serem encontradas as soluções ideais negativa e positiva, o passo seguinte exige que se calculem as medidas de separação para cada fornecedor. A separação do ideal positivo é dada pela Equação 24.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_j (V_j^+ - V_{ij})^2}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

A separação do ideal negativo é dada pela Equação 25

$$S_i^- = \sqrt{\sum_j (V_j^- - V_{ij})^2}; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (25)$$

Finalmente, a proximidade relativa à solução ideal positiva é calculada através da Equação 26.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (26)$$

A alternativa que melhor satisfaz as condições estabelecidas é obtida de acordo com a classificação de preferências de  $C_i^+$ . A melhor alternativa é aquela que tem o valor de  $C_i^+$  mais perto de 1.

Para um problema de seleção e avaliação de fornecedores, consideram-se quatro critérios (C1, C2, C3 e C4) e quatro alternativas de fornecedor (F1, F2, F3 e F4). Os fornecedores são classificados em relação a cada critério, originando a matriz da Tabela 30.

**Tabela 30:** Matriz de decisão do método TOPSIS

	C1	C2	C3	C4
F1	4	15	2	1
F2	8	16	2	2
F3	10	17	4	4
F4	3,5	16	1	1

De seguida, procede-se à padronização dos vetores dos critérios segundo a Equação 18. Em primeiro lugar, calcula-se a raiz quadrada do somatório que se encontra no denominador. Por exemplo, a raiz quadrada do somatório da coluna um é dada pelos seguintes cálculos:

$$\sqrt{4^2 + 8^2 + 10^2 + 3,5^2} = 13,87$$

Procedendo da mesma forma para as colunas dois, três e quatro, obtém-se os resultados da Tabela 31.

**Tabela 31:** Somatório da raiz quadrada das classificações obtidas

	C1	C2	C3	C4
$\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$	13,87	32,03	5	4,69

Tendo em conta os valores obtidos na Tabela 31, pode completar-se a Equação 18, obtendo os valores de  $r_{ij}$  correspondentes. Este processo dá origem à Tabela 32.

**Tabela 32:** Matriz de decisão padronizada do método TOPSIS

	C1	C2	C3	C4
F1	0,29	0,47	0,40	0,21
F2	0,58	0,50	0,40	0,43
F3	0,72	0,53	0,80	0,85
F4	0,25	0,50	0,20	0,21

Posteriormente, pode existir a consideração dos pesos dos critérios. O método TOPSIS não prevê o cálculo destes pesos, pelo que, para a obtenção dos mesmos, existem duas alternativas. O decisor atribui os pesos, considerando as suas preferências ou combina-se a utilização do método TOPSIS com outro método que permita o cálculo dos pesos (como,

por exemplo, o AHP). Neste caso, o decisor atribuiu os pesos que se encontram visíveis na Tabela 33.

**Tabela 33:** Pesos dos critérios do método TOPSIS

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Pesos</b>	0,4	0,2	0,1	0,3

Multiplicando estes pesos pelos valores de  $r_{ij}$  obtidos anteriormente (através da aplicação da Equação 19), obtém-se a matriz da Tabela 34.

**Tabela 34:** Matriz de decisão pesada e padronizada através do método TOPSIS

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Pesos</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>
F1	0,116	0,094	0,040	0,063
F2	0,232	0,100	0,040	0,129
F3	0,288	0,106	0,080	0,255
F4	0,100	0,100	0,020	0,063

Posteriormente, determinam-se as soluções ideais (negativa e positiva). Considera-se C1 como um critério de custo (pretende-se minimizar) e os restantes critérios como critérios de benefício (pretendem-se maximizar). Os conjuntos SIP e SIN correspondentes encontram-se visíveis na Tabela 35.

**Tabela 35:** Soluções ideais do método TOPSIS

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>
<b>Ideal Positiva (<math>V_j^+</math>)</b>	0,100	0,106	0,080	0,255
<b>Ideal Negativa (<math>V_j^-</math>)</b>	0,288	0,094	0,020	0,063

Após a obtenção destes conjuntos, calculam-se as medidas de separação dos ideais, de acordo com as Equações 24 e 25. Por exemplo,  $S_1^+$  é calculado da seguinte forma:

$$S_1^+ = \sqrt{(0,116 - 0,100)^2 + (0,094 - 0,106)^2 + (0,040 - 0,080)^2 + (0,063 - 0,255)^2}$$

Após o cálculo das medidas de separação, resta calcular a proximidade relativa à solução ideal positiva (Equação 26). Os resultados dos cálculos das Equações 24, 25 e 26 estão presentes na Tabela 36.

**Tabela 36:** Resultados dos cálculos das medidas de separação e da proximidade relativa à solução ideal do método TOPSIS

	$S_i^+$	$S_i^-$	$S_i^+ + S_i^-$	$C_i$
F1	0,197	0,173	0,370	<b>0,468</b>
F2	0,187	0,089	0,276	<b>0,322</b>
F3	0,188	0,202	0,390	<b>0,518</b>
F4	0,201	0,188	0,389	<b>0,483</b>

Tendo em conta os resultados da Tabela 36, a classificação final das alternativas (em ordem decendente) através da aplicação duma metodologia TOPSIS é a seguinte: F3 > F4 > F1 > F2.

### 2.5.5. BWM

O *Best-Worst Method* (BWM) é uma adição relativamente recente ao grupo de metodologias MCDM (Rezaei, 2015).

Seja  $C = \{c_1, \dots, c_n\}$  o conjunto de critérios para chegar a uma decisão. Determina-se o “melhor” (i.e. “mais desejável”; “mais importante”) e o “pior” (i.e. “menos desejável”; “menos importante”) critério que fazem parte do conjunto C. Chame-se o melhor critério de  $c_M$  e o pior critério de  $c_P$ . Neste passo, os critérios desejados devem ser encontrados de uma maneira genérica, sem existirem comparações entre critérios.

Posteriormente, convém determinar a preferência entre o melhor critério e os restantes critérios, usando um número entre um e nove (à semelhança da escala de Saaty - ver capítulo 2.5.3). O vetor resultante, dado pelo Equação 27, será:

$$A_M = (a_{M1}, a_{M2}, \dots, a_{Mn}) \quad (27)$$

onde  $A_{Mj}$  indica a preferência do melhor critério ( $c_M$ ) em relação ao critério j. À semelhança do método AHP,  $a_{MM}$  também é igual a um.

Tal como se faz com o melhor critério, convém determinar a preferência de todos os critérios em relação ao pior critério, seguindo a escala de numeração sugerida anteriormente. A vetorização resultante, dada pela Equação 28, será:

$$A_P = (a_{P1}, a_{P2}, \dots, a_{Pn}) \top \quad (28)$$

onde  $A_{Pj}$  indica a preferência do critério j em relação ao pior critério ( $c_P$ ). Uma vez mais, torna-se claro que  $a_{PP}$  também é igual a um.

Após os vetores  $A_M$  e  $A_P$  serem obtidos, os pesos ótimos de cada critério têm de ser encontrados. Seja  $w_j = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$  o conjunto dos pesos ótimos. O peso ótimo para cada critério é aquele onde, para cada par  $w_M/w_j$  e  $w_j/w_P$ , tem-se  $w_P/w_j = A_{Mj}$  e  $w_j/w_P =$

$A_{jP}$ . Para satisfazer estas condições para todo o  $j$ , é determinante encontrar a solução onde as diferenças máximas absolutas para todo o  $j$  são minimizadas, considerando as condições de não-negatividade e de soma dos pesos. O problema resultante pode ser traduzido num conjunto de equações lineares, da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & \min \xi^L \\
 & \text{sujeito a :} \\
 & |w_M - a_{Mj}w_j| \leq \xi^L, \quad \text{para cada } j \\
 & |w_j - a_{jP}w_P| \leq \xi^L, \quad \text{para cada } j \\
 & \sum_j w_j = 1 \\
 & w_j \geq 0, \quad \text{para cada } j
 \end{aligned} \tag{29}$$

Ao resolver o conjunto de equações da fórmula 29, obtém-se a estimativa dos pesos ótimos para cada critério (conjunto  $w_j$ ) e o valor ótimo  $\xi^L$ .

Uma comparação é totalmente consistente quando  $A_{Mj} \times A_{jP} = A_{MP}$  para todo o  $j$ . Como é muito provável que este não seja o caso, pode-se calcular a razão de consistência, através da utilização de um índice de consistência (variáveis semelhantes às usadas na secção 2.5.3). Dada esta semelhança, chame-se a este índice de consistência IC e a esta razão de consistência RC. Os valores de IC encontram-se na Tabela 37.

**Tabela 37:** Valores do IC para comparações entre 2 a 9 critérios (Adaptado de Rezaei (2015))

$A_{MP}$	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>IC (max <math>\xi</math>)</b>	0,44	1,00	1,63	2,30	3,00	3,73	4,47	5,23

RC é um valor que varia entre zero e um. Quanto menor o valor de RC, mais consistentes são as comparações estabelecidas. Obtém-se, assim, resultados mais confiáveis.

$$RC = \frac{\xi^x}{IC} \tag{30}$$

Os limiares dos valores de RC encontram-se na Tabela 38. Por exemplo, para um problema com seis critérios e com o valor máximo ( $A_{MP}$ ) do sistema de comparações emparelhadas igual a sete, o limiar é 0,3931. Isto implica que valores de CR abaixo deste número são aceitáveis para este tipo de problema.

**Tabela 38:** Valores do limiar de RC. (Adaptado de Rezaei (2015))

	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087	0,2087
<b>4</b>	0,1581	0,2352	0,2738	0,2928	0,3102	0,3154	0,3273
<b>5</b>	0,2111	0,2848	0,3019	0,3309	0,3479	0,3611	0,3741
<b>6</b>	0,2164	0,2922	0,3565	0,3924	0,4061	0,4168	0,4225
<b>7</b>	0,2090	0,3313	0,3734	0,3931	0,4035	0,4108	0,4298
<b>8</b>	0,2267	0,3409	0,4029	0,4230	0,4379	0,4543	0,4599
<b>9</b>	0,2122	0,3653	0,4055	0,4225	0,4445	0,4587	0,4747

Suponha-se que, para efetuar uma compra, existem 5 critérios para consideração (C1, C2, C3, C4 e C5). C2 é escolhido como sendo o melhor critério ( $C_M$ ) e C5 é escolhido como sendo o pior critério ( $C_P$ ). As Tabelas 39 e 40 representam, respetivamente, as comparações  $A_{Mj}$  e  $A_{jP}$ .

**Tabela 39:** Comparações  $A_{Mj}$  (melhor critério em relação ao critério j)

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
$C_M (= C2)$	2	1	4	3	8

**Tabela 40:** Comparações  $A_{jP}$  (critério j em relação ao pior critério)

	$C_P (= C5)$
<b>C1</b>	4
<b>C2</b>	8
<b>C3</b>	4
<b>C4</b>	2
<b>C5</b>	1

Após a resolução do conjunto de equações lineares da fórmula 29, obtém-se o seguinte conjunto de pesos:  $w_j = \{0,246; 0,431; 0,154; 0,123; 0,046\}$ . Adicionalmente, o RC obtido é igual a 0,061. Consideram-se 3 alternativas de fornecedor (F1, F2 e F3). A matriz de decisão do método BWM pode, agora, ser obtida. As pontuações relativas a cada alternativa, quando comparada com os cinco critérios acima determinados, encontram-se visíveis na Tabela 41.

**Tabela 41:** Matriz de decisão do método BWM

	C1	C2	C3	C4	C5
Pesos	<b>0,246</b>	<b>0,431</b>	<b>0,154</b>	<b>0,123</b>	<b>0,046</b>
F1	8	6	5	8	8
F2	7	9	6	7	7
F3	8	4	7	6	6

Após a obtenção da matriz supracitada, pode-se obter o valor  $V_{F_i}$  de cada alternativa, através da aplicação da Equação 31.

$$V_{F_i} = \sum_{j=1}^n w_j m_{ij} \quad (31)$$

Aplicando a fórmula aos valores obtidos para  $F_1$ , a seguinte sequência de cálculos pode ser observável:

$$V_{F_1} = (8 \times 0,246) + (6 \times 0,431) + (5 \times 0,154) + (8 \times 0,123) + (8 \times 0,046) = 6,676$$

Do mesmo modo, pode-se calcular os valores de  $V_{F_2}$  e  $V_{F_3}$  (iguais a 7,708 e 5,784 respectivamente). Assim sendo, pode-se afirmar que a melhor alternativa de fornecedor, através da aplicação do método BWM, é o fornecedor F2. A classificação final das alternativas (em ordem decedente) é:  $F_2 > F_1 > F_3$ .

### 2.5.6. WASPAS

O *Weighted Aggregated Sum Product Assessment* (WASPAS) é um modelo que combina de maneira única os métodos *Weighted Sum Model* (WSM) e *Weighted Product Model* (WPM), começando com o método WSM para iniciar a resolução do problema, aplicando, posteriormente, o método WPM para classificar as diferentes alternativas. Este modelo é muito usado para resolver problemas na gestão da cadeia de abastecimento (Ali et al., 2021; Pamucar et al., 2022). Dado que os métodos supracitados também são utilizados na resolução de problemas de decisão multicritério, servem os subcapítulos 2.5.6.1 e 2.5.6.2 para explicar mais detalhadamente os pressupostos de cada um destes métodos.

#### 2.5.6.1 WSM

O WSM (Fishburn, 1971), também conhecido como *Simple Additive Weighting* (SAW) (Churchman e Ackoff, 1954), é um método MCDM muito popular, que é utilizado para avaliar um número finito de alternativas, tendo em conta um número finito de critérios de decisão.

Defina-se o problema da seleção e avaliação de fornecedores em  $m$  alternativas (fornecedores) e  $n$  critérios de decisão. Adicionalmente, assume-se que todos os critérios são critérios de benefício (i.e.: quanto maior for o valor do critério, melhor). Suponha-se que  $w_j$  denota o peso relativo da importância do critério  $C_j$  e que  $a_{ij}$  é o valor da performance da alternativa  $A_i$  quando esta é avaliada, tendo em conta os termos do critério  $C_j$ . Assim sendo, a pontuação  $A_i^{WSM}$  (aplicada apenas quando todos os dados estão na mesma unidade) é definida como:

$$A_i^{WSM} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (32)$$

A assinatura dos coeficientes relativos aos pesos tem de ser positiva e deve satisfazer a seguinte condição:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad w_j \in (0, 1) \quad (33)$$

Aplicando um exemplo numérico simples, suponha-se que um problema de decisão deste género contempla três alternativas (F1, F2 e F3), tendo em conta 3 critérios de decisão (C1, C2 e C3). Os dados numéricos do exemplo formulado podem ser vistos na Tabela 42.

**Tabela 42:** Matriz de decisão do método WSM

	C1	C2	C3	Pontuação WSM
Pesos	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>	-
F1	25	20	15	<b>19,25</b>
F2	10	30	20	<b>21,00</b>
F3	30	10	30	<b>23,00</b>

Aplicando a fórmula 32 nos dados da tabela, obtém-se a pontuação WSM para o fornecedor F1 através do seguinte cálculo:

$$A_1^{WSM} = (25 \times 0,35) + (20 \times 0,35) + (15 \times 0,40) = 19,25$$

Da mesma maneira, podem-se obter as pontuações WSM para F2 e F3. Assim sendo, a melhor escolha (aquela que maximiza o resultado) é a do fornecedor F3, uma vez que este é o fornecedor com a pontuação WSM mais alta. A classificação final (em ordem decendente) resulta na seguinte ordenação:  $F3 > F2 > F1$ .

### 2.5.6.2 WPM

Em problemas de tomada de decisão, o WPM representa uma tentativa de uma alternativa superar todas as outras (Bridgman, 1922). Este método é muito similar ao método WSM, podendo até ser considerado uma extensão do mesmo (Triantaphyllou e Mann, 1989;

Triantaphyllou, 2000).

Denote  $w_j$  o peso relativo da importância do critério  $C_j$  e  $a_{ij}$  o valor da performance da alternativa  $A_i$  quando esta é avaliada nos termos do critério  $C_j$ . Assim sendo, se duas alternativas,  $A_K$  e  $A_L$  (onde  $m \geq K, L \geq 1$ ), forem comparadas, o produto apresentado na Equação 34 tem de ser calculado.

$$P(A_K/A_L) = \prod_{j=1}^n \left( \frac{a_{Kj}}{a_{Lj}} \right)^{w_j}, \quad \text{para } K, L = 1, 2, 3, \dots, m \quad (34)$$

Se este rácio  $P(A_K/A_L)$  for maior ou igual a um, indica que a alternativa  $A_K$  é mais desejável do que a alternativa  $A_L$  (caso de maximização). Para determinar qual é a melhor alternativa, esta deverá ser aquela que é melhor que (ou, pelo menos, igual a) todas as outras alternativas. Muitas vezes, o WPM é chamado como método de análise adimensional, uma vez que qualquer unidade de medida é eliminada através da sua estrutura matemática (Triantaphyllou e Mann, 1989; Triantaphyllou, 2000).

Usando o mesmo exemplo do método WSM, obtém-se a Tabela 43.

**Tabela 43:** Matriz de decisão do método WPM

	C1	C2	C3
<b>Pesos</b>	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>
F1	25	20	15
F2	10	30	20
F3	30	10	30

Aplicando o método WPM aos dados da Tabela 43, o seguinte valor pode ser obtido:

$$P(F_2/F_1) = (10/25)^{0,25} \times (30/20)^{0,35} \times (20/15)^{0,40} = 1,03$$

Da mesma forma, pode-se obter  $P(F_3/F_1)$  e  $P(F_3/F_2)$  com os valores correspondentes de 1,08 e de 1,05. Tendo em conta os valores obtidos, pode-se afirmar que  $F_3$  é a melhor alternativa, uma vez que obteve um desempenho superior quando comparada com as outras alternativas de fornecedor. Adicionalmente, a classificação final (em ordem decrescente) das três alternativas é a seguinte:  $F_3 > F_2 > F_1$ .

Uma abordagem alternativa (e mais simples) deste método, passa pela utilização do produto sem efetuar os rácios de comparação (Triantaphyllou e Mann, 1989; Triantaphyllou, 2000), previamente mencionados. Assim sendo, a seguinte variante da Equação 34 pode ser obtida:

$$P(A_K) = \prod_{j=1}^n (a_{Kj})^{w_j}, \quad \text{para } K = 1, 2, 3, \dots, m \quad (35)$$

### 2.5.7. Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

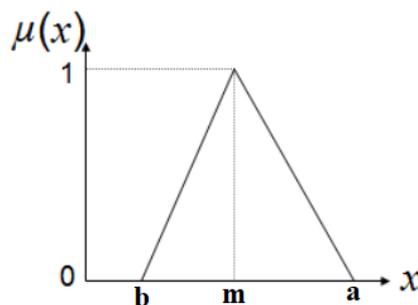
A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, introduzida por Lotfi A. Zadeh em 1965, é uma extensão da Teoria dos Conjuntos Clássicos que permite a representação e a manipulação da incerteza e da imprecisão nos conjuntos (Zadeh, 1965). Enquanto que os conjuntos clássicos definem a pertinência de um elemento a um conjunto como sendo binária (“pertence” ou “não pertence”), a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* permite a atribuição de graus de pertinência parciais a um elemento, variando de zero até um (transição mais suave entre estados).

A principal ideia por detrás dos conjuntos *fuzzy* é a de que muitos conceitos do mundo real são subjetivos e imprecisos (Dubois e Prade, 1980) (por exemplo, uma certa temperatura ambiente pode ser “quente” para uma pessoa e pode ser “fria” para outra pessoa distinta). Com a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, é possível modelar esta imprecisão e lidar com ela de forma mais adequada.

Um dos aspetos fundamentais da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* é a função de pertinência, que associa um grau de pertinência a cada elemento de um conjunto (Klir e Yuan, 1995). A função de pertinência atribui graus de pertinência a diferentes elementos de um universo de discurso (por exemplo: um conjunto *fuzzy*  $A$  pode ser definido como:  $A = (x, \mu_A(x))$ , onde  $x$  é um elemento do universo de discurso e  $\mu_A(x)$  é a função de pertinência do conjunto *fuzzy*  $A$  para o elemento  $x$ . Existem diferentes tipos de funções de pertinência (descritas na Tabela 44) e cada uma dessas funções possui propriedades e características específicas, adequadas para diferentes tipos de aplicações.

Tipicamente, a função de pertinência triangular é das mais utilizadas. Um número *fuzzy* triangular pode ser representado numericamente pelos termos:  $b$ ,  $m$  e  $a$  (Figura 5). Tendo em conta esta representação, a função *fuzzy* triangular correspondente pode ser escrita segundo a Equação 36.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq b \\ \frac{x-b}{m-b} & \text{se } x \in [b, m] \\ \frac{a-x}{a-m} & \text{se } x \in [m, a] \\ 0 & \text{se } x \geq a \end{cases} \quad (36)$$



**Figura 5:** Função de pertinência triangular assimétrica

**Tabela 44:** Tipos de funções de pertinência usadas na teoria dos conjuntos *fuzzy*

<b>Tipo de funções</b>	<b>Descrição</b>
<b>Triangulares</b>	Têm uma forma triangular e são definidas por três parâmetros: o ponto de início (b), o ponto de pico (m) e o ponto de término (a). Exemplos incluem a função de pertinência triangular simétrica e a função de pertinência triangular assimétrica.
<b>Trapezoidais</b>	Têm uma forma trapezoidal e são definidas por quatro parâmetros: o ponto de início (b), o ponto de pico à esquerda (m), o ponto de pico à direita (n) e o ponto de término (a). Exemplos incluem a função de pertinência trapezoidal simétrica e a função de pertinência trapezoidal assimétrica.
<b>Gaussianas</b>	Funções que seguem uma distribuição gaussiana e são definidas por dois parâmetros: o valor médio e o desvio padrão. A forma da função de pertinência segue uma curva com formato de sino.
<b>Sigmoidais</b>	Têm uma forma em “S” e são frequentemente usadas para representar incertezas graduais. Exemplos incluem a função logística e a função tangente hiperbólica.
<b>Saturadas</b>	Têm uma forma em “S” invertido e são usadas para modelar incertezas limitadas. Exemplos incluem a função de pertinência saturada à esquerda e a função de pertinência saturada à direita.
<b>Generalizadas</b>	Existem várias outras funções de pertinência generalizadas que podem ser personalizadas e adaptadas às necessidades específicas de um problema. Essas funções permitem maior flexibilidade na modelação da incerteza.

Sejam A (b1, m1, a1) e B (b2, m2, a2) dois números *fuzzy* triangulares. As principais operações algébricas que podem existir entre estes dois números são: adição (Equação 37), subtração (Equação 38), multiplicação (Equação 39) ou divisão (Equação 40).

$$A + B = (b1 + b2, m1 + m2, a1 + a2) \quad (37)$$

$$A - B = (b1 - a2, m1 - m2, a1 - b2) \quad (38)$$

$$A \times B = (b1 \times b2, m1 \times m2, a1 \times a2) \quad (39)$$

$$A \div B = (b1 \div a2, m1 \div m2, a1 \div b2) \quad \text{se } b1 \geq 0, b2 \geq 0 \quad (40)$$

Os valores (ou termos linguísticos) correspondentes a uma variável podem ser definidos com recurso à linguagem corrente (i.e. “quente”, “morno”, “frio”). Por outro lado, estes valores podem ser traduzidos em números *fuzzy*. Um exemplo duma “tradução” que pode ser

aplicada a termos linguísticos para avaliar o desempenho de um fornecedor encontra-se na Tabela 45.

**Tabela 45:** Exemplo duma representação de termos linguísticos em números *fuzzy* triangulares

<b>Termo Linguístico</b>	<b>Número <i>Fuzzy</i> Triangular</b>
“Muito mau”	(0; 0; 0,25)
“Mau”	(0; 0,25; 0,5)
“Neutro”	(0,25; 0,5; 0,75)
“Bom”	(0,5; 0,75; 1)
“Muito Bom”	(0,75; 1; 1)

Tipicamente, os decisores conseguem avaliar mais facilmente as suas opções quando as informações são apresentadas de forma precisa. Um número *fuzzy* não corresponde a uma representação deste género, pelo que existem operações matemáticas que permitem a “*defuzzificação*” de um número *fuzzy*. Este processo de “*defuzzificação*” transforma um número *fuzzy* num número *crisp* (número mais preciso, pontual). Um dos métodos mais comuns de “*defuzzificação*” é o método do centro de área (CDA), que pode ser aplicado a um número *fuzzy* através da Equação 41.

$$CDA(x) = \frac{(a - b) + (m - b)}{3} + b \quad (41)$$

Muito sucintamente, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* fornece uma abordagem matemática poderosa para lidar com a incerteza e a imprecisão, permitindo a construção de modelos mais adequados a conceitos e sistemas do mundo real (Zadeh, 1965).

Sejam C1, C2 e C3 três critérios qualitativos utilizados para o processo de seleção e avaliação de fornecedores. Utilizam-se termos linguísticos que são traduzidos em números *fuzzy* triangulares, de acordo com o exemplo da Tabela 45. Consideram-se dois fornecedores: F1 e F2. Avaliam-se os fornecedores de acordo com termos linguísticos mencionados anteriormente (Tabela 46). De acordo com essas avaliações, constrói-se a matriz da Tabela 47.

**Tabela 46:** Avaliações linguísticas dos fornecedores F1 e F2

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>F1</b>	Bom	Bom	Neutro
<b>F2</b>	Neutro	Muito Bom	Mau

**Tabela 47:** Matriz de julgamento dos números *fuzzy* triangulares para os fornecedores F1 e F2

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>F1</b>	(0,5; 0,75; 1)	(0,5; 0,75; 1)	(0,25; 0,5; 0,75)
<b>F2</b>	(0,25; 0,5; 0,75)	(0,75; 1; 1)	(0; 0,25; 0,5)

Aplicando a Equação 41 ao número *fuzzy* triangular correspondente ao fornecedor F1 para o critério C1, obtém-se o seguinte cálculo:

$$CDA(x_{11}) = \frac{(1 - 0,5) + (0,75 - 0,5)}{3} + 0,5 = 0,75$$

Facilmente se pode comprovar que a Equação 41 permite obter um valor que corresponde ao centro (m) dos números *fuzzy* triangulares. Assim sendo, na Tabela 48 constam os respetivos valores “*crisp*” para os julgamentos atribuídos aos fornecedores F1 e F2.

**Tabela 48:** Matriz de julgamento dos valores “*crisp*” para os fornecedores F1 e F2

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>F1</b>	0,75	0,75	0,5
<b>F2</b>	0,5	1	0,25

Por último, resta combinar estes julgamentos para cada alternativa de fornecedor, de maneira a obter uma classificação final. Para este efeito, pode-se aplicar um método simples (como a média ponderada) aos valores “*crisp*” obtidos na Tabela 48. Atribui-se os seguintes pesos a cada critério:  $w_1 = 0,3$ ,  $w_2 = 0,4$  e  $w_3 = 0,3$ . Para o fornecedor F1, o cálculo do valor agregado dos julgamentos obtidos é o seguinte:

$$(0,3 \times 0,75) + (0,4 \times 0,75) + (0,3 \times 0,50) = 0,675$$

Da mesma forma, o valor agregado dos julgamentos que corresponde ao fornecedor F2 é 0,625. Neste exemplo, a alternativa F1 tem uma avaliação ligeiramente superior à alternativa F2, pelo que é a opção de fornecedor preferida, tendo em conta a aplicação dos cálculos que envolvem a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*.

## 2.6. Classificações da literatura de seleção e avaliação de fornecedores

Face à diversidade de modelos disponíveis para a problemática da seleção de fornecedores, alguns estudos foram conduzidos no sentido de levantar e analisar a literatura existente sobre o assunto. Duma forma geral, estes trabalhos foram conduzidos no sentido de contribuir para o desenvolvimento da área, fornecendo uma visão holística das ferramentas e técnicas que foram sendo propostas, ao longo dos anos. O objetivo destes trabalhos é o de

direcionar estudos no futuro e de contribuir para o aperfeiçoamento do conhecimento existente sobre a área.

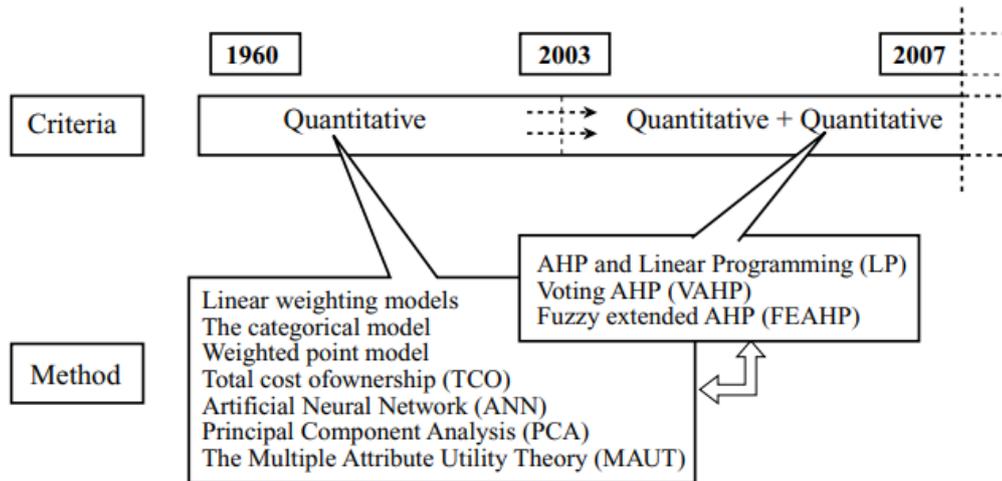
O primeiro grande trabalho de agregação é o de C. A. Weber et al. (1991), que investigaram 74 artigos publicados sobre o assunto, entre 1967 e 1990. Nesse mesmo estudo, foi feita uma classificação, de acordo com o método proposto, os critérios considerados e ambiente de compras onde a empresa, em questão, se inseria. O foco principal deste estudo concentrou-se na classificação dos artigos, tendo como base os 23 critérios que foram levantados por um anterior trabalho realizado por Dickson (1966). Estes trabalhos também foram categorizados de acordo com a técnica que foi utilizada para avaliar os critérios. Facilmente se observava que, para a época, a maioria dos modelos propostos concentrava-se na aplicação duma ponderação linear, dado que a área da investigação operacional era amplamente explorada desde os tempos da Segunda Guerra Mundial.

Em 2001, De Boer et al. fizeram uma revisão sobre os métodos de suporte para a seleção de fornecedores, considerando as diversas etapas do processo, desde a formulação do problema, passando pela formulação dos critérios, a qualificação, terminando na seleção final. Os investigadores chegaram à conclusão que fatores como o número de fornecedores disponíveis, a importância da compra e/ou das relações com o fornecedor e a incerteza presente determinam o método mais adequado a ser utilizado em cada situação, enfatizando a influência da característica da compra (se é uma compra nova, se é uma recompra modificada, se é uma recompra de rotina ou se é uma recompra estratégica) sobre estes aspetos. Os autores classificam cada trabalho com relação à fase do processo de seleção correspondente ao modelo proposto, tendo em consideração esta característica da compra, mencionada anteriormente.

Em 2002, Bhutta e Huq realizaram um trabalho extenso acerca da literatura existente sobre este tópico. No estudo, em questão, foram revistos 154 artigos de 68 revistas publicados entre os anos de 1986 e 2002. Após serem analisados, os artigos foram classificados de acordo com a abordagem e a metodologia utilizada. Para além do mais, os autores identificaram as revistas que apresentam publicações sobre este assunto e levantaram a frequência anual com que cada uma publica acerca do tema. Este trabalho proporcionou uma maior visão sobre os métodos em destaque na literatura da época.

Em 2012, Viana e Alencar revelam que o interesse pelo tema é cada vez mais atual, uma vez que 65% das publicações observadas tinham sido publicadas entre 2006 e 2011, destacando a relevância do assunto no crescimento da empresa. Os modelos estudados, por sua vez, revelam adequação às novas exigências do mercado, sendo incorporados mais fatores qualitativos que, muitas das vezes, entram em conflito com os fatores quantitativos. A Figura 6 mostra a relação entre os critérios e os métodos de seleção de fornecedores desde 1960. Tal como se pode observar, a seguir a 2003 começou a haver uma maior atenção e foco sobre os critérios qualitativos. Como consequência, os métodos tradicionais tiveram que se adaptar para abrangerem estes critérios. A Figura 6 mostra que a solução mais popular, desde 2003

até ao presente, é a mistura do método AHP com outras variantes, de maneira a colmatar esta problemática.



**Figura 6:** Classificação dos critérios e métodos de seleção de fornecedores desde 1960 (Tahriri et al. (2008))

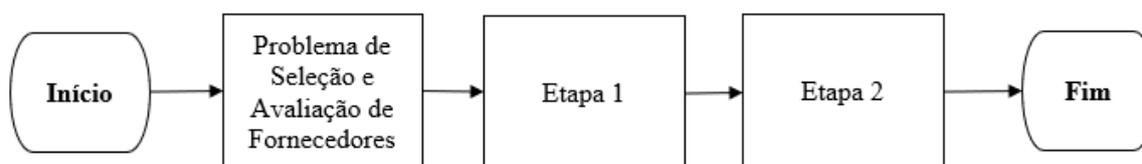
### 3 Sistema de apoio à decisão para a seleção e avaliação de fornecedores

Neste capítulo é descrita a metodologia envolvida no desenvolvimento e aplicação de um modelo para solucionar a problemática da seleção e avaliação de fornecedores. Numa primeira secção, será exposto o modelo e serão detalhadas as etapas associadas ao mesmo. Numa segunda secção, os procedimentos utilizados na transformação desse modelo para uma aplicação informática serão descritos (isto inclui detalhes sobre linguagens de programação e bibliotecas utilizadas, desenho de interface gráfica, bases de dados, entre outras considerações feitas).

#### 3.1. Modelo proposto

Dadas as informações recolhidas no capítulo anterior, serve este capítulo para apresentar a conceção de um modelo desenhado para solucionar o problema da seleção e avaliação de fornecedores junto das PME portuguesas. De seguida, algumas considerações feitas serão descritas.

A literatura estudada revela uma tendência clara para haver uma separação entre duas etapas: uma primeira etapa, onde os critérios são definidos e avaliados (e os seus pesos são calculados) e uma segunda etapa, onde as alternativas de fornecedor são avaliadas e classificadas. Esta separação, normalmente, é feita porque métodos distintos são utilizados nas diferentes etapas de resolução do problema. Considera-se que, a separação descrita, faz sentido e deve existir. Pelos motivos supracitados, propõe-se um modelo de resolução da problemática da seleção e avaliação de fornecedores dividido em duas etapas (Figura 7).

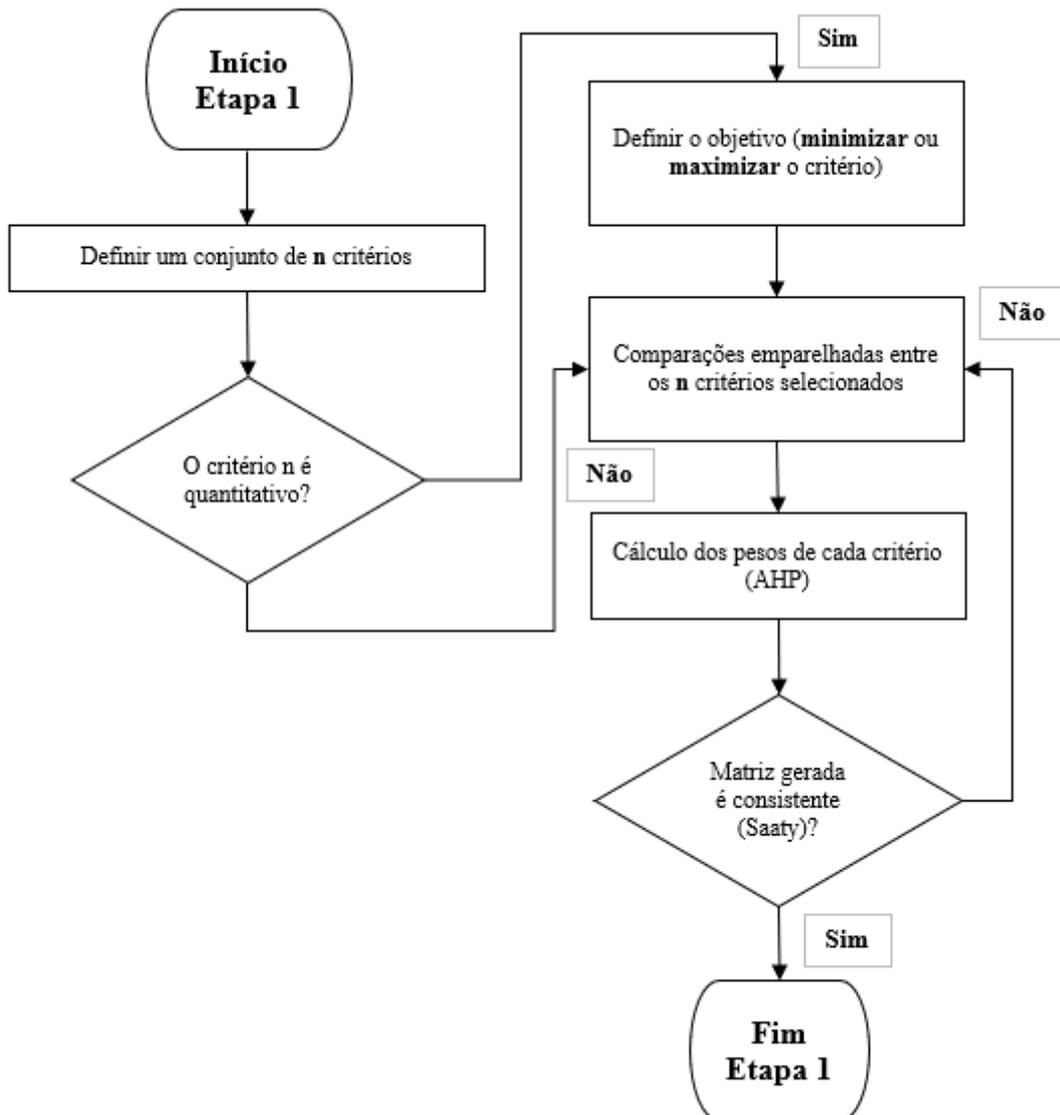


**Figura 7:** Fluxograma com as etapas do modelo concebido para o apoio à tomada de decisão proposto

No capítulo 2.5 são abordados alguns dos métodos mais populares utilizados para solucionar a problemática da seleção e avaliação de fornecedores. Considera-se o método AHP na aplicação a ambas as etapas do modelo proposto, uma vez que este demonstra capacidades em lidar com a complexidade e com a subjetividade inerentes ao processo de seleção e avaliação de fornecedores. Adicionalmente, considera-se a utilidade do método AHP incluir

mecanismos para verificar a consistência das decisões tomadas, o que ajuda a identificar inconsistências e a aperfeiçoar as avaliações, tornando o processo de tomada de decisão mais robusto.

### 3.1.1. Etapa 1



**Figura 8:** Fluxograma respectivo ao processo de identificação dos critérios e definição dos pesos correspondentes

Existem alguns critérios que não podem ser quantificados. Estes critérios qualitativos são, na sua generalidade, difíceis de quantificar. Para tal efeito, as comparações emparelhadas do método AHP irão ser utilizadas em combinação com a verificação da consistência das decisões propostas por Saaty (Saaty, 1987). Adicionalmente, os critérios quantitativos

podem ser maximizados ou minimizados, consoante as necessidades dos decisores. Tendo em conta estes fatores, a etapa 1 (Figura 8) foi criada com o intuito de selecionar, avaliar e calcular os pesos dos critérios associados ao processo de seleção e avaliação de fornecedores.

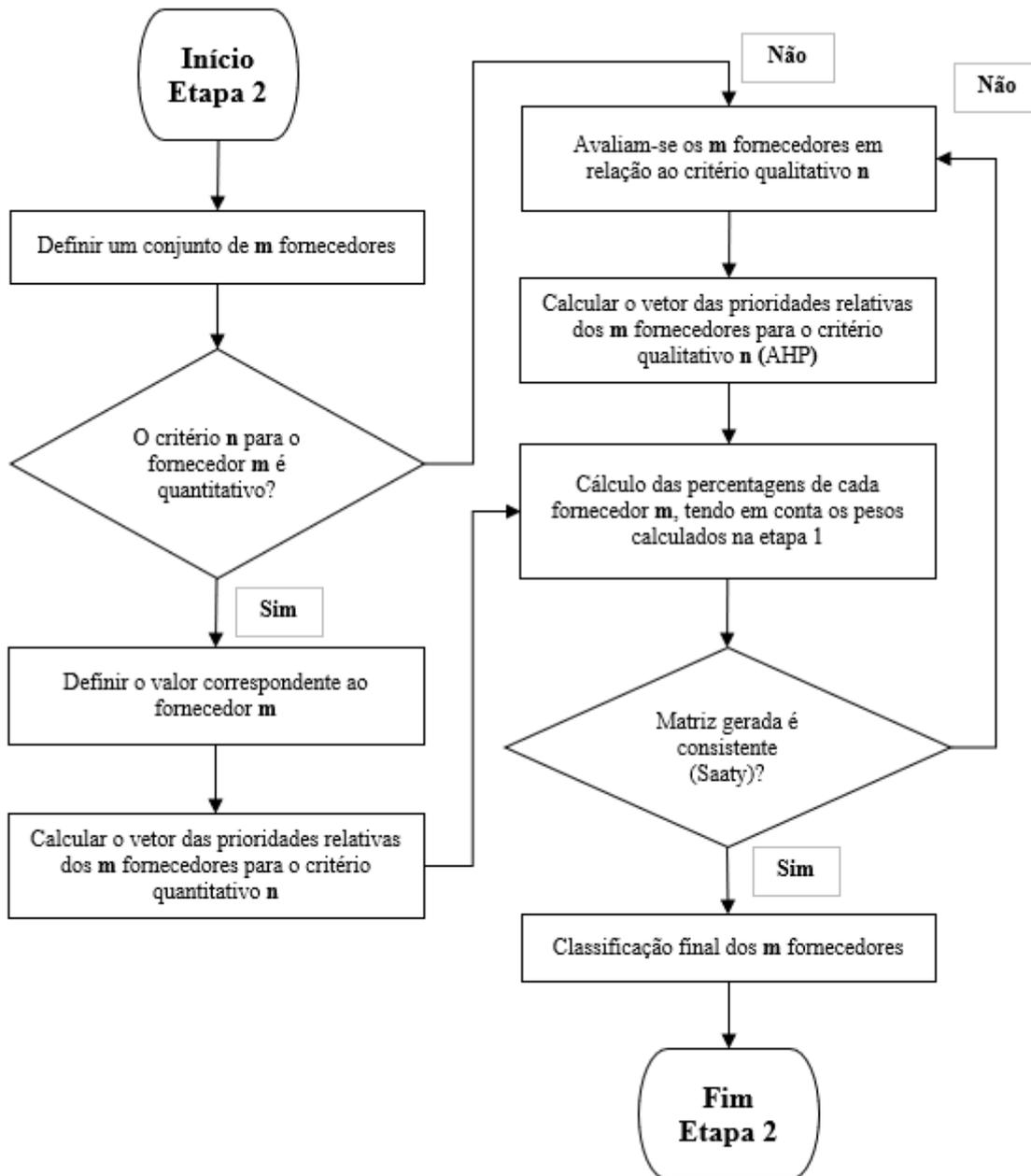
Numa primeira fase, é obrigatório fazer uma seleção do conjunto de critérios que irão ser considerados neste processo de seleção e avaliação de fornecedores. Após este conjunto de  $n$  critérios estarem definidos, convém determinar de que tipo é cada critério - qualitativo ou quantitativo. Caso o critério considerado seja quantitativo, existe outra definição a fazer - se o critério tem como objetivo ser minimizado (peso inversamente proporcional ao valor numérico correspondente a esse critério) ou maximizado (peso diretamente proporcional ao valor numérico correspondente a esse critério). Após a definição da tipologia (e do objetivo, quando necessário) de cada critério, deve proceder-se à avaliação do conjunto selecionado, de maneira a determinar a importância (peso) de cada critério no processo de tomada de decisão. Essa importância é determinada recorrendo ao método AHP, que permite fazer a verificação da consistência da matriz gerada, de maneira a obter decisões de avaliação de critérios mais consistentes.

### 3.1.2. Etapa 2

As informações colecionadas no capítulo anterior revelam uma tendência para a utilização duma metodologia que combina abordagens do método AHP com outros métodos (Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, Programação Linear, entre outros). Muitas vezes, o método AHP é utilizado numa etapa de definição de critérios e, posteriormente, combina-se com a utilização de outros métodos. Uma vez que o método AHP permite a verificação da consistência das decisões tomadas, levando à obtenção de resultados mais fidedignos e coerentes e, dado que, comparativamente aos outros métodos, esta verificação é a parte que traz mais vantagens ao método AHP, decidiu-se manter a aposta numa abordagem utilizando o método AHP. Consequentemente, a etapa 2 (Figura 9) foi criada para selecionar, definir os valores correspondentes, avaliar e calcular as percentagens associadas a cada alternativa de fornecedor.

Primeiramente, existe a obrigatoriedade de definir um conjunto de  $m$  fornecedores. Após este conjunto estar definido, confronta-se cada  $n$  critério com os  $m$  fornecedores. Se o critério em questão for quantitativo, pretende-se recolher o vetor das prioridades relativas de cada  $m$  fornecedor para esse critério, através da definição do valor que corresponde a cada fornecedor. No sentido contrário, se o critério  $n$  for qualitativo, volta-se a usar o método AHP para determinar o vetor das prioridades relativas de cada fornecedor  $m$ , havendo, na mesma, a verificação da consistência da matriz gerada para cada critério qualitativo. Por último, após os vetores das prioridades relativas estarem calculados para cada fornecedor e a consistência das decisões tomadas estar assegurada, o cálculo da percentagem final que corresponde à

classificação de cada fornecedor  $m$ , tendo em conta os pesos calculados para cada critério  $n$  na etapa 1, é efetuado.



**Figura 9:** Fluxograma respetivo ao processo de identificação dos fornecedores e obtenção da classificação final dos mesmos

### 3.2. Implementação do modelo proposto

Apesar da grande popularidade dos métodos estudados no capítulo anterior, existe uma falta significativa de ferramentas que permitam uma utilização intuitiva destas técnicas em termos práticos. A maior parte do *software* disponível ao público não suporta as tecnologias mais recentes e contém apenas uma (ou algumas) destas técnicas. Existem algumas soluções

comerciais, mas o seu principal inconveniente é a necessidade de adquirir uma licença para utilizar a ferramenta, o que a torna menos atrativa para a maioria dos potenciais utilizadores. Existe, também, a utilização do Microsoft Excel, que é muito popular entre as abordagens que não implicam a utilização de *software* específico. Tendo em conta estes factos, o objetivo desta secção é o de desenvolver uma alternativa viável a estas ferramentas, implementando o modelo sugerido anteriormente com o intuito de criar uma aplicação que atue como facilitadora das atividades do dia-a-dia das PME portuguesas.

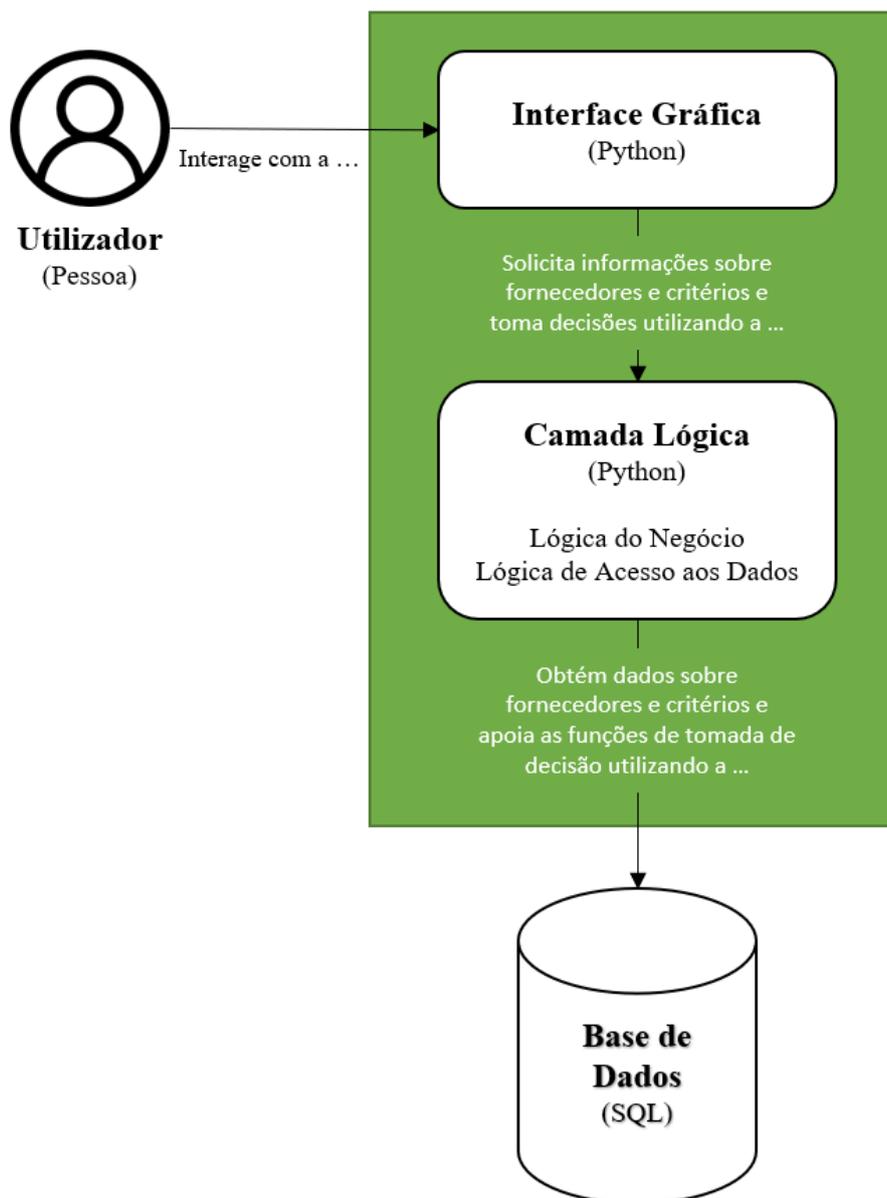
Dada a crescente geração de grandes quantidades de dados na indústria e o crescente interesse pela área da ciência dos dados, optou-se pelo desenvolvimento de uma ferramenta de *software* através da utilização da linguagem de programação mais utilizada para esse propósito: o Python. O Python tem uma sintaxe clara e legível, o que facilita a leitura e a perceção do código; é uma linguagem multiplataforma, o que significa que se pode escrever um código em Python e executá-lo em diferentes sistemas operativos (Windows, macOS e Linux), sem a necessidade de alterações significativas; é conhecido por promover a produtividade no desenvolvimento de soluções e pode ser facilmente integrado com outras linguagens, tais como: C/C++, Java e .NET.

Inicialmente, um algoritmo em Python foi desenvolvido para ser executado na linha de comandos, de maneira a verificar se a lógica do método AHP era compreendida e se os passos do modelo definido anteriormente eram bem definidos e aplicados. Rapidamente se percebeu que seria interessante desenvolver um sistema de apoio à tomada de decisão, cuja arquitetura correspondente será descrita na secção seguinte.

### **3.3. Arquitetura do sistema de apoio à tomada de decisão**

Com o intuito de facilitar a tomada de decisões, o desenvolvimento de um sistema de apoio à tomada de decisão baseado em *software* é uma abordagem que se considera ser eficiente e eficaz. O objetivo desta secção é o de fornecer uma visão geral da arquitetura do sistema proposto. Serão discutidos os componentes principais, as suas funcionalidades e interações, bem como as tecnologias fundamentais usadas para o desenvolvimento desse mesmo sistema.

A arquitetura do sistema proposto é composta por três componentes principais: base de dados, camada lógica e interface gráfica com o utilizador (Figura 10). Estes componentes trabalham em conjunto para fornecer uma solução integrada e intuitiva para a seleção e avaliação de fornecedores.



**Figura 10:** Arquitetura do sistema informático desenvolvido

### 3.3.1. Base de Dados

Existem várias maneiras de interagir com bases de dados. Tipicamente, as bases de dados encontram-se divididas em: bases de dados relacionais (*Structured Query Language* (SQL)) e bases de dados não relacionais (*Not Only SQL* (NoSQL)). Dentro das opções listadas anteriormente, optou-se pela criação de uma bases de dados relacional (SQL).

As ferramentas que recorrem ao uso da linguagem SQL são várias e cada uma delas tem os seus prós e os seus contras. Alguns dos sistemas de gestão de base de dados SQL mais conhecidos e amplamente utilizados incluem: *Microsoft SQL Server*, *MySQL*, *PostgreSQL* e *SQLite*. O *SQLite* é uma opção popular para implementar em aplicações de pequeno a médio porte, porque é uma biblioteca leve que vem embutida no Python. Por esse mesmo motivo

e pela facilidade na integração com a restante arquitetura do sistema proposto, recorreu-se à implementação de um sistema de gestão de bases de dados com recurso a *SQLite*. No entanto, convém mencionar que, se esta arquitetura exigisse recursos mais avançados, escalabilidade ou várias conexões simultâneas, seria mais recomendável considerar outros sistemas de gestão de bases de dados SQL.

A base de dados deste sistema armazenará todas as informações relevantes para a aplicação do modelo proposto (dados de fornecedores, dados de critérios de seleção e avaliação e os resultados de cada processo de avaliação). Nesse sentido, foram criadas três tabelas que podem relacionar-se entre si: a Tabela 49, a Tabela 50 e a Tabela 51. A Tabela 49 representa a estrutura definida para fazer o armazenamento e a gestão dos dados correspondentes às alternativas de fornecedores. A Tabela 50 corresponde à estrutura definida para fazer a gestão dos dados correspondentes aos diferentes critérios existentes. Por último, a Tabela 51 corresponde ao armazenamento da informação gerada no processo de seleção e avaliação de fornecedores. Esta Tabela relaciona-se diretamente com as Tabelas 49 e 50 porque as chaves primárias dessas Tabelas servem como chaves secundárias dos campos correspondentes à lista de critérios e à lista de fornecedores selecionados da Tabela 51, respetivamente.

**Tabela 49:** Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados dos fornecedores na base de dados

<b>Número de Identificação do Fornecedor</b>	<b>Designação do Fornecedor</b>	<b>Descrição do Fornecedor</b>
F1	...	...
F2	...	...
⋮	...	...
F <sub>n</sub>	...	...

**Tabela 50:** Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados dos critérios na base de dados

<b>Número de Identificação do Critério</b>	<b>Designação do Critério</b>	<b>Tipo de Critério</b>	<b>Objetivo do Critério</b>
C1	...	Quantitativo	Minimizar
C2	...	Qualitativo	-
⋮	...	...	...
C <sub>m</sub>	...	Quantitativo	Maximizar

**Tabela 51:** Tabela representativa dos campos correspondentes aos dados das avaliações registadas na base de dados

Número de Identificação da Avaliação	Critérios selecionados	Pesos dos Critérios	Fornecedores selecionados	Classificação Final dos Fornecedores
A1	C1	0,30	F2	0,15
	C3	0,50	F5	0,25
	C7	0,20	F8	0,60
A2	...	...	...	...
⋮	...	...	...	...
Ai	...	...	...	...

### 3.3.2. Camada Lógica

A camada lógica é responsável por processar as informações inseridas pelo utilizador, realizar cálculos de ponderação dos critérios e das alternativas de fornecedor através da utilização do método AHP e consultar a base de dados *SQLite* para recuperar e atualizar os dados necessários. Como foi mencionado anteriormente, a linguagem Python foi escolhida para a implementação desta camada lógica de negócios devido à sua simplicidade, ampla gama de bibliotecas e suporte nativo ao *SQLite*. Adicionalmente, o Python fornece recursos avançados para manipulação de dados, cálculos e integração com bases de dados, permitindo uma implementação eficiente da lógica existente.

A camada lógica é aquela que envolve a maior troca de informações, porque ela funciona como a camada intermediária entre a interface gráfica e a base de dados e deve garantir que as operações sejam realizadas de acordo com as políticas e procedimentos estabelecidos pelo modelo de implementação proposto anteriormente.

### 3.3.3. Interface Gráfica com o Utilizador

Existem algumas bibliotecas criadas para a linguagem Python que têm sido, habitualmente, utilizadas para o desenvolvimento de aplicações com interface gráfica. Dentro das bibliotecas exploradas, existem as seguintes opções: *Kivy*, *PyQt*, *PyGui*, *WxPython* e *Tkinter*. Tornou-se evidente que uma destas bibliotecas deveria ser utilizada. Dada a sua simplicidade, o facto de vir incorporada no pacote original da linguagem Python (sem necessidade de instalar módulos adicionais), de ser bastante fácil de aprender e de compreender, de ser de fonte aberta e de ter uma comunidade de programadores antiga e ativa (e que disponibiliza uma grande quantidade de recursos), a biblioteca *Tkinter* foi a escolhida para dar este próximo passo.

Mais tarde, durante o processo de desenvolvimento da interface, atualizou-se o aspeto da aplicação com recurso à biblioteca *CustomTkinter* (desenvolvida por Tom Schimansky da Universidade de Hamburgo), que fornece *widgets* novos, com aspetos mais modernos e totalmente personalizáveis. A transição para a utilização desta biblioteca foi muito suave, porque o processo de criação e de utilização dos *widgets* é parecida com os comandos do *Tkinter* e esta também pode ser usada em combinação com os elementos normais da biblioteca *Tkinter*.

Esta interface foi desenvolvida com um tamanho padrão de 1000 por 618 pixeis (números obtidos através da aplicação do rácio dourado ao tamanho da janela pretendida). Embora estes números tenham sido aplicados, a janela é redimensionável. Dado que o inglês é amplamente adotado como a linguagem padrão de comunicação global, permite o acesso a um mercado mais global e a um público mais amplo, optou-se pelo desenvolvimento da aplicação nessa mesma língua. Assim sendo, o título que corresponde à interface gráfica desenvolvida é “*Supplier Selection and Evaluation*” e a interface encontra-se dividida em quatro separadores que permitem ao utilizador navegar entre os mesmos, executar tarefas e visualizar graficamente os resultados das decisões tomadas. As subsecções seguintes irão descrever, com mais detalhe, o que um utilizador pode fazer/ver em cada um destes separadores.

### **Separador *Suppliers***

É neste separador que são tratados os dados relativos às alternativas de fornecedores (ou *suppliers*). A Figura 11 ilustra a interface definida para implementar as funções de manipulação das entradas de fornecedores. Uma instância de fornecedor tem três campos que devem ser preenchidos com dados. O primeiro campo deve ser um número que identifica o fornecedor (neste caso: “*Sup\_Id*”). Este número é único, intransmissível e só pode ser atribuído a uma única instância de fornecedor, nunca mais podendo ser utilizado (ou reutilizado) novamente - é uma chave primária. O segundo campo é um campo de caracteres que contém o nome da marca/empresa associada àquele número identificador e o terceiro campo foi criado com a intenção de deixar uma breve descrição das atividades relacionadas com aquele fornecedor (como, por exemplo: “fornecedor de metais de precisão”). Tendo em conta este contexto, foram criados alguns métodos para criar, ler, atualizar e eliminar registos de fornecedores da base de dados. No lado esquerdo do separador, existem dois campos de entrada e três botões, utilizados para implementar as funções. No centro, existe uma lista que mostra cada registo de fornecedor existente na base de dados. Esta lista deve ser atualizada sempre que se clica num botão do lado esquerdo. Do lado direito do ecrã, existe uma lista vazia que contém o mesmo cabeçalho que a lista central. Esta lista destina-se à visualização das alternativas de fornecedor a serem consideradas. Entre ambas as listas, existem dois botões de seleção que servem para permutar a visualização das alternativas de fornecedor. Só as entradas que constam na lista da direita é que serão consideradas para o processo de tomada de decisão. Para que essas entradas sejam submetidas, existe um botão por baixo dessa lista responsável por esse processo de submissão.

**Create a new supplier (or update supplier data)**

Supplier's name

Supplier's description

**Select a supplier from this list**

Sup_Id	Name	Description
3	D	Denmark
5	F	France
6	J	Japan
8	B	Botswana
12	L	Latvia
13	A	Australia
15	M	Madagascar
16	H	Hungary
17	K	Kuwait
19	P	Portugal

**Only the suppliers that appear in this list will be considered**

Sup_Id	Name	Description
--------	------	-------------

**Figura 11:** Separador *Suppliers*.

Os campos de entrada devem ser preenchidos com dados, para que uma entrada de fornecedor seja inserida na base de dados. Foi definido que o campo “*Supplier’s name*” não deveria estar vazio, no momento do registo. Se esta condição não for verificada, quando um utilizador clicar no botão “*Insert*”, deverá aparecer no ecrã uma mensagem de erro a informar que o mesmo não foi criado. Caso contrário, a entrada é inserida na base de dados com sucesso, aparecendo visível na lista do centro.

Se, por algum motivo, um utilizador decidir atualizar os dados relativos a um fornecedor da lista de fornecedores, esses dados podem ser atualizados clicando no botão “*Update*”. No entanto, isto só pode ocorrer se for selecionada uma entrada da lista de fornecedores. Se o utilizador não conseguir selecionar nenhuma entrada, deve aparecer no ecrã uma mensagem de erro a informar o mesmo de que deve selecionar uma entrada primeiro. Depois de selecionar corretamente uma entrada e clicar no botão “*Update*”, deve ser visível um cenário semelhante ao ilustrado na Figura 12. Os dados correspondentes à entrada selecionada são extraídos da base de dados e são introduzidos nos dois campos de registo. Aparecerá um botão “*Confirm Changes*” por debaixo do botão “*Update*”. No contexto desta aplicação, o botão “*Update*” é responsável por extrair os dados da base de dados e colocá-los visíveis no ecrã e o botão “*Confirm Changes*” realiza a *query* necessária para atualizar a base de dados. Depois de o utilizador atualizar os campos com os dados desejados, é emitida uma mensagem de sucesso e os dados atualizados devem encontrar-se visíveis na lista da esquerda.

**Create a new supplier (or update supplier data)**

Supplier's name:

Supplier's description:

**Select a supplier from this list**

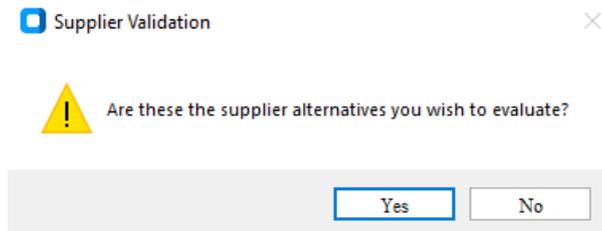
Sup_Id	Name	Description
3	D	Denmark
5	F	France
6	J	Japan
8	B	Botswana
12	L	Latvia
13	A	Australia
15	M	Madagascar
16	H	Hungary
17	K	Kuwait
19	P	Portugal

**Figura 12:** Exemplo de visualização do separador *Suppliers* após uma atualização bem sucedida

Também está presente um botão de “*Delete*”, para que uma entrada de fornecedor seja apagada da base de dados. Mais uma vez, se o utilizador não conseguir seleccionar qualquer entrada (a eliminar), deve ser apresentada uma mensagem de erro. Caso contrário, uma mensagem de sucesso é apresentada.

Como mencionado anteriormente, existe uma lista para as alternativas de fornecedores escolhidas pelo utilizador (lado direito da Figura 11). Esta lista será considerada para os procedimentos de tomada de decisão. Para que uma alternativa apareça nesta lista, o utilizador deve seleccionar uma entrada da lista de fornecedores (centro) antes de clicar no botão “*Select Supplier*”. Se o utilizador não seleccionar qualquer entrada dessa lista ou se o utilizador seleccionar uma entrada do lado direito do ecrã, mais uma vez, deverá aparecer uma mensagem de erro no ecrã. Em caso de sucesso, uma entrada é removida da lista do centro, sendo introduzida na lista da direita. Se o utilizador pretender anular alguma selecção feita, o botão “*Undo Selection*” deve ser clicado. Condições semelhantes às do botão “*Select Supplier*” devem ser cumpridas, de maneira a permutar uma entrada da lista da direita com a lista do centro.

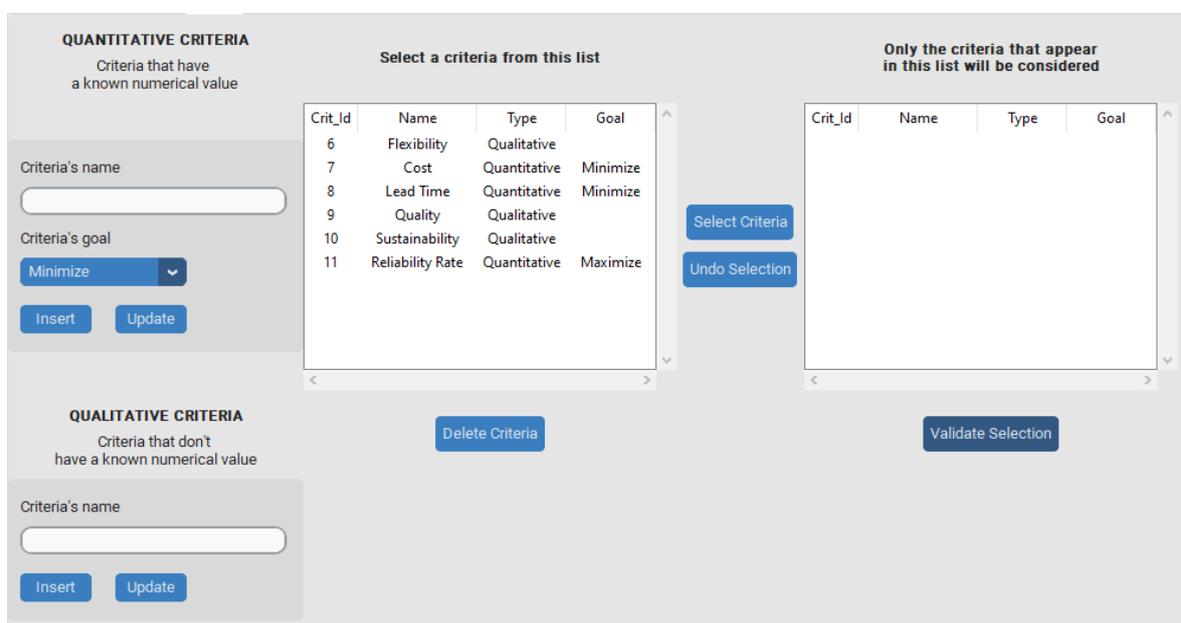
Quando o utilizador se sentir satisfeito com as escolhas efetuadas, o botão “*Validate Selection*” deve ser premido, de forma a submeter a lista de alternativas de fornecedor seleccionadas. Quando este botão é premido, surge uma caixa de mensagem com uma pergunta de sim ou não (Figura 13). Se o botão “*Yes*” for clicado, podem ocorrer duas situações: o número de alternativas de fornecedores tem de ser maior que zero ou um, pelo que, se não se verificar esta condição, é apresentada uma mensagem de erro no ecrã a pedir mais alternativas para consideração ou, se forem seleccionadas duas ou mais alternativas, a caixa de mensagem desaparece e a validação é concluída com sucesso.



**Figura 13:** Menu pop-up de validação da seleção para as alternativas de fornecedor.

### Separador *Criteria*

Este separador é responsável pelo tratamento de todos os dados dos critérios. Foi concebido com uma estrutura semelhante ao separador *Suppliers*, dando origem à Figura 14.



**Figura 14:** Separador *Criteria*

Um critério é concebido com quatro campos de dados. O primeiro campo é um número que identifica o critério ("Crit\_Id"). É também um número único e intransmissível que só pode ser atribuído a uma única instância de uma entrada de critério. O campo número dois é uma cadeia de caracteres que contém o nome do critério. Como foi referido anteriormente, existem critérios qualitativos e quantitativos. É importante fazer essa distinção. Por este motivo, foi criado o campo número três - é um campo de caracteres que pode conter a palavra "Quantitative" ou a palavra "Qualitative". Finalmente, se for criado um critério quantitativo, é importante saber se o critério correspondente deve ser minimizado ou maximizado. Por esta razão, é criado o campo número quatro, um campo de caracteres que pode conter o termo "Minimize" ou o termo "Maximize". Se for inserido um critério qualitativo, este último campo fica com o conteúdo vazio.

No lado esquerdo, existem dois grupos de *widgets* (um por cima do outro). O grupo de

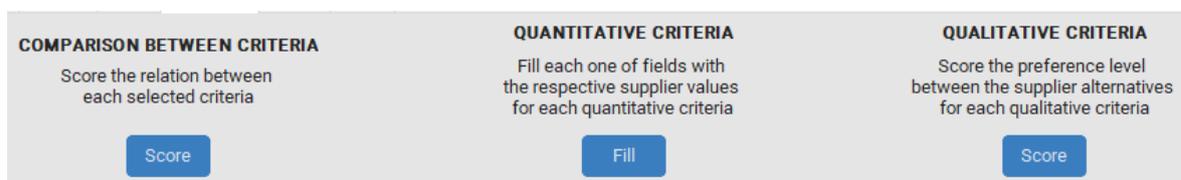
cima destina-se aos critérios quantitativos e o grupo de baixo destina-se aos critérios qualitativos. Cada grupo tem um campo de entrada (destinado a conter o nome correspondente ao critério que se pretende criar) e um botão de submissão. Adicionalmente, o grupo de *widgets* dos critérios quantitativos contém um menu de *dropdown* com duas opções que representam as intenções de “minimizar” ou “maximizar” o critério. Por predefinição, a opção escolhida é a de “minimizar”.

As funcionalidades de inserção, atualização e eliminação de critérios são, em tudo, semelhantes aos processos descritos para o separador *Suppliers*, com a diferença da posição de alguns botões. Neste separador, o botão “*Confirm Changes*” aparece do lado direito do botão “*Update*” e o botão “*Delete Criteria*” aparece por debaixo da lista do centro porque não fazia sentido estar a replicar este botão para ambos os grupos de *widgets* de critérios. Os botões de permuta entre listas também funcionam da mesma forma e o botão “*Validate Selection*”, desta vez, verifica se existem, pelo menos, três critérios (dado que o método AHP não permite o cálculo da consistência das decisões para casos em que menos do que três critérios são considerados).

### Separador *Parameters*

Este é o separador onde o utilizador irá interagir e pontuar cada alternativa de fornecedor selecionada no separador *Suppliers* e cada um dos critérios selecionados no separador *Criteria*. Foi concebido com o objetivo de separar visualmente cada parte do processo de tomada decisão, esclarecendo qual a secção que diz respeito à classificação dos critérios quantitativos e qual a secção que diz respeito à classificação dos critérios qualitativos.

Quando a janela da aplicação “*Supplier Selection and Evaluation*” é aberta, antes de ser tomada qualquer ação, este separador deve ter o aspeto correspondente à Figura 15. Existem três colunas de conteúdo, cada uma com um botão atribuído. Se o utilizador carregar em qualquer um destes botões, antes de validar os critérios e as alternativas de fornecedores, não acontece nada. Isto significa que este separador está dependente das ações realizadas nos separadores anteriores, para que funcione corretamente.



**Figura 15:** Separador *Parameters*.

Se a validação da lista de critérios for efetuada com êxito, o botão *Score* da coluna da esquerda deve poder funcionar. Quando premido, é visível um cenário semelhante ao representado na Figura 16. Dada a lista de critérios, aparece um número correspondente de *sliders*

(objetos deslizantes com uma mancha circular azul), de modo a facilitar a comparação emparelhada de critérios. Os círculos estão predefinidos para começarem no meio, o que indica indiferença entre os critérios que estão a ser comparados - é equivalente a uma pontuação de um, quando se utiliza a escala de Saaty (Saaty, 1987). Se um critério for mais valorizado do que o outro, o utilizador deve aproximar o *slider* ao nome do critério que é mais desejável. Quanto mais próximo o círculo estiver desse nome, maior a preferência (ou seja, mais perto a pontuação se encontra de um nove).

**COMPARISON BETWEEN CRITERIA**  
Score the relation between each selected criteria

Score

Flexibility		Sustainability
Flexibility		Lead Time
Flexibility		Cost
Sustainability		Lead Time
Sustainability		Cost
Lead Time		Cost

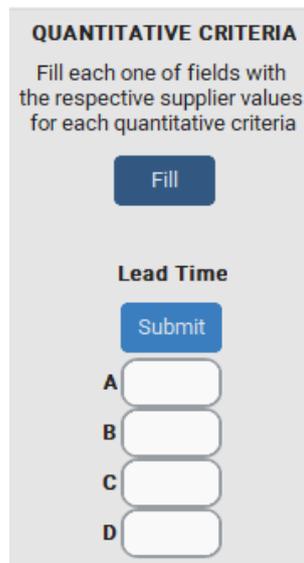
Validate Scores

**Figura 16:** Comparações entre critérios.

Além disso, um botão “*Validate Scores*” também aparece na parte inferior dos *sliders* para permitir a submissão dos resultados. O método responsável pela criação do vetor das prioridades dos critérios do método AHP reside neste botão. Adicionalmente, os cálculos do rácio de consistência também são efetuados. Se, por qualquer razão, as pontuações não forem consistentes, é lançada uma mensagem de erro e as pontuações não são submetidas, mas os *sliders* não voltam para as suas posições centrais. Foi concebido que os mesmos deveriam permanecer onde estão porque, muitas das vezes, o utilizador deve repensar algumas decisões tomadas, não todas. Se o utilizador for bem sucedido em construir uma matriz de decisão consistente, é apresentada uma mensagem de sucesso e o mesmo poderá ver os valores dos pesos atribuídos a cada critério se selecionar o separador seguinte (também conhecido como o separador *Decision*).

Para além da validação dos critérios, os botões da coluna do meio e da coluna da direita só podem funcionar se for validada uma lista de alternativas de fornecedores. Se estes dois passos forem concluídos com sucesso, surge um cenário como o da Figura 17, quando o botão “*Fill*” é premido. O nome do critério correspondente aparece a negrito na primeira linha do *widget* gerado. A segunda linha é constituída por um botão “*Submit*” responsável por tratar os dados que são inseridos nos campos de entrada que se encontram nas linhas abaixo.

Finalmente, cada campo de entrada tem, à esquerda do mesmo, o nome da alternativa de fornecedor correspondente a negrito. À semelhança do que acontece com a comparação de critérios, quando o utilizador submete os dados, o utilizador poderá ver o vetor das prioridades correspondente ao nome do critério quantitativo no separador seguinte.



**QUANTITATIVE CRITERIA**  
Fill each one of fields with the respective supplier values for each quantitative criteria

Fill

**Lead Time**

Submit

A

B

C

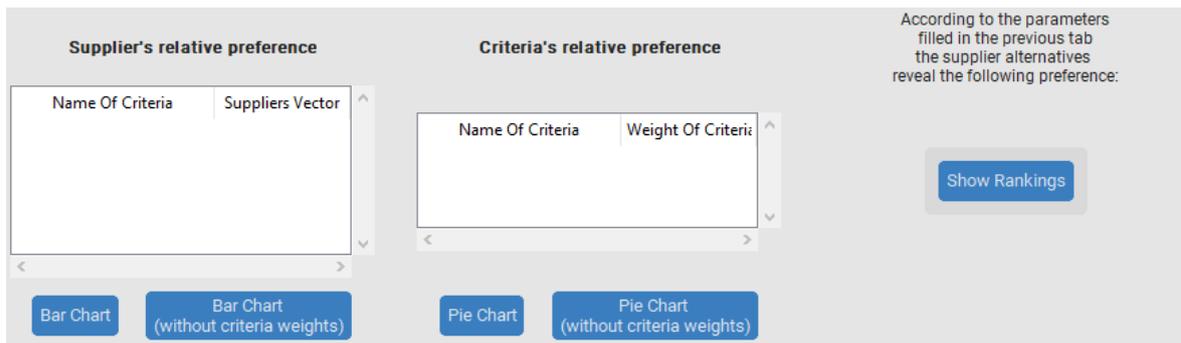
D

**Figura 17:** Campos de entrada dos critérios quantitativos.

A coluna da direita gera os *widgets* correspondentes à pontuação dos critérios qualitativos. Este processo de geração é, em tudo, semelhante ao da geração de *widgets* para a ponderação dos critérios - coluna da esquerda. As únicas diferenças visíveis encontram-se na aparência dos nomes de cada alternativa de fornecedor em vez do nome de cada critério, e na localização do botão “*Validate Scores*”, que se encontra por cima dos *sliders* em vez de por debaixo dos mesmos. Mais uma vez, depois de premir o botão “*Validate Scores*”, o utilizador será informado se os dados gerados são consistentes ou não. Se a consistência for verificada com sucesso, esta informação também estará disponível no separador seguinte.

### **Separador *Decision***

Este é o separador onde o utilizador poderá agregar todas as informações geradas no separador anterior. Foi concebido com o objetivo de facilitar a compreensão dos resultados obtidos. Quando a janela é aberta, antes de qualquer ação ocorrer, este separador deve ter um aspeto vazio (Figura 18).



**Figura 18:** Disposição dos *widgets* do separador *Decision*.

Na coluna mais à esquerda de *widgets* do separador, encontra-se uma listagem dos vetores de prioridades das alternativas de fornecedor obtida através dos métodos executados no separador *Parameters* - colunas do meio e da direita desse separador. Numa coluna central, existe uma listagem do vetor das prioridades dos critérios, obtida através do método executado no separador *Parameters* - coluna da esquerda. Se um utilizador conseguir preencher estes parâmetros da maneira descrita na subsecção anterior, deverá ocorrer um cenário semelhante ao representado na Figura 19.

The image shows the same interface as Figure 18, but with data entered into the tables. The 'Supplier's relative preference' table has five rows, and the 'Criteria's relative preference' table has three rows.

Supplier's relative preference		Criteria's relative preference	
Name Of Criteria	Suppliers Vector	Name Of Criteria	Weight Of Criteria
Climate	0.4444	Climate	0.1429
Climate	0.4444	Sightseeing	0.2857
Climate	0.1111	Environment	0.5714
Sightseeing	0.6000		
Sightseeing	0.3000		

**Figura 19:** Listas completas com os vetores das prioridades relativas dos critérios e das alternativas de fornecedor.

Embora os dados que aparecem nas listas acima mencionadas sejam úteis, o processo de ajuda na tomada de decisão não está completo. É importante dar um último passo. Este passo envolve a agregação destes dados todos, com o intuito de efetuar a determinação das percentagens de preferência para cada alternativa. Cada botão que aparece neste separador é capaz de efetuar esta tarefa de determinação/cálculo.

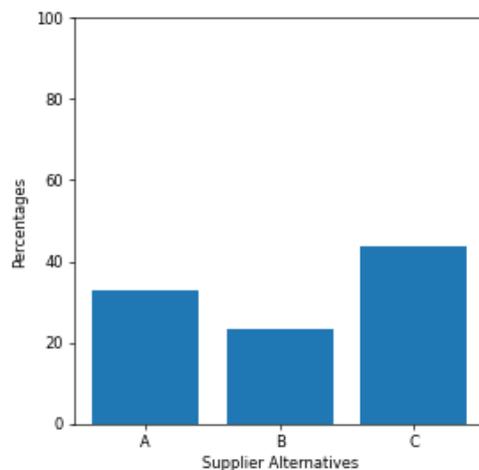
Começando na coluna da direita, existe um botão “*Show Rankings*” destinado a classificar, por ordem decrescente, cada fornecedor. Existe um espaço vazio acima do botão que, depois de clicado, deve revelar os resultados dessas classificações. Após premir este botão, uma lista de alternativas de fornecedores aparece à esquerda do utilizador e as respectivas percentagens de preferência para cada alternativa, calculadas com arredondamentos a duas casas decimais, aparecem à direita (Figura 20). Como a ordem é decrescente de classificação, pressupõe-se que mais acima ficam as alternativas com maior percentagem e mais

abaixo ficam as alternativas com menor percentagem. Se, por algum motivo, estes cálculos não forem possíveis de executar (porque a informação existente está incompleta ou por outro motivo qualquer), não acontece nada ao clicar neste botão.



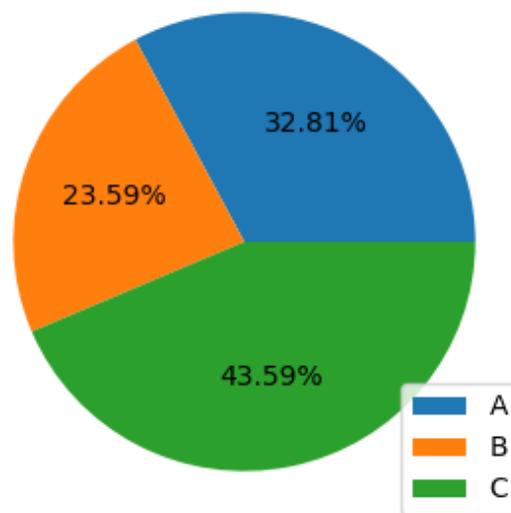
**Figura 20:** Classificação das alternativas de fornecedor após o clique no botão “*Show Rankings*”.

Existem também dois botões que ilustram um gráfico de barras (primeira coluna) - os gráficos são traçados considerando (ou não) os pesos dos critérios - cujo o sistema de coordenadas cartesianas está desenhado por debaixo desses botões. O ponto de origem está situado no canto inferior esquerdo da grelha e a escala está dividida em seis pontos fixos que vão de zero a cem (estas marcas representam as percentagens, que progridem numa ordem de grandeza de vinte por cento). O gráfico de barras correspondente é obtido a partir dos cálculos para obter a classificação de cada alternativa de fornecedor. Depois de clicar neste botão, o utilizador poderá ver a escala do eixo dos x transformar-se num eixo contendo os nomes de cada uma das alternativas de fornecedor e as barras irão crescer até atingirem a estatura que contém a percentagem correspondente a cada alternativa de fornecedor (Figura 21). Uma vez mais, se não houver dados suficientes para facilitar a representação destes gráficos, nada acontecerá quando o utilizador premir um dos botões de “*Bar Chart*”.



**Figura 21:** Exemplo de um gráfico de barras com alternativas de fornecedores desenhado após o clique no botão “*Bar Chart*”.

Os botões dos gráficos circulares encontram-se na coluna do meio e também têm um desenho por debaixo de um círculo preenchido (cem por cento) com um tom de azul. Ao clicar num dos botões, o utilizador poderá ver uma representação do tamanho da fatia correspondente a cada uma das alternativas de fornecedor, com as percentagens a aparecerem no meio das fatias. No canto inferior direito da imagem, existe uma legenda do esquema de cores gerado para representar as alternativas fornecedores (Figura 22). Voltando a referir as observações feitas para os outros botões, se, por algum motivo, não houver dados suficientes para facilitar a representação destes gráficos, nada acontecerá quando o utilizador premir um dos botões de “*Pie Chart*”, e o círculo continua cheio e preenchido a azul.



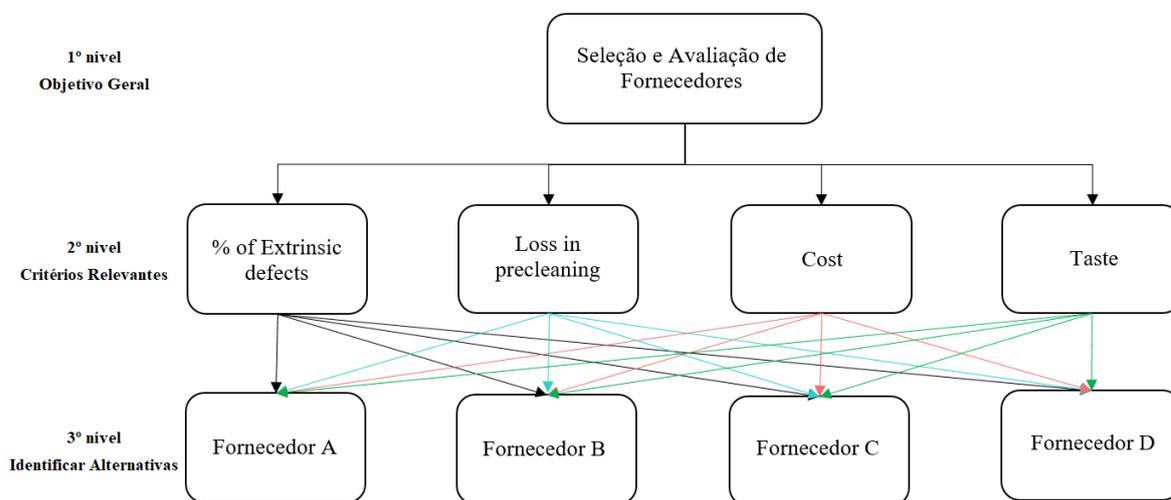
**Figura 22:** Exemplo de um desenho de gráfico circular com alternativas de fornecedores desenhado após clique no botão “*Pie Chart*”.

## 4 Validação da aplicação desenvolvida

Este capítulo encontra-se dividido em duas secções. Na primeira secção, apresenta-se uma descrição detalhada de um caso de estudo identificado como relevante no contexto da aplicação do método AHP à indústria do café no Brasil. O caso de estudo em questão foi selecionado porque o contexto empresarial descrito no mesmo se assemelha bastante ao contexto das PME nacionais. Na secção seguinte, aplica-se o processo de tomada de decisão utilizando a ferramenta desenvolvida no capítulo três e comparam-se os resultados obtidos com os resultados descritos no caso de estudo da secção anterior.

### 4.1. Caso de estudo numa fábrica de torrefação de café do Brasil

Considera-se o caso de estudo de Pacheco et al. (2022) para a aplicação futura de testes à ferramenta desenvolvida. Os níveis principais do método AHP considerados neste estudo encontram-se ilustrados na Figura 23. Algumas considerações a esta ilustração devem ser feitas. A tradução de todos os níveis da hierarquia foi feita, com a exceção dos nomes dos critérios utilizados, que se mantêm em inglês, de maneira a facilitar a leitura deste documento, tendo em conta a utilização destes critérios na ferramenta (que também se encontra desenvolvida na língua inglesa).



**Figura 23:** Esquema do método AHP utilizado para a seleção e avaliação de fornecedores, dividido em três níveis: objetivo geral, critérios relevantes, e identificação de alternativas (Adaptado de Pacheco et al. (2022))

Primeiramente, procedeu-se à avaliação emparelhada dos critérios. Segundo Pacheco et al. (2022), este processo foi desenvolvido através do preenchimento de formulários, du-

rante o processo de entrevista com os decisores da fábrica de café. Os resultados da agregação dessas comparações todas, encontram-se visíveis na Tabela 52.

**Tabela 52:** Comparações emparelhadas dos critérios

	<i>Extrinsic defects</i>	<i>Loss in precleaning</i>	<i>Cost</i>	<i>Taste</i>
<i>Extrinsic defects</i>	<b>1</b>	5	2	1
<i>Loss in precleaning</i>	1/5	<b>1</b>	1/7	1/5
<i>Cost</i>	1/2	7	<b>1</b>	1/3
<i>Taste</i>	1	5	3	<b>1</b>

O vetor das prioridades ( $w$ ) foi obtido padronizando a média geométrica de cada linha da matriz da Tabela 52:

$$w \approx (0,3514; 0,0543; 0,2054; 0,3889)^T$$

Tendo em conta estes valores obtidos, a Tabela 53 apresenta a classificação dos critérios com base na sua importância (os valores do vetor das prioridades foram convertidos em percentagens, para ajudar a uma melhor compreensão). A consistência das decisões também foi calculada. Dado que Pacheco et al. (2022) utilizam um método de cálculo diferente de Saaty (1987), os cálculos de verificação da consistência resultantes não serão expostos. Contudo, pode-se afirmar que essa verificação validou as decisões tomadas.

**Tabela 53:** Classificação dos critérios.

<b>Critério</b>	<b>Prioridade (peso)</b>
<i>Taste</i>	38,89%
<i>Extrinsic defects</i>	35,14%
<i>Price</i>	20,54%
<i>Loss in precleaning</i>	5,43%

Os cálculos do nível seguinte (terceiro nível), onde se julgam as alternativas entre si relativamente a cada critério, são o próximo passo. Dentro deste cenário real, existem três critérios (*extrinsic defects*, *loss in precleaning* e *cost*) que contêm dados quantitativos. Torna-se necessário harmonizar os valores correspondentes para cada fornecedor (Tabela 54). A padronização destes valores encontra-se na Tabela 55, o que permite obter os vetores das prioridades locais de cada critério.

**Tabela 54:** Valores correspondentes a cada critério quantitativo para os fornecedores A,B,C e D

	<i>Extrinsic defects (%)</i>	<i>Loss in precleaning (%)</i>	<i>Cost (R\$)</i>
<b>Fornecedor A</b>	0,53	0,53	345,00
<b>Fornecedor B</b>	0,52	0,41	350,00
<b>Fornecedor C</b>	0,67	0,49	340,00
<b>Fornecedor D</b>	0,47	0,44	320,00

**Tabela 55:** Vetores das prioridades padronizados (prioridades locais) dos fornecedores A, B, C e D

	<i>Extrinsic defects</i>	<i>Loss in precleaning</i>	<i>Cost</i>
<b>Fornecedor A</b>	0,2539	0,2184	0,2452
<b>Fornecedor B</b>	0,2588	0,2823	0,2417
<b>Fornecedor C</b>	0,2009	0,2362	0,2488
<b>Fornecedor D</b>	0,2864	0,2631	0,2643

O critério *taste*, devido ao seu carácter qualitativo, apresenta a necessidade de efetuar um novo tipo de comparações emparelhadas e mais um cálculo da consistência das decisões tomadas. Assim sendo, a Tabela 56 apresenta este processo de comparação emparelhada entre as alternativas de fornecedor.

**Tabela 56:** Comparações emparelhadas entre as alternativas relativamente ao critério *taste*

	<b>Fornecedor A</b>	<b>Fornecedor B</b>	<b>Fornecedor C</b>	<b>Fornecedor D</b>
<b>Fornecedor A</b>	<b>1</b>	1/2	2	5
<b>Fornecedor B</b>	2	<b>1</b>	4	6
<b>Fornecedor C</b>	1/2	1/4	<b>1</b>	2
<b>Fornecedor D</b>	1/5	1/6	1/2	<b>1</b>

O vetor das prioridades para o critério *taste* ( $w_{taste}$ ) foi obtido, uma vez mais, padronizando a média geométrica de cada linha da matriz da Tabela 56:

$$w_{taste} \approx (0,2878; 0,5066; 0,1361; 0,0695)^T$$

Uma vez encontrados todos os vetores das prioridades locais, torna-se possível determinar a prioridade global de cada alternativa a partir de uma soma ponderada. A matriz de decisão correspondente é representada na Tabela 57 onde os números, uma vez mais, voltam a ser convertidos em percentagens, de maneira a facilitar a interpretação dos resultados.

**Tabela 57:** Matriz de decisão do método AHP para o caso de estudo de Pacheco et al. (2022)

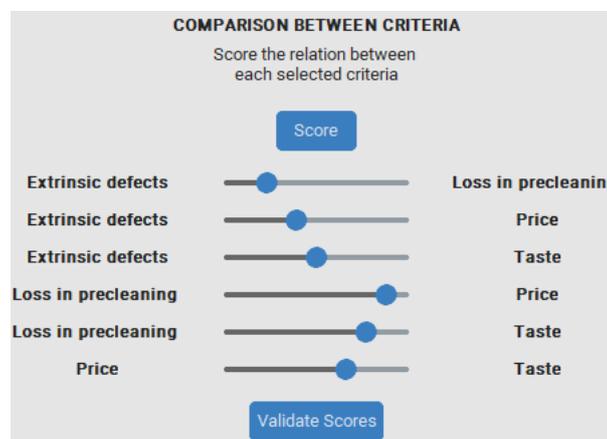
	<i>Extrinsic defects</i>	<i>Loss in precleaning</i>	<i>Price</i>	<i>Taste</i>		<b>Prioridade Global</b>
<b>Peso dos Critérios</b>	35,14	5,43	20,54	38,89		
<b>A</b>	25,39	21,84	24,52	28,78		26,34
<b>B</b>	25,88	28,23	24,17	50,66	=	35,29
<b>C</b>	20,09	23,62	24,88	13,61		18,74
<b>D</b>	28,64	26,31	26,43	6,95		19,62

Tendo em conta os valores obtido na matriz da Tabela 57, o método AHP indica que deve ser dada prioridade ao fornecedor B na seleção de um novo fornecedor de café, uma vez que a sua prioridade global é mais significativa do que todas as outras. A classificação final das alternativas de fornecedor é a seguinte:  $B > A > D > C$ .

#### 4.2. Aplicação da ferramenta desenvolvida ao caso de estudo

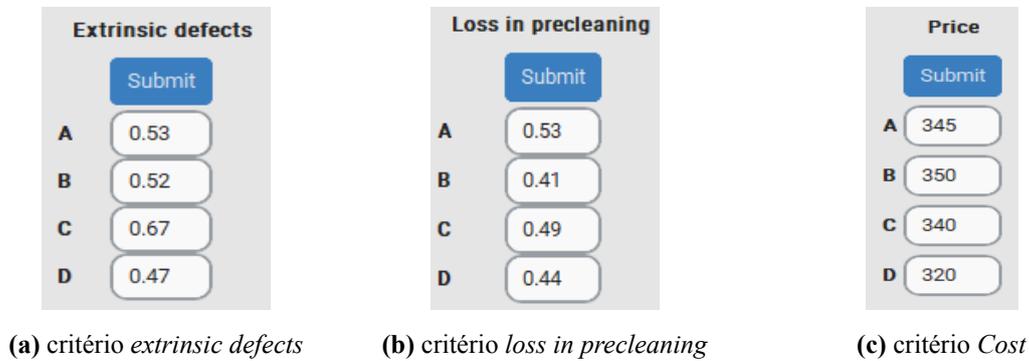
Tendo em conta o caso de estudo, procedeu-se à inserção das alternativas de fornecedor e dos critérios correspondentes na base de dados da aplicação desenvolvida. Depois de concluída a seleção dos critérios (separador *Criteria*) e a seleção das alternativas de fornecedores (separador *Suppliers*), todos os caminhos da interface gráfica da aplicação desenvolvida conduzem ao separador *Parameters*.

Na primeira coluna do separador *Parameters* encontra-se a área de comparação entre os critérios. Esta é a área de determinação do peso/prioridade de cada critério. Para obter os mesmos valores que no caso de estudo, executou-se um pré-teste para verificar onde cada círculo deveria ser posicionado, de maneira a obter o mesmo vetor de prioridades. O resultado desse teste deu origem à Figura 24.



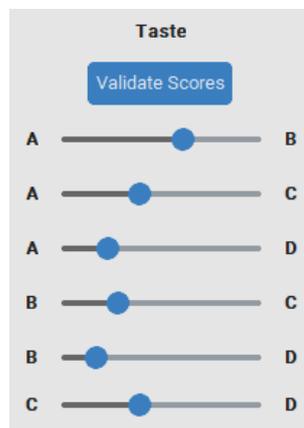
**Figura 24:** Posicionamento dos *sliders* nas comparações emparelhadas entre cada critério.

Na coluna do meio, encontra-se cada zona de inserção dos valores correspondentes para cada fornecedor, tendo em conta os critérios quantitativos. Neste caso, existem três critérios quantitativos que se pretende minimizar. Os valores correspondentes para cada alternativa de fornecedor em relação a um destes critérios podem ser encontrados na Figura 25.



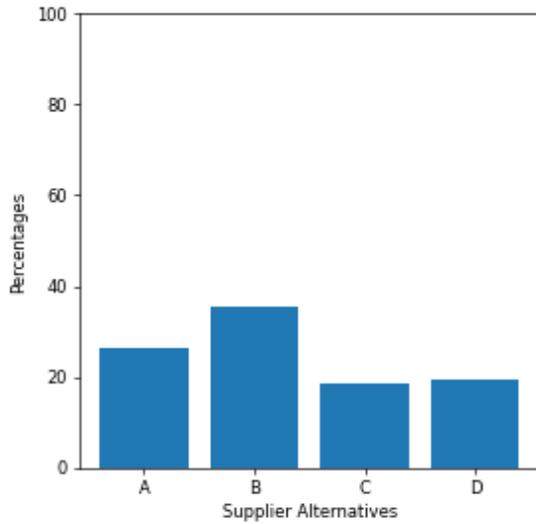
**Figura 25:** Valores de cada alternativa de fornecedor para os critérios quantitativos.

Na terceira coluna, à semelhança do processo de determinação das posições de cada *slider* na comparação entre cada zona de critérios, a comparação entre alternativas de fornecedores em relação ao critério *taste* também foi determinada com um teste prévio, de forma a obter o mesmo vetor das prioridades locais. As posições corretas apresentam-se na Figura 26.

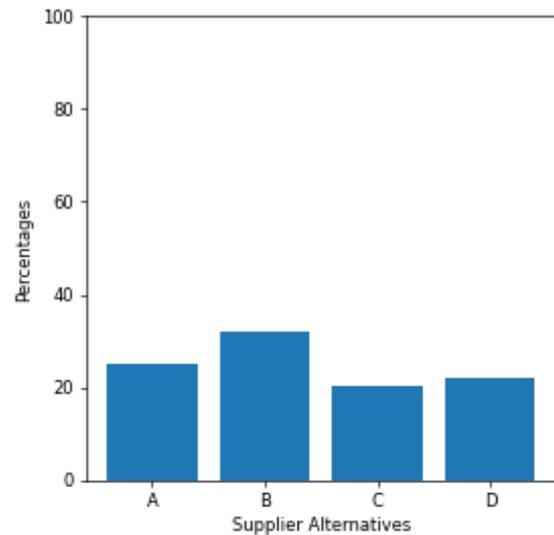


**Figura 26:** Posicionamento dos *sliders* nas comparações emparelhadas para o critério *taste*.

Depois de submeter os dados com sucesso e posicionar os *sliders* na ordem correta, a navegação pela a interface da aplicação desenvolvida conduz ao separador *Decision*. Os botões de desenho dos gráficos irão ser explorados neste cenário, dada a sua propensão para facilitar a compreensão dos resultados.

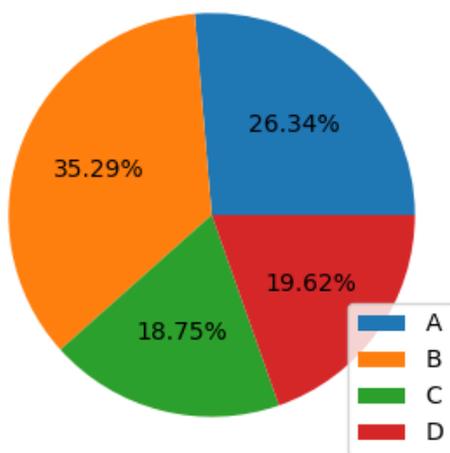


(a) A considerar os pesos dos critérios.

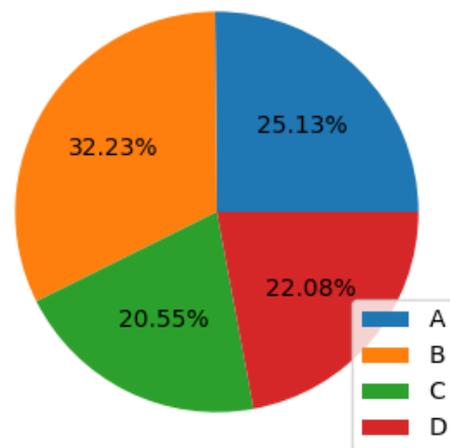


(b) Sem considerar os pesos dos critérios.

**Figura 27:** Gráficos de barras das percentagens globais de cada alternativa de fornecedor (a considerar/sem considerar os pesos de cada critério).



(a) A considerar os pesos dos critérios.



(b) Sem considerar os pesos dos critérios.

**Figura 28:** Gráficos circulares das percentagens globais de cada alternativa de fornecedor (a considerar/sem considerar os pesos de cada critério).

Os resultados obtidos nas Figuras 27 e 28 (ambos os cenários), confirmam os valores obtidos no caso de estudo apresentado, indicando, também, que a melhor opção de escolha para este cenário é o fornecedor B, uma vez que a sua prioridade global é mais acentuada do que todas as outras alternativas consideradas. Adicionalmente, verifica-se que a classificação final das alternativas de fornecedor continua a ser  $B > A > D > C$ , mesmo se os pesos dos critérios não forem equacionados no cálculo da classificação final.

## 5 Conclusões e recomendações

A presente dissertação, teve como objetivo fundamental o estudo e a aplicação de uma ferramenta multicritério de apoio à tomada de decisão para a seleção e avaliação de fornecedores num contexto industrial.

Durante o desenvolvimento deste projeto de dissertação, foi realizado um estudo suportado e fundamentado pela literatura existente, que permitiu, deste modo, entender e conhecer quais os métodos multicritério mais utilizados, consolidar os conhecimentos existentes bem como os conhecimentos adquiridos. Adicionalmente, também foi importante, no sentido de clarificar a importância da seleção e avaliação de fornecedores na conjuntura empresarial, que desempenha um papel crucial no sucesso de qualquer organização.

A escolha do método multicritério a ser usado foi uma das etapas-chave do processo, sendo que, tendo em conta a existência de critérios qualitativos e quantitativos no processo de tomada de decisão ser, cada vez mais, frequente, optou-se pelo método multicritério AHP para o desenvolvimento duma ferramenta de *software* de suporte à tomada de decisão. O método AHP demonstrou-se bastante eficaz, porque permite estruturar os problemas de uma forma hierárquica, traduzindo-se numa grande diversidade de cenários viáveis, coerentes e lógicos. Esta metodologia, facilita a subjetividade da tomada de decisão porque encontra-se estruturada por processos em que o conhecimento e as avaliações do decisor poderão influenciar diretamente as preferências relativas de cada critério.

Além disso, o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão com um *software* que aplica o método AHP oferece uma solução prática e eficiente para auxiliar a gestão de topo na seleção de fornecedores. O desenvolvimento da arquitetura de *software* desta aplicação também foi uma das etapas-chave do processo, porque o sistema de apoio à tomada de decisão foi projetado para uma análise local. Prevê-se que a utilização deste *software* economize tempo, minimize erros e facilite a comparação entre diferentes alternativas.

Olhando para o futuro, existem várias oportunidades de melhoria e expansão nesta área. Por um lado, a aplicação não prevê a possibilidade de haver mais do que um agente no processo de tomada de decisão, pelo que sugere-se a criação e a integração de vários perfis de utilizador na aplicação de *software*, de maneira a representar os múltiplos decisores que podem intervir no processo de seleção e avaliação de fornecedores.

Com o advento da Indústria 4.0 e da transição digital da indústria, as aplicações da internet das coisas tornam-se, cada vez mais, "apetecíveis", de maneira a facilitar a mobilidade e a operacionalidade interna das organizações. Nesse sentido, sugere-se a transformação da ferramenta digital desenvolvida de uma ferramenta local para uma ferramenta online (desenvolver uma aplicação para a web).

Sugere-se, ainda, a possibilidade de haver uma integração do sistema de apoio à decisão desenvolvido com outros sistemas empresariais, para uma abordagem mais holística

e integrada. Frequentemente, as diferentes aplicações de *software* utilizadas em contexto empresarial consideram o mesmo tipo de informação e de dados, mas, muitas vezes, não comunicam entre si porque são fechadas. Este fator leva à replicação da mesma informação nas diferentes aplicações, o que se considera ser um processo que não acrescenta valor. Neste sentido, seria interessante desenvolver um sistema de comunicação entre aplicações que permita a integração da informação redundante entre as diversas aplicações utilizadas na indústria.

Além das considerações feitas anteriormente, a incorporação de técnicas avançadas de análise de dados (como *machine learning* e inteligência artificial) poderão enriquecer, ainda mais, o sistema desenvolvido, permitindo uma análise mais precisa e em tempo real dos dados dos fornecedores, a identificação de tendências e a previsão do desempenho dos fornecedores no futuro.

Em suma, a seleção de fornecedores e o uso de métodos como o AHP são fundamentais para a eficiência e a competitividade das organizações. O desenvolvimento contínuo de sistemas de apoio à tomada de decisão com base no método AHP e a sua integração com as tecnologias emergentes poderão abrir novas possibilidades para melhorar a tomada de decisões na seleção e avaliação de fornecedores. Essas melhorias poderão contribuir para uma gestão mais eficaz da cadeia de abastecimento, impulsionando a qualidade dos produtos e serviços prestados, além de proporcionar uma vantagem competitiva significativa no mercado para as Pequenas e Médias Empresas.

## Referências

- Albuquerque, P. (2015, 01). Promethee iv as a decision analyst's tool for site selection in civil engineering. In (p. 257-267). doi: 10.1007/978 – 3 – 319 – 11949 – 6\_14
- Alencar, L., Almeida, A., e Mota, C. (2007, 12). Sistemática proposta para seleção de fornecedores em gestão de projetos. *Gestão & Produção*, 14. doi: 10.1590/S0104-530X2007000300005
- Ali, Z., Mahmood, T., Ullah, K., e Khan, Q. (2021, 06). Einstein geometric aggregation operators using a novel complex interval-valued pythagorean fuzzy setting with application in green supplier chain management. *Reports in Mechanical Engineering*, 2, 105-134. doi: 10.31181/rme2001020105t
- Aníbal, S., Ferreira, V., Relvas, R. B., Villalobos, L., e Aveiro, I. (2022). Que efeitos terá a guerra na economia? *Público*. Disponível em <https://www.publico.pt/2022/02/25/economia/noticia/efeitos-tera-guerra-economia-1996742>
- Avila, P., Mota, A., Pires, A., Bastos, J., Putnik, G., e Teixeira, J. (2012). Supplier's selection model based on an empirical study. *Procedia Technology*, 5, 625-634. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017312005002> (4th Conference of ENTERprise Information Systems – aligning technology, organizations and people (CENTERIS 2012)) doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.069>
- Avila, P., Mota, A., Putnik, G., Costa, L., Pires, A., Bastos, J., e Cruz-Cunha, M. (2015, 02). Proposal of an empirical model for suppliers selection. *International Journal for Quality Research*, 9, 107-122.
- Bana, Costa, C. A., e Vincke, P. (1990). Multiple criteria decision aid: An overview. In *Readings in multiple criteria decision aid* (pp. 3–14). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bennet, A., e Bennet, D. (2008). The decision-making process in a complex situation. In *Handbook on decision support systems I: Basic themes* (pp. 3–20). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Disponível em [https://doi.org/10.1007/978 – 3 – 540 – 48713 – 5\\_1](https://doi.org/10.1007/978 – 3 – 540 – 48713 – 5_1) doi: 10.1007/978 – 3 – 540 – 48713 – 5\_1
- Bhutta, M., e Huq, F. (2000, 01). Supplier selection problem: a comparison of the total cost of ownership and analytic hierarchy process approaches. *International Journal of Supply Chain Management*, 7, 126-135.
- Brans, J. P., e Mareschal, B. (1992). Promethee v: Mcdm problems with segmentation constraints. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 30(2), 85-96. doi: 10.1080/03155986.1992.11732186

- Brans, J.-P., e Mareschal, B. (1994). Promethee methods. in multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. *Springer*, 163-186.
- Brans, J.-P., e Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method. *Management Science*, 31, 647-656.
- Brans, J.-P., Vincke, P., e Mareschal, B. (1986, 02). How to select and how to rank projects: The promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24, 228-238. doi: 10.1016/0377-2217(86)90044-5
- Bridgman, P. (1922). *Dimensional analysis (1922)*. Literary Licensing, LLC. Disponível em <https://books.google.pt/books?id=QHnUoQEACAAJ>
- Caddick, J., e Dale, B. (1987, 03). The determination of purchasing objectives and strategies: Some key influences. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 17(3), 4-16. Disponível em <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb014660/full/html> doi: <https://doi.org/10.1108/eb014660>
- Che, Z., e Wang, H. (2010). A hybrid approach for supplier cluster analysis. *Computers & Mathematics with Applications*, 59(2), 745-763. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0898122109007172> doi: <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2009.10.018>
- Chen, C.-T., Lin, C.-T., e Huang, S.-F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527305000782> doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.03.009>
- Christopher, M. (2000). The agile supply chain: Competing in volatile markets. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 37-44. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850199001108> doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00110-8](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00110-8)
- Churchman, C. W., e Ackoff, R. L. (1954). An approximate measure of value. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 172-187. Disponível em <https://doi.org/10.1287/opre.2.2.172> doi: 10.1287/opre.2.2.172
- Cunha, R. A. d., Rangel, L. A. D., Rudolf, C. A., e Santos, L. d. (2022). A decision support approach employing the promethee method and risk factors for critical supply assessment in large-scale projects. *Operations Research Perspectives*, 9, 100238. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214716022000136> doi: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100238>
- De Boer, L. (2017). Procedural rationality in supplier selection: Outlining three heuristics for choosing selection criteria. *Management Decision*, 55(1), 32-56. doi: <https://doi.org/10.1108/MD-08-2015-0373>
- De Boer, L., Labro, E., e Morlacchi, P. (2001). A review of

- methods supporting supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), 75-89. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969701200000289>  
doi: [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00028-9)
- De Boer, L., e Van Der Wegen, L. (2003). Practice and promise of formal supplier selection: a study of four empirical cases. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(3), 109-118. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409203000189>  
doi: [https://doi.org/10.1016/S1478-4092\(03\)00018-9](https://doi.org/10.1016/S1478-4092(03)00018-9)
- De Felice, F., Deldoost, M., Faizollahi, M., e Petrillo, A. (2015, 10). Performance measurement model for the supplier selection based on ahp. *International Journal of Engineering Business Management*, 7. doi: 10.5772/61702
- Degraeve, Z., e Roodhooft, F. (1999). Effectively selecting suppliers using total cost of ownership. *Journal of Supply Chain Management*, 35(4), 5-10. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1999.tb00050.x>  
doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1999.tb00050.x>
- Dickson, G. W. (1966). An analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), 5-17. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>  
doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1966.tb00818.x>
- Dubois, D., e Prade, H. (1980). Fuzzy sets and systems: Theory and applications. *Academic Press*.
- Ellram, L., Zsidisin, G., Siferd, S., e Stanly, M. (2002, 12). The impact of purchasing and supply management activities on corporate success. *Journal of Supply Chain Management*, 38, 4 - 17. doi: 10.1111/j.1745-493X.2002.tb00116.x
- Ellram, L. M. (1990). The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(4), 8-14. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1990.tb00515.x>  
doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1990.tb00515.x>
- Ferreira, A. R. d. C. (2020). *Seleção e avaliação de fornecedores: Estudo de caso de uma empresa de dispositivos médicos* (Dissertação de mestrado, Universidade do Minho). Disponível em <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/74042>
- Figueira, J., Greco, S., Roy, B., e S., R. (2013, 04). An overview of electre methods and their recent extensions. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 20. doi: 10.1002/mcda.1482
- Fishburn, P. C. (1971). Additive representations of real-valued functions on subsets of product sets. *Journal of Mathematical Psychology*, 8(3), 382-388. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022249671900393>  
doi: [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(71\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0022-2496(71)90039-3)

- Gomes, C. F., Autran, L., e Gomes, M. (2014). *Tomada de decisão gerencial: Enfoque tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério*.
- Hwang, C., e Yoon, K. (1981, 01). Multiple attribute decision making: Methods and applications. *Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186, 1-259.
- Iniestra, J. G., e Gutiérrez, J. G. (2009). Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. *Applied Soft Computing*, 9(2), 512-526. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494608001099> doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2008.07.006>
- Kannan, V. R., e Tan, K. C. (2002). Supplier selection and assessment: Their impact on business performance. *Journal of Supply Chain Management*, 38(3), 11-21. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00139.x> doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2002.tb00139.x>
- Klir, G. J., e Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications. *Prentice Hall*.
- Krause, D. R., Pagell, M., e Curkovic, S. (2001). Toward a measure of competitive priorities for purchasing. *Journal of Operations Management*, 19(4), 497-512. doi: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(01\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(01)00047-X)
- Kumar, D., e Seema. (2017, 01). An analytical model for supplier selection. *International Journal of Indian Culture and Business Management*, 14, 131-140. doi: 10.1504/IJICBM.2017.10001690
- Langendyk, A. (2002). *Estratégias de logística em uma empresa do setor automobilístico: o caso da volkswagen-audi no período 1996-2001* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82450>
- Lehmann, D. R., e O'Shaughnessy, J. (1982). Decision criteria used in buying different categories of products. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 18(1), 9-14. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1982.tb00048.x> doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1982.tb00048.x>
- Li, D., Landström, A., Åsa Fast-Berglund, e Almström, P. (2019). Human-centred dissemination of data, information and knowledge in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 84, 380-386. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119309084> (29th CIRP Design Conference 2019, 08-10 May 2019, Póvoa de Varzim, Portugal) doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.261>
- Liang, H., Ren, J., Gao, S., Dong, L., e Gao, Z. (2017). Chapter 8 - comparison of different multicriteria decision-making methodologies for sustainability decision making. In A. Scipioni, A. Manzardo, e J. Ren

- (Eds.), *Hydrogen economy* (p. 189-224). Academic Press. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128111321000080>  
doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811132-1.00008-0>
- Mareschal, B., e Brans, J.-P. (1988). Geometrical representations for mcda. *European Journal of Operational Research*, 34(1), 69-77. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221788904560>  
doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90456-0](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90456-0)
- Mendes, L. P. L. d. S. (2013). *Análise dos métodos de seleção de fornecedores* (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto). Disponível em <http://hdl.handle.net/10400.22/6006>
- Menon, R. R., e Ravi, V. (2022). Using AHP-TOPSIS methodologies in the selection of sustainable suppliers in an electronics supply chain. *Cleaner Materials*, 5, 100130. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622000909>  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100130>
- Monczka, R., Handfield, R., Giunipero, L., e Patterson, J. (2008). *Purchasing and supply chain management*. Cengage Learning. Disponível em <https://books.google.pt/books?id=YGTaTIPKSsMC>
- Nutt, P. (2011, 01). Making decision-making research matter: Some issues and remedies. *Management Research Review*, 34, 5-16. doi: 10.1108/01409171111096441
- Nydick, R. L., e Hill, R. P. (1992). Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 28(2), 31-36. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1992.tb00561.x>  
doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1992.tb00561.x>
- Pacheco, D., Malheiros, F., Almeida, L., Castillo, L., e Penteado, R. (2022, 11). Supplier selection in a coffee-roasting plant: An analytic hierarchy process approach. *Engenharia Agrícola*, 42. doi: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v42n6e20220115/2022
- Pamucar, D., Ebadi Torkayesh, A., e Biswas, S. (2022, 01). Supplier selection in health-care supply chain management during the covid-19 pandemic: a novel fuzzy rough decision-making approach. *Annals of Operations Research*. doi: 10.1007/s10479-022-04529-2
- Park, K., Okudan Kremer, G. E., e Ma, J. (2018). A regional information-based multi-attribute and multi-objective decision-making approach for sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 187, 590-604. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618306863>  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.035>
- Patton, W. (1996). Use of human judgment models in industrial buyers' vendor selection decisions. *Industrial Marketing Management*, 25(2), 135-149. Disponível em

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0019850195000739>  
doi: [https://doi.org/10.1016/0019-8501\(95\)00073-9](https://doi.org/10.1016/0019-8501(95)00073-9)
- Petroni, A., e Braglia, M. (2000, 03). Vendor selection using principal component analysis. *Journal of Supply Chain Management*, 36, 63 - 69. doi: 10.1111/j.1745-493X.2000.tb00078.x
- Prahinski, C., e Benton, W. (2004). Supplier evaluations: communication strategies to improve supplier performance. *Journal of Operations Management*, 22(1), 39-62. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696303000858>  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2003.12.005>
- Predrycz, W., Ekel, P., e Parreiras, R. (2011, 01). Fuzzy multicriteria decision-making: Models, methods and applications. *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*. doi: 10.1002/978-0-470-97403-2
- Quedas, R., Silva, D., Rossi, G., e Garcia, M. (2010, 07). CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA ESCALA PARA A SELEÇÃO DE FORNECEDORES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO POR EMPRESAS SEDIADAS NA AMÉRICA LATINA. *Internext – Revista Eletrônica de Negócios Internacionais da ESPM*, 5(2), 91-116.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048314001480>  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Roy, B. (1985). Méthodologie multicritère d'aide à la décision. *Economica*.
- Roy, B. (1991). *The outranking approach and the foundations of electre methods. theory and decision* (Vol. 31).
- Roy, B. (1996). *Multicriteria methodology for decision aiding, nonconvex optimization and its applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Baixos.
- Roy, B., Benayoun, R., e Sussman, B. (1966). Electre: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *Note de Synthèse et Formation*, 25.
- Roy, B., e Słowiński, R. (2013). Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO Journal on Decision Processes*, 1(1), 69-97. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2193943821000121>  
doi: <https://doi.org/10.1007/s40070-013-0004-7>
- Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161-176. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>  
doi: [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), 557-570. Disponível em

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170400311X>  
(Feature Cluster on Mathematical Finance and Risk Management) doi:  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.032>
- Silva, A. L. G. d. (2013). *Seleção e avaliação de fornecedores: uma proposta de modelo para uma empresa de impermeabilização* (Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco). Disponível em <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/11533>
- Song, W., e Zhu, J. (2019). A multistage risk decision making method for normal cloud model considering behavior characteristics. *Applied Soft Computing*, 78, 393-406. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494619300973> doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.02.033>
- Tahriri, F., Osman, M., Ali, A., e Yusuff, R. (2008, 01). A review of supplier selection methods in manufacturing industries. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 15.
- Timmerman, E. (1986). An approach to vendor performance evaluation. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 22(4), 2-8. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-493X.1986.tb00168.x> doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1986.tb00168.x>
- Tong, L. Z., Wang, J., e Pu, Z. (2022). Sustainable supplier selection for smes based on an extended promethee □ approach. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129830. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262104004X> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129830>
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making methods: A comparative study* (Vol. 44). doi: 10.1007/978-1-4757-3157-6
- Triantaphyllou, E., e Mann, S. H. (1989). An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. *Decision Support Systems*, 5(3), 303-312. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167923689900377> doi: [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(89\)90037-7](https://doi.org/10.1016/0167-9236(89)90037-7)
- Tupa, J., Simota, J., e Steiner, F. (2017). Aspects of risk management implementation for industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1223-1230. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304560> (27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy) doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.248>
- Viana, J. C., e Alencar, L. H. (2012). Metodologias para seleção de fornecedores: uma revisão da literatura. *Revista Produção Online*, 22(4), 625-636. doi:

<https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000067>

- Vieira, J. (2003). *O sistema de apoio à decisão de gestão no exército português* (Dissertação de mestrado, Instituto Universitário Militar). Disponível em <http://hdl.handle.net/10400.26/11895>
- Viet, N. Q., Behdani, B., e Bloemhof, J. (2018). The value of information in supply chain decisions: A review of the literature and research agenda. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 68-82. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835218301761> doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.034>
- Weber, C., Current, J., e Desai, A. (2000, 01). Vendor: A structured approach to vendor selection and negotiation. *Journal of Business Logistics*, 21, 135-167.
- Weber, C. A., Current, J. R., e Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, 50(1), 2-18. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179190033R> doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90033-R](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R)
- Wu, C., e Barnes, D. (2011). A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 17(4), 256-274. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409211000495> doi: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2011.09.002>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., e Tamosaitiene, J. (2010). Selection of a contractor by using the new method of multicriteria assessment. *Technological and Economic Development of Economy*, 16, 353-366.
- Černá, L., e Buková, B. (2016). Supplier evaluation methodology in the logistics company. *Procedia Engineering*, 134, 377-385. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816000266> (TRANSBALTICA 2015: PROCEEDINGS OF THE 9th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. May 7–8, 2015. Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.023>