

Universidades Lusíada

Castro, Bárbara Catarina Fernandes

Estudo do impacto da adoção de métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores na indústria

<http://hdl.handle.net/11067/8471>

Metadados

Data de Publicação

2025

Resumo

Esta dissertação teve como objetivo principal estudar o impacto da adoção de métodos analíticos na seleção de fornecedores, recorrendo a métodos de decisão multicritério e modelos de ciência dos dados. Inicialmente, procedeu-se à revisão da literatura, abordando os principais métodos de seleção e avaliação de fornecedores e técnicas de aprendizagem supervisionada, bem como ferramentas de apoio à decisão. Através do estudo de casos, verifica-se que diversos setores empresariais têm adotado sistem...

The main objective of this dissertation was to study the impact of adopting analytical methods in supplier selection, using multi-criteria decision methods and data science models. Initially, a literature review was conducted, addressing the main methods of supplier selection and evaluation and supervised learning techniques, as well as decision support tools. Through case studies, it was found that several business sectors have adopted decision support systems, recording positive impacts such a...

Palavras Chave

Optimização, Cadeias de Abastecimento, Indústria

Tipo

masterThesis

Revisão de Pares

no

Coleções

[ULF-FET] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2026-10-29T23:03:00Z com informação proveniente do Repositório



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**Estudo do impacto da adoção de métodos analíticos no
processo de seleção de fornecedores na indústria**

Bárbara Catarina Fernandes Castro

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

Vila Nova de Famalicão – julho 2025



UNIVERSIDADE LUSÍADA
VILA NOVA DE FAMALICÃO

**Estudo do impacto da adoção de métodos analíticos no
processo de seleção de fornecedores na indústria**

Bárbara Catarina Fernandes Castro

Orientador: Professora Doutora Bruna Ramos

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

AVISO LEGAL

O conteúdo desta tese reflete as perspectivas, o trabalho e as interpretações do autor no momento da sua entrega. Esta tese pode conter incorreções, tanto conceptuais como metodológicas, que podem ter sido identificadas em momento posterior ao da sua entrega. Por conseguinte, qualquer utilização dos seus conteúdos deve ser exercida com cautela. Ao entregar esta tese, o/a autor(a) declara que a mesma é resultante do seu próprio trabalho, contém contributos originais e são reconhecidas todas as fontes utilizadas, encontrando-se tais fontes devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção referências. O autor, declara, ainda, que não divulga na presente tese quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor ou de propriedade industrial.

Declaração sob compromisso de honra

(Artigo 6.º, n.º 2 das Normas e orientações para a submissão de trabalhos académicos na plataforma Urkund para deteção de similaridade e plágio)

Eu, abaixo assinado, tenho consciência de que a prática de plágio consiste numa forma de violação da integridade académica, constituindo um crime punível por lei com relevância nos regimes disciplinar, civil e criminal.

Nesse sentido, declaro por minha honra que a dissertação apresentada é original e que todas as fontes, incluindo as da minha autoria, estão devidamente identificadas e referenciadas.

Vila Nova de Famalicão, 29 de julho de 2025

O(A) Estudante

Barbara Catarina Fernandes Castro

Agradecimentos

A presente dissertação marca o fechar de um ciclo importante na minha vida acadêmica e pessoal, e não poderia deixá-lo encerrar sem expressar a minha profunda gratidão a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para esta conquista.

Em primeiro lugar, agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Bruna Ramos, pela sua constante disponibilidade, dedicação e orientação ao longo de todo este percurso. O seu apoio foi fundamental para a concretização deste trabalho.

Ao José, pelo seu amor incondicional, pela paciência e por ser o meu maior pilar em todos os momentos. O seu apoio foi essencial nos dias bons e, sobretudo, nos dias difíceis.

Aos meus pais, agradeço do fundo do coração por estarem sempre ao meu lado, por me apoiarem em todas as etapas e por tornarem possível todo o meu percurso académico com o seu esforço, amor e incentivo.

À minha irmã, pelo apoio constante e por estar sempre presente, mesmo nos pequenos gestos, que fizeram a diferença.

Aos meus avós, agradeço por toda a sabedoria transmitida e por me ensinarem, com o seu exemplo, o verdadeiro significado do amor e da família.

A toda a minha família e amigos, o meu sincero agradecimento pelo carinho, incentivo e apoio contínuo. Cada palavra, gesto ou presença foi importante para que este caminho fosse possível.

Dedico ainda esta conquista ao meu avô, que infelizmente, não pôde ver este capítulo a ser concluído. Esta vitória é também tua.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

Resumo

Esta dissertação teve como objetivo principal estudar o impacto da adoção de métodos analíticos na seleção de fornecedores, recorrendo a métodos de decisão multicritério e modelos de ciência dos dados. Inicialmente, procedeu-se à revisão da literatura, abordando os principais métodos de seleção e avaliação de fornecedores e técnicas de aprendizagem supervisionada, bem como ferramentas de apoio à decisão. Através do estudo de casos, verifica-se que diversos setores empresariais têm adotado sistemas de apoio à decisão, registando impactos positivos como a redução de custos na cadeia de abastecimento, a melhoria da eficiência operacional, a otimização de critérios de avaliação em contextos de incerteza e maior flexibilidade na adaptação das decisões às necessidades do mercado. Quanto à componente prática, a abordagem iniciou-se com a aplicação de métodos multicritério de apoio à decisão, começando pelo método *Analytic Hierarchy Process*, que foi posteriormente adaptado para o método *Elimination Et Choix Traduisant la Realite*, permitindo a construção de um grafo de dominância mais robusto com base em preferências multicritério. O *Analytic Hierarchy Process* é um método simples e de fácil aplicação, sendo adequado a contextos estruturados e objetivos bem definidos. No entanto, demonstra elevada sensibilidade às variações nos pesos atribuídos aos critérios. Por sua vez, o *Elimination Et Choix Traduisant la Realite* apresentou maior robustez, ao lidar melhor com incertezas e alternativas muito próximas, embora exija uma interpretação mais complexa das relações de dominância. Apesar das diferenças, ambos forneceram resultados semelhantes. De seguida, procedeu-se à análise descritiva de um conjunto de dados relativos à seleção de fornecedores, com o objetivo de explorar a distribuição dos critérios e compreender o seu comportamento. Por fim, recorreu-se à plataforma Orange para aplicar modelos de aprendizagem supervisionada, nomeadamente Árvore de Decisão e *Random Forest*, com o propósito de prever o desempenho dos fornecedores em função de diferentes critérios de avaliação. Estes modelos revelaram-se eficazes na previsão do desempenho dos fornecedores, destacando-se em dois critérios, onde apresentaram elevada capacidade de previsão. Os resultados demonstram que a combinação dos modelos com técnicas de ciência dos dados pode fornecer um suporte mais robusto e transparente ao processo de seleção de fornecedores, promovendo decisões mais fundamentadas e eficientes.

Palavras-chave: Seleção de fornecedores; Métodos analíticos; Otimização da cadeia de abastecimento; Transformação digital; *Procurement*;

Abstract

The main objective of this dissertation was to study the impact of adopting analytical methods in supplier selection, using multi-criteria decision methods and data science models. Initially, a literature review was conducted, addressing the main methods of supplier selection and evaluation and supervised learning techniques, as well as decision support tools. Through case studies, it was found that several business sectors have adopted decision support systems, recording positive impacts such as reduced costs in the supply chain, improved operational efficiency, optimisation of evaluation criteria in contexts of uncertainty, and greater flexibility in adapting decisions to market needs. As for the practical component, the approach began with the application of multi-criteria decision support methods, starting with the Analytic Hierarchy Process method, which was later adapted to the Elimination Et Choix Traduisant la Realite method, allowing the construction of a more robust dominance graph based on multi-criteria preferences. The Analytic Hierarchy Process is a simple and easy-to-apply method, suitable for structured contexts and well-defined objectives. However, it is highly sensitive to variations in the weights assigned to the criteria. In turn, Elimination Et Choix Traduisant la Realite proved to be more robust, as it dealt better with uncertainties and very close alternatives, although it requires a more complex interpretation of dominance relationships. Despite the differences, both provided similar results. Next, a descriptive analysis of a set of data related to supplier selection was performed, with the aim of exploring the distribution of criteria and understanding their behaviour. Finally, the Orange platform was used to apply supervised learning models, namely Decision Trees and Random Forest, with the purpose of predicting supplier performance based on different evaluation criteria. These models proved to be effective in predicting supplier performance, standing out in two criteria, where they showed high predictive power. The results demonstrate that combining models with data science techniques can provide more robust and transparent support for the supplier selection process, promoting more informed and efficient decisions.

Keywords: Supplier selection; Analytical methods; Supply chain optimization; Digital transformation; Procurement;

Índice

Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de figuras.....	viii
Índice de tabelas	x
Lista de símbolos, acrónimos e abreviaturas	xii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e motivação	1
1.2. Objetivos propostos.....	2
1.3. Metodologia aplicada	2
1.4. Organização da dissertação	5
2. Fundamentação teórica.....	6
2.1. <i>Procurement</i>	6
2.1.1. Caracterização das Compras	7
2.1.2. Estrutura e organização da função de compras.....	8
2.2. Fornecedores	14
2.3. Métodos analíticos.....	22
2.3.1. Impacto dos modelos de decisão multicritério na indústria.....	23
2.3.2. Método AHP e ELECTRE I.....	32
2.4. Modelos de aprendizagem supervisionada.....	35
2.4.1. Árvore de decisão e <i>Random Forest</i>	35
2.4.2. Desempenho dos modelos.....	36
2.4.3. Ferramenta para criação dos modelos.....	38
3. Sistemas de apoio à decisão na seleção de fornecedores: Estudo de caso na indústria 40	
3.1. Apresentação de um Caso de Estudo abordado com o Método AHP	40
3.2. Implementação do método ELECTRE I para seleção de fornecedores.....	45
3.3. Análise crítica do método AHP e ELECTRE I	59

4.	<i>Modelo de Classificação de Fornecedores</i>	62
4.1.	<i>Apresentação do dataset</i>	62
4.1.1.	Análise exploratória do <i>dataset</i>	65
4.1.2.	Tratamento e análise de dados	67
4.2.	<i>Aplicação dos modelos de Árvore de Decisão e Random Forest</i>	69
4.2.1.	Análise dos modelos de Árvores de Decisão e <i>Random Forest</i>	70
4.2.2.	Análise Crítica dos resultados	78
5.	<i>Conclusões e Trabalho Futuro</i>	79
	<i>Referências bibliográficas</i>	81

Índice de figuras

Figura 1 - Elementos do processo de procurement.....	7
Figura 2 - Estrutura das compras (adaptado de Benton (2020) e Guedes et al. (2020)	10
Figura 3 - Componentes da estratégia de compras (adaptado de Benton, (2020)).....	13
Figura 4 - Fases do modelo de Kraljic	15
Figura 5 - Matriz de Kraljic (adaptado de Guedes et al. (2020)).....	16
Figura 6 - Matriz de relacionamento entre fornecedor e comprador (adaptado de Guedes et al. (2020))	18
Figura 7 - Etapas do método AHP	33
Figura 8 - Etapas do método ELECTRE.....	34
Figura 9 - Matriz de confusão	37
Figura 10 - Descrição dos principais widgets utilizados no Orange.....	39
Figura 11 - Critérios de seleção do pigmento.....	42
Figura 12 - Hierarquia de decisão (adaptado de Ramos et al. (2024)).....	43
Figura 13 - Matriz de comparação dos critérios por pares (Retirado de Ramos et al. (2024))	45
Figura 14 - Relação de dominância entre os fornecedores.....	55
Figura 15 - Esquema de dominância entre os fornecedores, para a alteração de 35%	59
Figura 16 - Distribuição Percentual dos Fornecedores por Área de Negócio	67
Figura 17 - Processo de tratamento de dados	68
Figura 18 - Esquema de aplicação dos modelos de aprendizagem supervisionada no Orange	70
Figura 19 - Comparação do desempenho dos modelos de classificação aplicados aos critérios de avaliação dos fornecedores.....	71
Figura 20 - Árvore de decisão gerada para o critério “Complaint management”	75
Figura 21 - Árvores geradas para o modelo de Random Forest para o critério “Complaint management”	76
Figura 22 - Árvore de decisão gerada para o critério "After sale service".....	77

Figura 23 - Árvores geradas para o modelo de Random Forest para o critério “After sale service”	77
---	----

Índice de tabelas

Tabela 1 - Descrição da investigação.....	4
Tabela 2 - Critérios de qualificação, seleção e avaliação de fornecedores	21
Tabela 3 - Impacto da aplicação de métodos MCDM em casos de estudo de seleção de fornecedores	24
Tabela 4 - Principais métricas de avaliação de desempenho dos modelos de classificação	38
Tabela 5 - Escala de Saaty.....	43
Tabela 6 - Matriz de comparação entre critérios (adaptado de Ramos et al., (2024))	44
Tabela 7 - Adaptação da matriz de comparação para o método ELECTRE	46
Tabela 8 - Pesos dos critérios	47
Tabela 9 - Determinação dos dados correspondentes à qualidade	48
Tabela 10 - Determinação dos dados correspondentes à sustentabilidade.....	48
Tabela 11 - Matriz de decisão.....	49
Tabela 12 - Matriz normalizada.....	50
Tabela 13 - Matriz normalizada ponderada.....	50
Tabela 14 - Cálculos auxiliares para a matriz de concordância para os fornecedores A e B	51
Tabela 15 - Desempenho dos critérios A e B para a matriz de concordância	51
Tabela 16 – Matriz de concordância.....	52
Tabela 17: Cálculos auxiliares para a matriz de discordância.....	53
Tabela 18 - Matriz de discordância.....	53
Tabela 19 – Matriz de dominância agregada.....	54
Tabela 20 - Matriz de dominância agregada	54
Tabela 21 - Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade	56
Tabela 22 – Matriz de dominância agregada.....	56
Tabela 23 – Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade.....	57
Tabela 24 - Matriz de dominância agregada	57

Tabela 25 - Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade	57
Tabela 26 - Matriz de dominância agregada	58
Tabela 27 - Matriz de dominância agregada para 35%.....	58
Tabela 28 - Implicações práticas da aplicação do AHP e ELECTRE I no caso de estudo	60
Tabela 29 - Definição dos diferentes critérios de avaliação.....	62
Tabela 30 - Critérios do dataset	64
Tabela 31 - Distribuição dos fornecedores por área de negócio.....	66
Tabela 32 - Comparação das matrizes de confusão dos modelos Decision Tree e Random Forest aplicados a cada critério de avaliação.	72

Lista de símbolos, acrónimos e abreviaturas

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AUC	<i>Area Under the Curve</i>
CA	<i>Classification Accuracy</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Realite</i>
F1	<i>F1-Score</i>
GRA	<i>Grey relational analysis</i>
MCC	<i>Matthews Correlation Coefficient</i>
MCDM	<i>Multi-criteria Decision Model</i>
SAD	<i>Sistema de Apoio à Decisão</i>
SCOR	<i>Supply Chain Operations Reference</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
VIKOR	<i>Vlsekriterijumska Optimizacija I KOmpromisno Resenje</i>

1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os motivos que justificam a escolha do tema e o seu enquadramento.

1.1. Enquadramento e motivação

O *procurement* é uma função estratégica fundamental nas empresas, desempenhando um papel crucial para a obtenção de uma gestão eficiente da cadeia de abastecimento e para o aumento dos lucros, no caso das pequenas e médias empresas (Silva et al., 2023).

Tendo em conta a alta competitividade existente na indústria atualmente, é crucial a adoção de métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores, visando promover uma cadeia de abastecimento mais eficiente, assim como otimizar a tomada de decisões (Agarwal et al., 2011). Cada vez mais as empresas procuram produtos com uma boa relação preço-qualidade, pelo que deve existir uma boa consolidação de fatores qualitativos e quantitativos, visando não só um custo adequado, mas também a minimização dos riscos de interrupção do fornecimento dos produtos, flexibilidade, um bom tempo de resposta, boa localização geográfica e uma boa qualidade dos produtos e serviços (Haldar et al., 2012).

Mais recentemente, a pandemia da COVID-19 gerou diversas interrupções na cadeia de abastecimento, devido a bloqueios nas rotas, escassez de matérias-primas, encerramento temporário ou definitivo de empresas. Todos estes fatores levam as empresas a refletir cada vez mais acerca da gestão de riscos, de modo que lhes seja possível tomar melhores decisões perante estes acontecimentos (Smith & Fatorachian, 2023).

A motivação deste estudo foca-se na crescente necessidade de integrar abordagens baseadas em dados e métodos analíticos no processo de tomada de decisão. Apesar do reconhecimento da importância dessa integração, muitas organizações ainda enfrentam dificuldades para implementar metodologias de forma eficaz. Assim, esta investigação procura contribuir para o entendimento do papel dos métodos analíticos, evidenciando a sua implementação e benefícios na seleção de fornecedores na indústria.

1.2. Objetivos propostos

A investigação surge pela necessidade de melhorar o processo de seleção de fornecedores na indústria, através da adoção de métodos analíticos. A crescente complexidade das cadeias de abastecimento e a pressão por maior eficiência operacional tornam essencial a utilização de ferramentas que permitam uma análise precisa e uma tomada de decisões mais robusta. Assim, o presente estudo tem como propósito compreender de que forma métodos como o AHP (Analytic Hierarchy Process) e o ELECTRE I (*Elimination Et Choix Traduisant la Realite*) são utilizados na prática, com vista à melhoria da competitividade e à mitigação de riscos operacionais, por serem métodos muito referidos e utilizados na literatura.

Este estudo foi desenvolvido com o intuito de perceber qual o papel e a relevância dos métodos multicritério de apoio à decisão (MCMD) no contexto do *procurement* industrial, através da análise de casos de estudo publicados e de um conjunto de dados reais.

Neste sentido, as tarefas específicas a realizar são:

- Analisar a importância da função de *Procurement* nas empresas;
- Caracterizar as etapas do processo de seleção de fornecedores;
- Analisar o impacto dos métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores, identificando os seus principais benefícios;
- Identificar os principais métodos usados na seleção de fornecedores, considerando a elaboração de um levantamento associando métodos, aplicações informáticas e a caracterização do setor de atividade onde são aplicados;
- Estudar um conjunto de dados reais relativos à seleção de fornecedores, aplicando princípios de ciência de dados para identificar padrões, relacionar critérios e apoiar a tomada de decisão no contexto industrial.

1.3. Metodologia aplicada

No âmbito do estudo sobre o impacto da adoção de métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores na indústria, foram aplicadas metodologias de investigação que integram uma análise abrangente e fundamentada. Estas metodologias foram selecionadas com o objetivo de combinar o rigor teórico com aplicações práticas, assegurando uma compreensão aprofundada do tema em estudo.

A revisão da literatura será efetuada com o intuito de identificar, analisar e sintetizar as publicações existentes que abordam o tema em estudo, fornecendo uma base teórica sólida e para o desenvolvimento do trabalho.

A análise exploratória visa obter uma compreensão inicial dos dados disponíveis e identificar padrões que possam apoiar a avaliação da aplicabilidade dos métodos analíticos no contexto da seleção de fornecedores.

Estas metodologias revelam-se complementares e essenciais para a construção de um estudo sólido, que combine fundamentos teóricos bem estabelecidos com uma abordagem prática voltada para a aplicação, uma vez que da revisão da literatura resulta uma base teórica do tema, essencial para a escolha dos métodos analíticos, enquanto da análise exploratória resultam *insights* práticos provenientes de dados reais. A consolidação de todos estes aspetos permite avaliar o potencial dos métodos analíticos e da ciência dos dados na melhoria do processo de decisão.

Numa fase final, pretende-se ainda aplicar um estudo de caso, como método de validação dos métodos analíticos selecionados, analisando a sua eficácia num ambiente prático e realista.

A Tabela 1 descreve a investigação, quanto à abordagem, natureza, estratégia, horizonte temporal e escolhas (métodos). Quanto à abordagem, é dedutiva, uma vez que se desenvolve uma base teórica sólida para que posteriormente seja possível aplicar e testar os métodos em contexto real. Esta, classifica-se ainda como exploratória e descritiva quanto à natureza, e utiliza um estudo de caso como estratégia de investigação. Relativamente ao horizonte temporal, verifica-se que o estudo é longitudinal.

Tabela 1 - Descrição da investigação

	Identificação	Justificação/argumentação da escolha
Abordagem	Dedutiva	É efetuada a revisão da literatura com o intuito de identificar, analisar e sintetizar as publicações existentes que abordam o tema em estudo, fornecendo uma base teórica sólida e para o desenvolvimento do trabalho. Posteriormente faz-se uma análise exploratória, para obter uma compreensão inicial dos dados disponíveis e identificar padrões que possam apoiar a aplicação de métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores. Por fim, aplica-se um estudo de caso com dados reais (Purzer et al., 2015).
Natureza	Exploratória e descritiva	A investigação é de natureza exploratória, uma vez que se pretende compreender o impacto e as implicações da aplicação de métodos analíticos na seleção de fornecedores, envolvendo a pesquisa da literatura. Também possui uma componente descritiva, ao detalhar as práticas e os métodos utilizados na indústria (White et al., 2013).
Estratégia de investigação	Estudo de caso e teoria fundamentada	Numa fase final, pretende-se aplicar um estudo de caso, com o objetivo de analisar a aplicação prática dos métodos analíticos, assim como analisar a sua eficácia num ambiente prático. Além disso, é feita uma revisão da literatura com o intuito de fundamentar o estudo.
Horizonte temporal	Estudo longitudinal	O estudo adota um horizonte temporal longitudinal, uma vez que se analisa a evolução do fenómeno da seleção de fornecedores ao longo do tempo, com base em dados reais. Esta abordagem permite observar padrões e tendências, contribuindo para uma compreensão mais profunda e sustentada do processo decisório na prática empresarial.
Escolhas (métodos)	Métodos Mistos	Integra análise quantitativa (estatísticas sobre o desempenho de fornecedores) com análise qualitativa (casos de estudo).

1.4. Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos. Assim, o capítulo 1 apresenta o enquadramento do tema, abordando a aplicação de métodos analíticos no processo de seleção de fornecedores, com foco no contexto industrial. São introduzidos os objetivos do trabalho, a metodologia aplicada e a relevância do estudo no domínio do *procurement*.

O segundo capítulo é dedicado à revisão da literatura, onde se procede a uma análise crítica dos principais contributos teóricos relacionados com a avaliação e seleção de fornecedores, MDCM e técnicas de aprendizagem supervisionada, dando suporte teórico à componente prática.

O capítulo 3 centra-se na componente prática, confrontando os modelos aplicados com a literatura existente. Apresenta-se a aplicação dos MDCM e a análise descritiva dos dados.

O Capítulo 4 foca-se na descrição e análise dos modelos de classificação de fornecedores aplicados. Aborda o desempenho dos modelos de classificação com recurso à ferramenta *Orange*, discutindo os resultados e as implicações dos diferentes algoritmos para o processo de seleção.

Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão do estudo, onde se sintetizam os principais resultados, discutem-se as implicações práticas do trabalho desenvolvido e propõem-se sugestões para futuras investigações no domínio da seleção de fornecedores com base em abordagens analíticas.

2. Fundamentação teórica

Neste capítulo é apresentada a base teórica de apoio ao desenvolvimento da dissertação, que explora os conceitos e metodologias aplicáveis, destacando a importância dos métodos analíticos no apoio à tomada de decisão no processo de *procurement*. Esta fundamentação teórica justifica a relevância do estudo e serve de suporte para a análise de casos de estudo de aplicação de métodos multicritério na seleção de fornecedores, assegurando uma abordagem rigorosa e alinhada com as melhores práticas de gestão da cadeia de abastecimento.

2.1. *Procurement*

O *procurement* é geralmente confundido com o simples ato de comprar, no entanto este representa um processo bastante mais estratégico e complexo. Embora possa ser traduzido como “compras”, abrange muito mais do que a transação em si, pelo que consiste no processo de aquisição de bens ou serviços, reunindo uma série de etapas fundamentais para que o procedimento seja executado da melhor forma.

O *sourcing* e o *purchasing* são dois processos estratégico e operacional, respetivamente, que constituem o *procurement*. Assim, o *sourcing* é constituído por 4 fases, permitindo a identificação dos fornecedores aos quais a compra poderá ser efetuada. Por outro lado, o *purchasing*, envolve as 4 etapas posteriores ao *sourcing*, tratando-se da aquisição dos bens e de todos os processos relacionados com a mesma.

A Figura 1 representa o processo do *procurement*, assim como as etapas que o constituem. Assim, o *sourcing*, inicia-se pela definição dos requisitos de acordo com os critérios valorizados, seguido da seleção de fornecedores, que permite a satisfação dos requisitos pré-estabelecidos, reduzir riscos e criar valor para o comprador. A seleção de fornecedores tem ganho importância, sendo uma das etapas mais importantes perante as restantes, visto que se esta for executada de forma adequada, é possível reduzir ou até mesmo evitar muitos dos problemas no processo de compras (Guedes et al., 2020). A negociação e contratação consistem em definir e acordar as condições, de modo a ser possível elaborar o contrato. Posteriormente, no *purchasing* é efetuada a encomenda, sendo esta numa próxima fase monitorizada, até à sua receção. Numa última fase, é efetuada uma

avaliação da encomenda, de modo a simplificar todo este processo de aquisição em compras futuras.

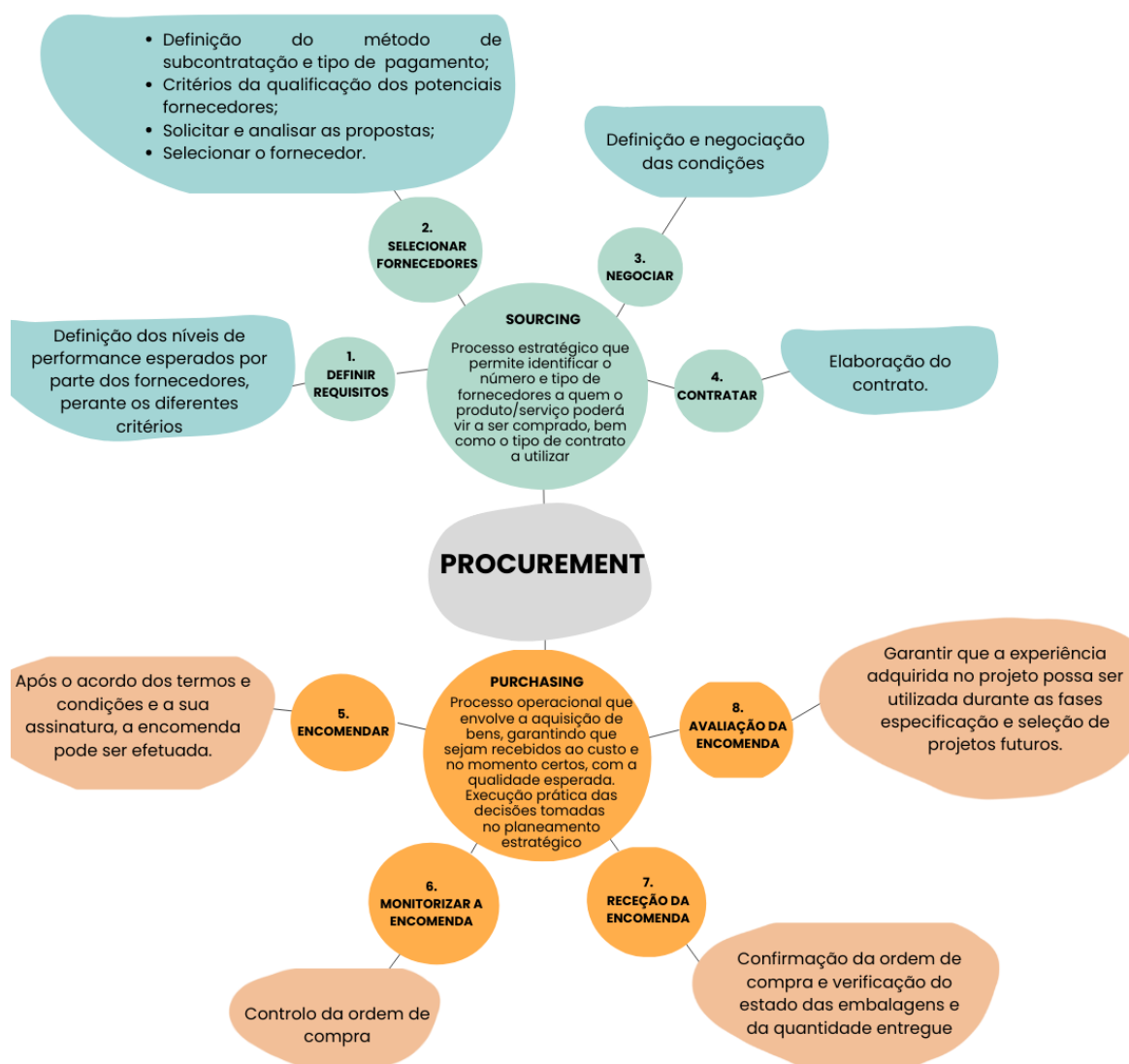


Figura 1 - Elementos do processo de procurement

Embora o *procurement* seja de extrema importância e auxilie as empresas no processo de tomada de decisão, representa um processo complexo, pelo que são raras as vezes em que todas as suas etapas são aplicadas na prática (Guedes et al., 2020).

2.1.1. Caracterização das Compras

No âmbito da gestão de cadeia de abastecimento, a caracterização das compras é fundamental para permitir a definição de procedimentos adequados a cada contexto de aquisição. Em função da periodicidade, do valor e da urgência associada aos produtos, distinguem-se três tipologias principais:

- **Compra de rotina:** Abrange aquisições periódicas de matérias-primas necessárias ao funcionamento diário da organização. Este processo assenta num planeamento prévio, de acordo com o consumo mensal, e recorre a um sistema de informação integrado para monitorizar os níveis de *stock* atual, o *stock* de segurança e o *lead time* médio de entrega. Desta forma, consegue-se otimizar a reposição e evitar excessos ou faltas.
- **Compra de elevado custo:** Envolve matérias-primas cujo valor unitário é expressivo e cujo armazenamento em grandes quantidades se revela dispendioso. Por essa razão, o seu controlo exige análises frequentes ao consumo e à rotatividade de *stock*, garantindo que apenas se encomenda o necessário para o próximo período de abastecimento. O sistema de informação integrado auxilia na definição da quantidade ótima a adquirir, reduzindo custos financeiros e o risco de obsolescência.
- **Compra por emergência:** Trata-se de uma situação em que surge, de forma súbita e imprevisível, uma necessidade crítica de reposição — seja por falha de *stock*, perda de um produto essencial ou rutura de fornecimento — que obriga a uma decisão de aquisição num prazo muito curto. Nestes casos, não existe possibilidade de planeamento prévio, pelo que os pedidos são realizados com urgência, muitas vezes com custos adicionais de transporte expresso e de aquisição superior ao habitual (Samson & Voyer, 2014).

2.1.2. Estrutura e organização da função de compras

A estrutura organizacional da função de compras desempenha um papel estratégico na eficiência e no alinhamento entre as diferentes áreas funcionais das empresas. Assim, de acordo com Guedes et al. (2020), a estrutura das compras deve alinhar-se com os objetivos estratégicos da empresa e estar preparada para responder a mudanças no ambiente externo.

Tendo por base as obras de Guedes et al. (2020) e Benton (2020), é possível entender a importância da estrutura e organização da função das compras, assim como as vantagens e desvantagens de cada uma das estruturas existentes. Ambos os autores reconhecem três estruturas no que diz respeito às compras, sendo a sua escolha determinada por diversos

fatores, como a localização das unidades de negócio, a diversidade de produtos adquiridos, a política de compras da empresa e a maturidade da cadeia de abastecimento.

Deste modo, quanto à estrutura das compras, esta pode ser:

- **Centralizada:** as atividades de compra são concentradas numa única unidade responsável, geralmente situada na sede da empresa ou numa estrutura corporativa central. Esta abordagem é comum quando diversas áreas da organização adquirem os mesmos produtos ou serviços, permitindo a consolidação dos requisitos e a padronização dos processos de aquisição.
- **Descentralizada:** cada unidade de negócio ou departamento tem autonomia para conduzir as suas próprias atividades de compra. Esta estrutura é mais utilizada em organizações com necessidades distintas entre áreas, ou quando existem diferenças geográficas e operacionais significativas.
- **Híbrida:** as compras estratégicas são realizadas centralmente, enquanto as compras operacionais são efetuadas localmente. Esta estratégia permite a combinação dos benefícios de ambas as abordagens, promovendo a padronização e mantendo a flexibilidade operacional.

A Figura 2 apresenta as vantagens e desvantagens da centralização e descentralização das compras, e a combinação das vantagens de ambas na estrutura híbrida.

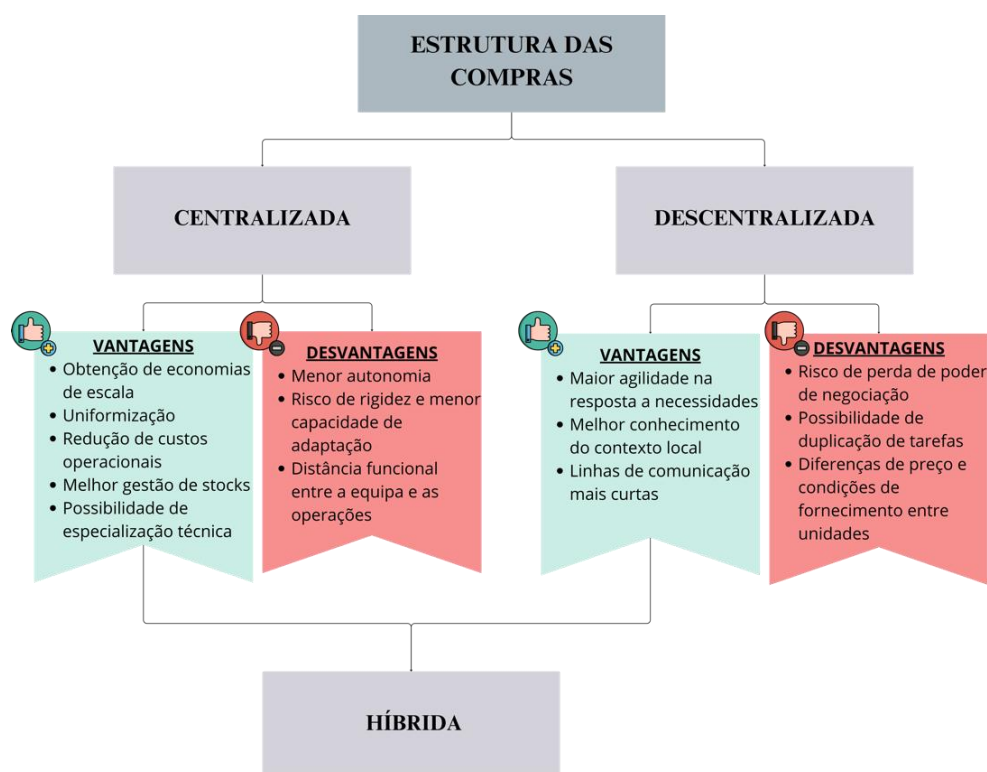


Figura 2 - Estrutura das compras (adaptado de Benton (2020) e Guedes et al. (2020))

Assim, no que diz respeito à estrutura centralizada, esta permite a obtenção de economias de escala, através da consolidação das necessidades das várias unidades ou departamentos da empresa numa única compra, permitindo a negociação de preços mais competitivos com os fornecedores, reduzindo custos unitários de aquisição. Além disso, é possível também uma uniformização, através da padronização dos produtos, processos e contratos, promovendo coerência nas especificações técnicas e facilitando a gestão da qualidade. A concentração das decisões de compra numa única unidade, permite reduzir a duplicação das tarefas, a mão de obra necessária e os processos administrativos, resultando numa redução dos custos operacionais. A visão integrada da procura global da empresa permite uma melhor gestão de *stock*, uma vez que é possível otimizar os níveis de inventário e evitar tanto ruturas de *stock*, como excessos. Por último, uma equipa central de compras pode desenvolver conhecimentos mais específicos e aprofundados sobre categorias específicas de produtos e mercados, pelo que melhora o desempenho e a tomada de decisão na função das compras.

Quanto às desvantagens, uma vez que as compras passam a ser feitas centralmente, no caso de empresas com diferentes localizações, ou seja, unidades distintas, as unidades locais perdem flexibilidade para adquirir produtos específicos às suas necessidades, o que

pode gerar atrasos nas decisões operacionais, assim como dificuldades na resposta a alterações súbitas no mercado local, ou a necessidades específicas e urgentes, resultando em risco de rigidez e menor capacidade de adaptação. Além disso, a falta de contacto direto entre os responsáveis pela compra e a equipa que vai utilizar os produtos pode resultar em decisões desajustadas à realidade do terreno, devido à distância funcional entre a equipa e as operações.

A estrutura descentralizada permite uma maior agilidade na resposta às necessidades, uma vez que a autonomia local permite tomar decisões mais rápidas, especialmente em emergências ou mudança repentina na procura. Além disso, o facto de os compradores locais conhecerem melhor os fornecedores da região, as práticas comerciais e as necessidades específicas da unidade da empresa, facilitam o processo de compra, devido ao melhor conhecimento geral do contexto local. Por último, ao eliminar níveis hierárquicos ou geográficos na função das compras, facilita-se a fluidez de informação entre a área de compras e os utilizadores finais.

No entanto, tal como a estrutura apresentada anteriormente, esta também apresenta desvantagens, como o risco de perda de poder de negociação, devido à fragmentação das compras entre unidades, pela redução do volume de aquisição global, enfraquecendo a capacidade de negociação perante os fornecedores. Além disso, uma vez que cada unidade realiza os seus próprios processos administrativos, existe risco de redundância e ineficiência, pela possibilidade de duplicação de tarefas. A ausência de coordenação central pode ainda resultar em contratos distintos e menos vantajosos, com variações de preço injustificadas entre locais da mesma empresa.

A centralização e a descentralização representam dois extremos no que diz respeito à estrutura das compras, pelo que grande parte das empresas optam por uma estrutura híbrida. Esta procura combinar o controlo central, para compras estratégicas e de elevado valor, com a flexibilidade local para compras operacionais ou de rotina, aproveitando os pontos fortes, quer da estrutura centralizada, quer da estrutura descentralizada (Guedes et al., 2020).

Embora as compras possuam uma série de etapas a seguir, muitas das vezes nem todas elas são cumpridas, pelo que uma grande parte representa compras mais ou menos repetidas (Guedes et al., 2020) . Assim, estas podem ser distinguidas entre três tipos de situação de compra:

- **Compra nova:** apresenta um elevado grau de incerteza e risco, sendo que, nesta situação, a empresa decide comprar um produto completamente novo.
- **Compra modificada:** quando a empresa compra um novo produto a um fornecedor conhecido ou um produto existente a um novo fornecedor.
- **Compra repetida:** grau de incerteza reduzido, uma vez que a empresa compra um produto conhecido a um fornecedor ao qual já costuma comprar. Esta é das três a situação mais comum.

Num ambiente empresarial cada vez mais dinâmico e competitivo, o *procurement* desempenha um papel estratégico global nas organizações. Segundo Benton (2020), as decisões de compra devem estar devidamente alinhadas com a estratégia competitiva da empresa, de modo a criar vantagens competitivas sustentáveis.

A abordagem tradicional de compras, foca-se essencialmente no custo, no entanto esta tem vindo a evoluir para uma perspetiva mais ampla de *procurement* estratégico, onde se valorizam também critérios como:

- Qualidade e consistência;
- Fiabilidade das entregas;
- Flexibilidade da cadeia de fornecimento;
- Inovação e sustentabilidade.

Tal como na Figura 3, este processo envolve ainda prioridades competitivas, como o nível de qualidade e o tempo de entrega, e os diferentes critérios de compra ajustados a essas prioridades. As ações de compra consideradas coerentes, traduzem-se no desempenho competitivo, medido pela comparação dos resultados da compra com os critérios definidos, tal como representado no esquema.

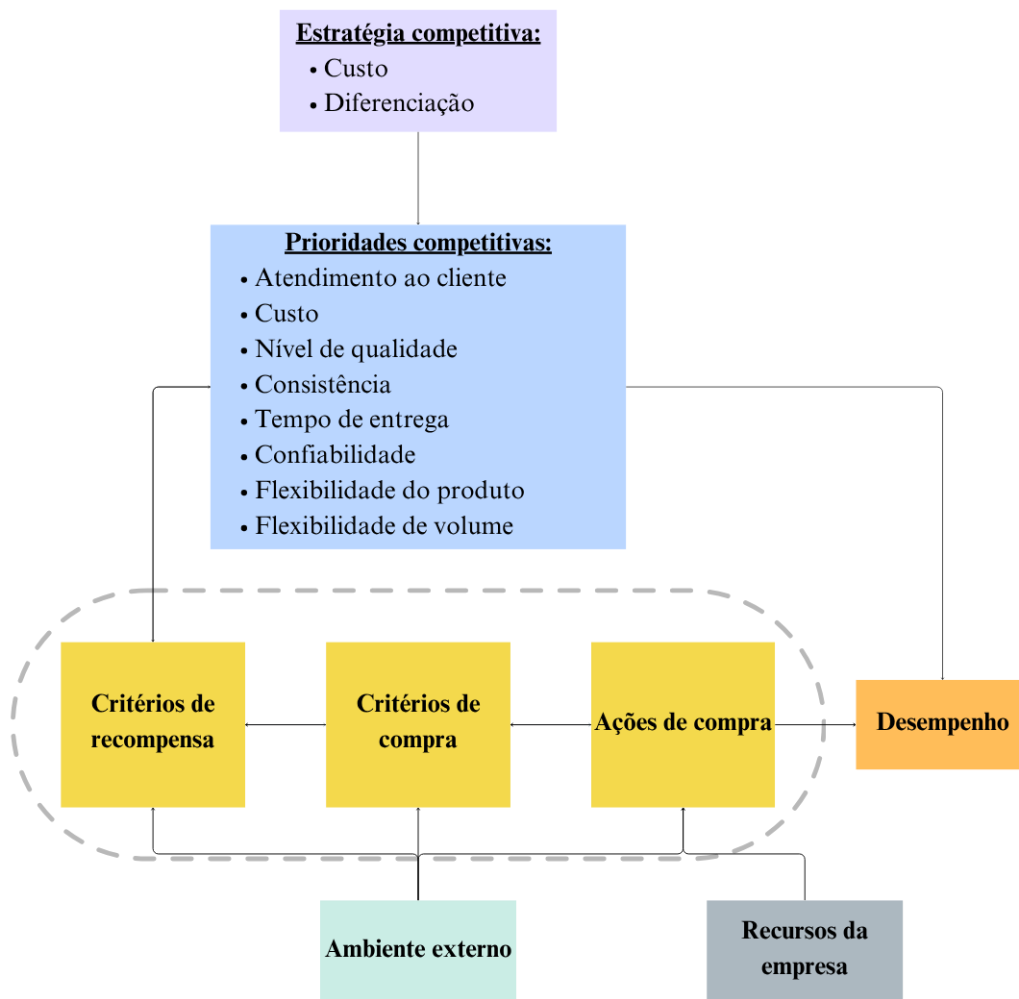


Figura 3 - Componentes da estratégia de compras (adaptado de Benton, (2020))

A formulação de uma estratégia de compras eficaz exige o alinhamento entre as prioridades competitivas da organização e a execução operacional no mercado de fornecimento. Conforme ilustrado, este processo é operacionalizado através da interligação entre os critérios de recompensa, os critérios de compra e as ações de compra.

Os critérios de recompensa representam as métricas e objetivos internos pelos quais a função de compras é avaliada e valorizada dentro da estrutura organizacional. Estes critérios derivam diretamente das prioridades competitivas e servem para orientar o comportamento dos decisores, garantindo que os esforços contribuam efetivamente para a estratégia competitiva global da empresa. Por outro lado, os critérios de compra constituem as especificações e requisitos exigidos aos fornecedores. Enquanto os critérios de recompensa focam-se no que a organização valoriza internamente, os critérios de compra definem o modo como essa valorização é transposta para o mercado.

Finalmente, as ações de compra materializam a estratégia através da interação direta com o ambiente externo e a mobilização dos recursos da empresa. Estas ações englobam as atividades operacionais do processo de aquisição, cujos resultados culminam no desempenho final da cadeia de abastecimento. Desta forma, o sucesso do desempenho depende da coerência entre aquilo que a empresa recompensa internamente, o que exige aos seus parceiros e as ações que executa para concretizar o fornecimento. Paralelamente, a gestão da cadeia de abastecimento (*Supply Chain Management*) assume um papel crucial, ao garantir a coordenação eficiente entre fornecedores e clientes, promovendo relações de parceria e integração (Maloni & Benton, 2000).

2.2. Fornecedores

Define-se como um fornecedor a entidade (pessoa ou organização) capaz de entregar bens ou serviços a uma outra organização, tendo por base uma relação contratual, com o intuito de satisfazer necessidades operacionais. Assim, cada vez mais o fornecimento depende da qualidade dos bens ou serviços, pelo que é crucial recorrer a fornecedores devidamente qualificados e capazes de satisfazer as necessidades da organização com eficiência (Viana & Alencar, 2012).

A estratégia competitiva e a de compras devem estar alinhadas, visto que à medida que crescem as exigências do mercado (qualidade, rapidez, custo), as empresas ajustam os seus critérios de seleção de fornecedores e as suas ações de aprovisionamento para manter o desempenho. A gestão da cadeia de abastecimento promove a integração e a parceria com fornecedores, mas nem sempre esta relação é simétrica, uma vez que numa extremidade existe o mercado aberto, com contratos de curto prazo e baixo compromisso, e na outra, a integração vertical, com alto grau de partilha de riscos, recompensas e ativos. Entre estes dois extremos surgem as parcerias, onde se equilibram confiança, flexibilidade e controlo partilhado, e os contratos formais de médio prazo, que mitigam riscos sem exigir integração total (Benton, 2020).

Neste contexto, a seleção de fornecedores com base em múltiplos critérios torna-se um elemento essencial da gestão estratégica da cadeia de abastecimento. Ferramentas multicritério como o AHP e o ELECTRE I, exploradas na presente dissertação, oferecem um suporte metodológico robusto para tomar decisões de compra alinhadas com as prioridades estratégicas da organização.

Após a definição das diferentes tipologias de compras, torna-se evidente que nem todos os produtos têm o mesmo peso para a organização em termos de risco de fornecimento e impacto financeiro. De modo a articular estas diferenças e orientar decisões mais estratégicas, recorre-se à Matriz de Kraljic.

O modelo de Kraljic encontra-se dividido em quatro fases, representadas na Figura 4.

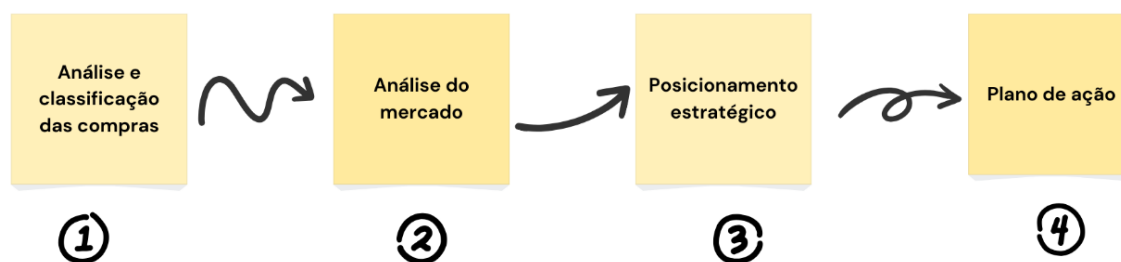


Figura 4 - Fases do modelo de Kraljic

Na primeira fase, a organização deve categorizar todos os produtos que adquire, considerando o impacto da compra e a complexidade da gestão do fornecimento. A análise do mercado consiste na avaliação da capacidade de negociação dos fornecedores, por parte da empresa. Posteriormente, a organização faz o posicionamento estratégico, onde revê os produtos anteriormente classificados como estratégicos, identifica oportunidades e vulnerabilidades, avalia os riscos e toma decisões sobre esses itens. Por fim, desenvolve planos de ação para enfrentar os desafios identificados e otimizar a gestão dos fornecimentos (Guedes et al., 2020).

De acordo com Caniëls & Gelderman, Kraljic recomenda que os gestores tomem medidas para resguardar as suas empresas contra possíveis interrupções no fornecimento que possam causar impactos negativos. Além disso, destacou a importância de se adaptarem constantemente às mudanças tecnológicas e ao crescimento económico.

A matriz de Kraljic (Figura 5) foi criada como uma ferramenta estratégica que classifica os itens de compra de uma organização com base no risco de fornecimento e no seu impacto financeiro na empresa. Esta foi desenvolvida por Kraljic para uso interno da empresa onde trabalhava, no entanto, este modelo foi posteriormente partilhado, tornando-se um sucesso (Pieters et al., 2005).

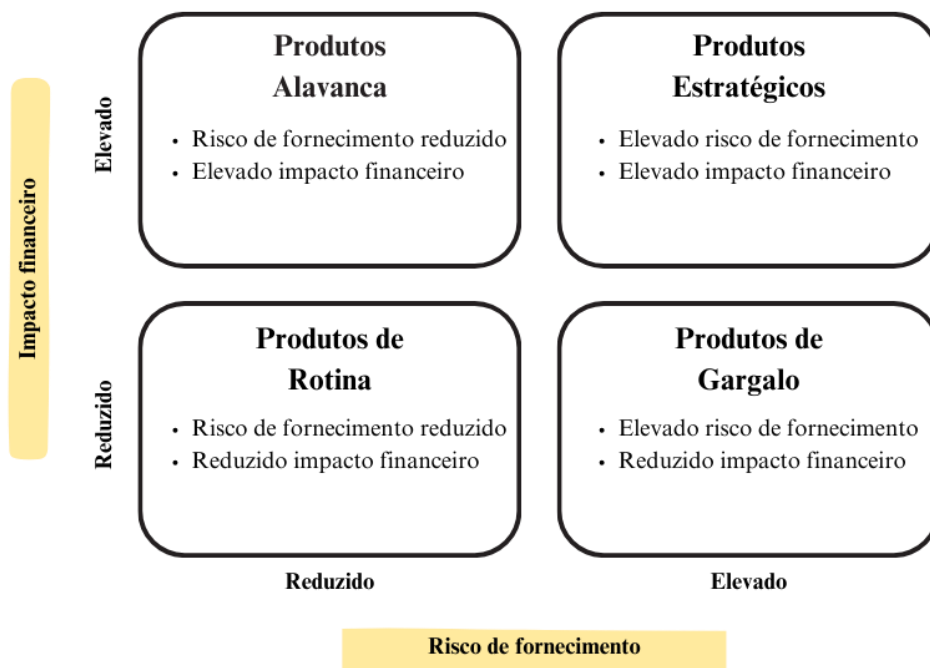


Figura 5 - Matriz de Kraljic (adaptado de Guedes et al. (2020))

- **Produtos Alavanca:** Consistem em bens ou serviços adquiridos regularmente e em grande volume. Em regra geral, estes são padronizados e vendidos em mercados altamente competitivos, onde há poucos fornecedores dominantes. O principal foco da sua aquisição é reduzir custos por meio da concorrência entre fornecedores (Guedes et al., 2020).
- **Produtos Estratégicos:** Produtos complexos, que envolvem em diversos casos pacotes de soluções. Revelam-se essenciais para a empresa e são fornecidos por poucos fornecedores, com quem se estabelece uma relação de longo prazo. Visam maximizar o valor do investimento, através de uma gestão eficiente da relação com os fornecedores, a fim de obter inovações e melhorias contínuas (Guedes et al., 2020).
- **Produtos de Rotina:** Bens ou serviços de baixo valor, no entanto, geram frequentemente elevados custos administrativos devido ao seu processo de compra. Estes têm como objetivo otimizar a eficiência do processo de compra, utilizando métodos automatizados e simplificados, como cartões de crédito corporativos e sistemas organizados de pagamento (Guedes et al., 2020).
- **Produtos de Gargalo:** Itens comprados em pequenas quantidades e com poucas fontes de fornecimento. São, de um modo geral, altamente específicos e exigem

conhecimento técnico para a sua compra. No que diz respeito aos produtos de gargalo, a principal preocupação das organizações diz respeito à redução da vulnerabilidade causada pela limitação de fornecedores (Guedes et al., 2020).

A matriz de Kraljic revela-se crucial para a definição de estratégias de aquisição de bens/serviços, otimizando a seleção e gestão de fornecedores. No caso dos produtos estratégicos por exemplo, estes exigem fornecedores qualificados e uma avaliação contínua, ao contrário dos produtos de rotina que podem ser adquiridos de uma forma mais simples. Além disso, esta matriz permite ajudar as empresas a priorizar os recursos, reduzir riscos e aumentar a eficiência da cadeia de abastecimento, um dos principais focos deste estudo. Deste modo, a aplicação da matriz de Kraljic permite uma análise estruturada dos fornecedores, garantindo melhores decisões, segurança e vantagem competitiva.

Embora o poder e a dependência sejam frequentemente abordados na literatura, essencialmente na gestão da cadeia de abastecimento, estando subjacentes a diversas estratégias relacionais, uma das limitações identificadas nos modelos tradicionais é a ausência de uma consideração explícita acerca dos dois fatores. Assim, o próprio Kraljic procurou colmatar essa lacuna, propondo uma matriz (Figura 6) que considera o balanço do poder na relação comprador-fornecedor, como elemento central para a definição das estratégias.

Deste modo, foram sugeridas três abordagens estratégicas principais:

- **Explorar:** quando o poder está do lado do comprador;
- **Balancear:** quando existe equilíbrio entre ambas as partes;
- **Diversificar:** no caso de domínio do fornecedor.

Além disso, a matriz apresenta quatro tipos de relacionamento:

- **Colaboração Limitada:** favorece o cliente perante o fornecedor, e caracteriza-se por uma elevada importância do fornecedor para o comprador, mas não o inverso.
- **Alinhamento estratégico:** caracteriza-se por uma elevada importância mútua, sendo o tipo de relação mais propício ao desenvolvimento de parcerias colaborativas.

- **Indiferença mútua:** ocorre quando ambas as partes se percebem como pouco importantes uma para a outra.
- **Não preferido:** favorece o fornecedor e ocorre quando o cliente depende fortemente do fornecedor, mas não é considerado estratégico por este.



Figura 6 - Matriz de relacionamento entre fornecedor e comprador (adaptado de Guedes et al. (2020))

Através da análise da matriz de relacionamento, verifica-se que a aplicabilidade das técnicas de colaboração é tanto maior, quanto mais próximo do canto superior direito da matriz for o posicionamento, ou seja, em situações de elevado valor estratégico e interdependência entre o comprador e o fornecedor.

Crítérios de qualificação, seleção e avaliação de fornecedores

À medida que as organizações dependem cada vez mais dos fornecedores, decisões inadequadas podem gerar consequências expressivas. Deste modo, é essencial adotar um processo estruturado para selecionar fornecedores, aplicando critérios que alinhem a escolha com a estratégia da empresa. A qualificação, seleção e avaliação de fornecedores são etapas essenciais no processo de *procurement* e gestão da cadeia de abastecimento. Cada uma dessas fases tem critérios específicos que ajudam na identificação e preservação dos elementos estratégicos que atendam às necessidades das organizações (Duarte & Sousa, 2020).

Assim sendo, a seleção de fornecedores inclui quatro etapas:

- i. Definição do problema e das prioridades estratégicas;
- ii. Definição dos critérios de seleção;
- iii. Qualificação dos fornecedores;
- iv. Seleção

A qualificação de fornecedores é uma etapa fundamental no processo de seleção, pois permite filtrar e reduzir o número de possíveis fornecedores, garantindo que apenas aqueles que cumprem os requisitos mínimos avancem para as fases seguintes. Este processo baseia-se na avaliação de critérios essenciais, como conformidade com normas e regulamentos, capacidade financeira, histórico de desempenho e experiência no setor. Desta forma, eliminam-se fornecedores que não possuem as condições adequadas para satisfazer as necessidades da organização (Duarte & Sousa, 2020).

De acordo com o estudo desenvolvido por Harbell et al. (2007), os ensaios pré-clínicos, incluindo os *in vitro*, dependem fortemente de fornecedores que disponibilizam produtos e serviços essenciais. No atual contexto regulamentar, é responsabilidade dos utilizadores garantir que os métodos aplicados pelos fornecedores cumprem padrões de qualidade adequados. Diferenças nos resultados dos mesmos ensaios de controlo ao longo do tempo podem indicar uma grande variabilidade entre lotes nos sistemas ou componentes críticos utilizados.

Assim, verifica-se a importância de uma eficaz qualificação de fornecedores, de modo a garantir a fiabilidade dos produtos/serviços oferecidos pelas organizações, reforçando a confiança tanto das instalações como dos seus clientes nos resultados obtidos.

O processo de seleção envolve uma análise detalhada dos fornecedores pré-qualificados, comparando-os com base em critérios estratégicos previamente definidos. Nesta fase, os fornecedores são avaliados em função do seu desempenho, cumprimento com os objetivos da empresa e capacidade de acrescentar valor ao negócio. A decisão final pode implicar a escolha de um único fornecedor ou de um conjunto de fornecedores, dependendo da complexidade e das exigências da cadeia de abastecimento. Este processo estruturado permite minimizar riscos, otimizar a gestão da cadeia de fornecimento e garantir que a escolha final esteja alinhada com a estratégia organizacional (Duarte & Sousa, 2020).

O processo de avaliação de fornecedores, analisa o desempenho do fornecedor, tendo em conta critérios como qualidade dos produtos ou serviços entregues, cumprimento dos

prazos, capacidade de resposta e conformidade com os requisitos estabelecidos. Além disso, a experiência adquirida nesse processo pode ser utilizada para melhorar a especificação e seleção de fornecedores em projetos futuros, garantindo uma gestão mais eficiente da cadeia de abastecimento. A avaliação também pode ajudar na estruturação dos processos de tomada de decisão, reduzindo os custos de aquisição e minimizando riscos associados à compra. Dessa forma, a avaliação contínua permite otimizar a relação com os fornecedores e fortalecer a estratégia de compras da empresa (Guedes et al., 2020).

A Tabela 2 apresenta critérios fundamentais para a qualificação, seleção e avaliação de fornecedores. Assim, como a fase de qualificação se foca em garantir que o fornecedor cumpra com os requisitos para o fornecimento, critérios como cumprimento de normas e legislação, capacidade financeira, experiência anterior, segurança no trabalho, reputação e sustentabilidade são considerados, de modo a assegurar que o fornecedor reúne as condições básicas para operar de acordo com as exigências da empresa. Já na fase de seleção, são analisados fatores que permitam a diferenciação entre os fornecedores previamente qualificados. Aqui, o preço, qualidade, quantidade de recursos, prazo de entrega e suporte são critérios determinantes, uma vez que implicam diretamente o desempenho operacional da empresa. Esta fase envolve a comparação de fornecedores, de modo a escolher a opção mais acertada, de acordo com os interesses da empresa. A avaliação ocorre após a escolha do fornecedor, sendo importante desenvolver uma análise contínua do desempenho dos fornecedores após a sua seleção e durante a execução do contrato, com o intuito de garantir que estes mantêm os padrões exigidos. Deste modo, é importante verificar se o custo dos bens de compra se mantém competitivo e alinhado ao esperado, assim como a qualidade. Além disso, é crucial avaliar a consistência e a fiabilidade do fornecedor ao longo do tempo, tal como a assistência técnica e o acompanhamento pós-venda prestado. Esta etapa permite identificar melhorias para futuras seleções e reduzir riscos na aquisição, fortalecendo a estratégia de compras e otimizando a relação com os fornecedores.

Tabela 2 - Critérios de qualificação, seleção e avaliação de fornecedores

Crítérios	Descrição	Qualificação	Seleção	Avaliação
Preço	Custo de aquisição do bem de compra	x	x	x
Requisitos legais e regulatórios	Cumprimento das normas e legislações	x		x
Capacidade financeira	Estabilidade económica e capacidade de investimento para suportar variações no volume de pedidos	x		
Experiência anterior	Histórico em fornecimentos similares	x		
Qualidade	Conformidade com padrões de qualidade	x	x	x
Segurança no trabalho	Práticas de segurança e certificações	x		x
Histórico de relacionamentos	Existência de relação anterior com a empresa	x		x
Quantidade de recursos	Capacidade produtiva e logística	x		x
Sustentabilidade	Práticas ambientais e sociais	x	x	
Prazo de entrega	Capacidade de cumprir prazos acordados	x		x
Reputação	Perceção do mercado	x		
História da organização	Tempo de atuação e credibilidade	x		x
Suporte	Assistência técnica e acompanhamento pós-venda		x	x

2.3. Métodos analíticos

Os métodos analíticos, para o processo de seleção de fornecedores na indústria, consistem em abordagens, quer qualitativas quer quantitativas, que visam apoiar a tomada de decisão no processo de seleção de fornecedores (Haldar et al., 2012). Os principais métodos incluem MCDM, modelos de otimização, simulação e análise de cenários.

- **Modelos de decisão multicritério:** permitem avaliar e selecionar os fornecedores com base em múltiplos critérios, como a sustentabilidade, a qualidade, o custo, entre outros. Assim, os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP), o *Fuzzy TOPSIS*, *Fuzzy AHP*, são alguns exemplos de modelos decisão multicritério (Osman et al., 2008).
- **Modelos de otimização:** visam identificar a melhor solução possível para um problema específico, maximizando ou minimizando um determinado objetivo (como custo, tempo ou qualidade), respeitando as restrições envolvidas (Zhao et al., 2024).
- **Modelos de simulação:** permitem modelar e observar o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo. Usando cenários baseados em variáveis aleatórias, a simulação ajuda a prever os resultados de decisões sob condições de incerteza (Hillier et al., 2010).
- **Análise de cenários:** envolve a criação de múltiplas previsões com base em diferentes hipóteses sobre o futuro, ajudando a entender como variáveis incertas afetam os resultados. É amplamente usada para planeamento estratégico e gestão de risco (Wang et al., 2020).
- **Modelos de ciência dos dados:** surgem da necessidade de responder às limitações dos métodos tradicionais face à crescente complexidade dos dados atuais, cada vez mais heterogêneos e não estruturados. O seu objetivo é enquadrar o processo de ciência dos dados no contexto em que se insere, considerando não só os aspetos técnicos, mas também os objetivos de negócio, os impactos e os requisitos práticos e teóricos, permitindo uma atuação mais eficaz e alinhada com os desafios contemporâneos (Schulz et al., 2020).

A adoção de métodos analíticos de seleção de fornecedores permite avaliar os riscos, obter uma base de fornecedores diversificada, reduzir custos, tempos de entrega, entre outros fatores.

2.3.1. Impacto dos modelos de decisão multicritério na indústria

A Tabela 3 apresenta uma compilação de estudos de caso e artigos científicos que aplicam métodos MCDM à seleção de fornecedores em diversos setores industriais. Esta síntese inclui o título do artigo, o tipo de indústria abordado, o método multicritério utilizado e o impacto gerado nas organizações analisadas. O objetivo da tabela é ilustrar a diversidade de abordagens existentes e evidenciar os benefícios práticos associados à sua implementação.

Tabela 3 - Impacto da aplicação de métodos MCDM em casos de estudo de seleção de fornecedores

Artigo	Referência	Tipo de Indústria	Método	Impacto
<i>Influence of Demand on Supplier Selection Using the Analytic Hierarchy Process: A Case Study Validation in the Textile Industry.</i>	(Ramos et al., 2024)	Têxtil	AHP	Permitiu uma decisão fundamentada, adaptada à sazonalidade e fácil de implementar com recursos acessíveis
<i>Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Model for Supplier Evaluation and Selection for Oil Production Projects in Vietnam</i>	(C.-N. Wang et al., 2020)	Petrolífera	<i>Supply Chain Operation Reference</i> (SCOR), AHP e o método <i>Data Envelopment Analysis</i> (DEA)	Estruturou uma decisão objetiva e estratégica, integrando conhecimento especializado e preparando o modelo para melhorias futuras
<i>A Rough Multi-Criteria Decision-Making Approach for Sustainable Supplier Selection under Vague Environment</i>	(Lu et al., 2018)	Climatização	ELECTRE	Facilitou uma decisão sustentável, precisa e adaptável, reduzindo a incerteza e a complexidade para os gestores.
<i>Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry</i>	(Banaeian et al., 2018)	Agroalimentar	Fuzzy (TOPSIS, VIKOR e GRA)	Reforçou a seleção de fornecedores ecológicos com classificações consistentes e abordagem eficiente sob incerteza.

Artigo	Referência	Tipo de Indústria	Método	Impacto
<i>A fuzzy AHP approach for supplier selection problem: a case study in a gearmotor company</i>	(Ayhan, 2013)	Metalomecânica	Fuzzy AHP	Lidou eficazmente com critérios subjetivos e estruturou uma decisão justificada e adaptável com potencial para modelos híbridos.
<i>An effective AHP-based metaheuristic approach to solve supplier selection problem</i>	(Ghosh et al., 2012)	Construção	Algoritmo Metaheurístico baseado em <i>Simulated Annealing</i> (SA) e AHP	Melhorou o ranking de fornecedores com abordagem híbrida robusta e aplicável a contextos reais.
<i>Supplier Selection Using The Analytical Hierarchy Process Method</i>	(Saptari et al., 2021)	Elétrica	AHP	Estruturou uma decisão transparente e flexível, alinhada com prioridades técnicas e orientada para melhoria contínua.
<i>AHP approach for supplier evaluation and selection in a steel manufacturing company</i>	(Tahriri et al., 2008)	Metalúrgica	AHP	Aplicado com sucesso na indústria metalúrgica, o modelo estruturou decisões fiáveis e replicáveis com foco na melhoria contínua.
<i>Supplier Selection Process using ELECTRE Method</i>	(Birgun & Cihan, 2010)	Tecnológica	ELECTRE	Modelo flexível e replicável que permite decisões seguras mesmo em contextos incertos.
<i>Evaluating and Selecting Suppliers Using the AHP Method: Case Study at a Software Company</i>	(Thi Anh Van et al., 2024)	Tecnológica	AHP	Promoveu decisões mais objetivas e integradas, equilibrando critérios e fomentando a colaboração interna.

Artigo	Referência	Tipo de Indústria	Método	Impacto
<i>Strategic evaluation in optimizing the internal supply chain using topsis: evidence in a coil-winding machine manufacturer</i>	(Shenoy et al., 2020)	Mecânica	TOPSIS	Melhorou a coordenação interna e a fiabilidade da cadeia, orientando ações com impacto estratégico.
<i>Application of the electre tri method for supplier classification in supply chains</i>	(Gonçalves et al., 2021)	Energia Eólica	ELECTRE TRI	Classificação dinâmica que reforça a colaboração e o controlo na cadeia de abastecimento.

A Tabela 3 permite sintetizar o impacto prático da aplicação de diferentes métodos de decisão multicritério em casos de estudo reais, abrangendo diversos setores industriais como têxtil, petrolífera, climatização, agroalimentar, metalomecânica, construção, elétrica, metalúrgica, tecnológica, mecânica e energia. A análise revela que, apesar da diversidade de contextos, os modelos multicritério têm gerado benefícios consistentes ao nível da objetividade, rastreabilidade e adaptação estratégica da seleção de fornecedores.

No setor têxtil, no estudo desenvolvido por Ramos et al. (2024), realizado numa PME portuguesa, com o objetivo de selecionar o fornecedor mais adequado de pigmentos, foi aplicado o método AHP. Através deste, foram comparados os quatro fornecedores, considerando os critérios de custo, qualidade, histórico, tempo de entrega e sustentabilidade em dois cenários de procura distintos. Ainda assim, o AHP demonstrou ser uma ferramenta eficaz para adaptar a decisão ao contexto de mercado, permitindo ajustar os pesos dos critérios segundo a variação da procura. Além disso, promoveu uma decisão mais objetiva e fundamentada, reduzindo a subjetividade e fortalecendo a transparência no processo de seleção de fornecedores. O modelo evidenciou ainda o potencial para ser reutilizado com outros critérios ou produtos, servindo como base para uma política de compras mais fundamentada e flexível.

Quanto ao estudo da indústria petrolífera, foi analisada a seleção de fornecedores para uma das principais empresas de petróleo e gás do Vietname, com o objetivo de melhorar a sua cadeia de abastecimento face ao aumento da procura. O modelo desenvolvido integrou os métodos SCOR, AHP e DEA, sendo aplicados a 10 fornecedores, avaliados com base em critérios como confiabilidade, habilidade, agilidade, gestão de ativos e custos. O impacto da aplicação combinada com modelos AHP e DEA revelou-se considerável: o AHP permitiu hierarquizar os critérios de decisão, enquanto o DEA classificou a eficiência dos fornecedores, considerando múltiplos *inputs* e *outputs*. Como resultado, três fornecedores (DMU_1, DMU_4 e DMU_10) foram identificados como os mais eficientes, apresentando forte alinhamento com os objetivos estratégicos da empresa. Este modelo não só auxiliou na tomada de decisão mais informada e rigorosa, como também ofereceu um enquadramento replicável noutros setores industriais, permitindo decisões baseadas em múltiplos critérios qualitativos e quantitativos, com menor influência da subjetividade dos decisores C.-N. Wang et al. (2020).

Relativamente ao estudo desenvolvido por Lu et al. (2018), este teve como objetivo selecionar fornecedores sustentáveis para uma empresa da indústria de climatização, com foco no fornecimento de componentes para sistemas de ar condicionado solar. A decisão envolveu múltiplos critérios, agrupados em três grandes dimensões da sustentabilidade: económica, ambiental e social. O processo contou com a colaboração de especialistas de vários departamentos (compras, qualidade, produção e planeamento), considerando oito fornecedores. O impacto do modelo foi expressivo, permitindo uma avaliação precisa mesmo em contextos de incerteza e com dados imprecisos. A integração da teoria dos conjuntos brutos com o método ELECTRE permitiu refletir a incerteza nas preferências dos decisores através de intervalos flexíveis, adaptando-se a alterações nos critérios sem comprometer a fiabilidade do *ranking* final. O modelo destacou-se ainda por fornecer uma ordenação completa de todos os fornecedores, ao contrário do ELECTRE convencional, oferecendo uma visão abrangente para apoiar decisões estratégicas e sustentáveis na cadeia de abastecimento.

No setor agroalimentar, Banaeian et al. (2018) desenvolveu um estudo numa das principais empresas iranianas de óleos e detergentes vegetais comestíveis, certificada pela ISO 14000 (conjunto de normas internacionais para sistemas de gestão ambiental). O objetivo foi avaliar fornecedores de óleo cru para a produção de azeite, óleo de palma, óleo de girassol e óleo de soja, produtos com elevada representatividade nos custos totais de aquisição da empresa. Aplicando três métodos MCDM baseados em lógica difusa (TOPSIS, VIKOR e GRA), o estudo comparou a eficácia dos modelos na seleção de fornecedores sustentáveis, tendo em conta diferentes critérios. Os resultados revelaram elevada consistência nas classificações obtidas entre os métodos e destacaram o GRA como o mais eficiente, especialmente em cenários com dados incompletos ou ambíguos. Este caso evidenciou o potencial dos métodos difusos na tomada de decisão sustentável, oferecendo uma plataforma robusta e flexível para enfrentar os desafios ambientais crescentes neste setor.

No setor metalomecânico, Ayhan (2013) aplicou o método Fuzzy AHP numa empresa turca especializada na produção de motores de engrenagem e inversores de frequência. O estudo teve como objetivo selecionar o melhor fornecedor entre três alternativas, com base em cinco critérios principais: qualidade, origem da matéria-prima, custo, tempo de entrega e serviços pós-venda. Este modelo mostrou-se adequado para lidar com variáveis linguísticas vagas e subjetivas, ao aplicar a teoria dos conjuntos difusos. O impacto do

método revelou-se expressivo ao permitir uma avaliação eficaz dos critérios qualitativos e quantitativos, identificando com clareza o fornecedor mais adequado. O estudo demonstrou que o terceiro fornecedor superava os restantes, reforçando o valor do Fuzzy AHP na tomada de decisão multicritério em contextos industriais complexos e incertos.

O caso de Ghosh et al. (2012) refere-se à seleção de fornecedores numa empresa indiana de construção civil, envolvida em grandes projetos de desenvolvimento urbano. Os autores recolheram dados industriais e aplicaram a técnica AHP para obter os pesos dos critérios de avaliação. Posteriormente, foi utilizado um algoritmo de otimização inspirado no processo de recozimento (*annealing*) da metalurgia (SA), de natureza meta-heurística, para otimizar a seleção do conjunto ideal de fornecedores, considerando múltiplos critérios de decisão. Esta combinação revelou-se eficaz para tratar a complexidade do problema, permitindo gerar soluções otimizadas mesmo perante critérios ambíguos ou subjetivos. A abordagem possibilitou melhorar a alocação de recursos, reduzir falhas na rede de abastecimento e antecipar melhorias no desempenho dos fornecedores. O estudo demonstrou ainda que a integração de técnicas de otimização modernas, como o SA, pode superar métodos tradicionais ao produzir soluções mais ajustadas aos objetivos estratégicos da empresa.

O estudo desenvolvido por Saptari et al. (2021), foi conduzido numa empresa de fabrico de máquinas de propósito especial. Esta enfrentava problemas recorrentes com atrasos no fornecimento de componentes essenciais, o que comprometia o cumprimento dos prazos de produção e entrega. Para apoiar a tomada de decisão na escolha do fornecedor mais adequado, foi aplicado o método AHP, permitindo avaliar três alternativas com base em critérios como qualidade, preço, entrega, flexibilidade e serviço. A análise evidenciou diferenças relevantes no desempenho dos fornecedores, permitindo identificar a alternativa mais vantajosa. Para além disso, destacou-se a importância do trabalho colaborativo e do consenso entre as partes envolvidas na definição dos critérios e na tomada de decisão, reforçando a robustez e legitimidade do processo.

Quanto à indústria metalúrgica, o estudo de Tahriri et al. (2008) incide sobre uma empresa que enfrentava desafios consideráveis na seleção de fornecedores, devido à elevada variabilidade de materiais e fornecedores envolvidos nas suas operações. O objetivo foi aplicar o método AHP para apoiar a decisão na escolha de fornecedores de matérias-primas, essencialmente aço e componentes metálicos, através do qual a empresa

comparou de forma rigorosa os fornecedores, com base em critérios e subcritérios devidamente ponderados. Os resultados mostraram que o modelo é eficaz a apoiar a tomada de decisão, sendo aplicável a diferentes problemas de seleção de fornecedores. Destaca-se ainda a importância do consenso obtido entre os decisores envolvidos, o que fortaleceu a validade e a aceitação da escolha final. Este caso evidencia o modo como uma abordagem estruturada e colaborativa pode melhorar significativamente a eficiência e fiabilidade nos processos de aquisição da indústria metalúrgica.

Apesar de ambos os casos se inserirem no contexto da indústria tecnológica, cada estudo abordou uma situação distinta e recorreu a diferentes métodos de apoio à decisão multicritério, refletindo a diversidade de desafios enfrentados neste setor.

No primeiro caso, referente a uma empresa tecnológica envolvida na produção de *hardware*, a decisão centrou-se na escolha de um fornecedor para um componente específico. Aqui, optou-se pelo método ELECTRE, permitindo selecionar de forma estruturada o fornecedor ideal. Com base em critérios como qualidade, custo e flexibilidade, foram avaliadas quatro alternativas. A análise indicou o Fornecedor A como a melhor opção, com base nas relações de dominância entre os fornecedores. Além disso, o método possibilitou identificar uma segunda melhor alternativa, reforçando a qualidade e a confiabilidade do processo decisório adotado pela empresa (Birgun & Cihan, 2010).

Já no segundo caso, desenvolvido por Thi Anh Van et al. (2024), uma empresa de Tecnologias de Informação pretendia selecionar o fornecedor mais adequado para a aquisição de computadores portáteis. A aplicação do método AHP teve um impacto relevante na empresa ao permitir uma seleção mais estruturada e racional. Com base em critérios como qualidade do produto, credibilidade do fornecedor e preço, a empresa conseguiu alinhar a decisão de compra com os seus objetivos operacionais. O método também expôs fragilidades de processos anteriores, como a dificuldade em distinguir entre fornecedores com classificações próximas. A sistematização trazida pelo AHP permitiu uma avaliação mais clara e fundamentada, reduzindo a complexidade e o risco associado à escolha de fornecedores.

Ambos os estudos demonstram a relevância dos métodos MCDM na seleção de fornecedores na indústria tecnológica, um setor caracterizado por exigências técnicas elevadas e decisões críticas de compra. A escolha do método — AHP ou ELECTRE — foi determinada pela natureza específica do problema: enquanto o AHP se destacou na

avaliação estruturada com forte componente qualitativa e necessidade de consenso entre decisores, o ELECTRE mostrou-se mais eficaz na análise comparativa direta entre alternativas próximas.

Estas abordagens não só apoiaram decisões mais racionais e fundamentadas, como também destacaram a importância do trabalho colaborativo e consensual entre os intervenientes na definição dos critérios e avaliação das opções.

A aplicação do método TOPSIS no caso de estudo de Shenoy et al. (2020), permitiu à empresa identificar os fatores que mais influenciam o desempenho da sua cadeia de abastecimento, como o relacionamento com os fornecedores, a entrega pontual e o planeamento de *stock*. A análise contribuiu para otimizar processos internos, reduzir custos e melhorar o uso dos recursos disponíveis. Além disso, o estudo proporcionou uma base confiável para a tomada de decisões, reforçando a importância de alinhar estratégias de produção com indicadores de desempenho específicos. O método revelou-se eficaz ao traduzir as perceções dos decisores em critérios objetivos de melhoria.

Por último, no caso de estudo desenvolvido por Gonçalves et al. (2021) associado a empresas brasileiras de energia eólica, a aplicação do método ELECTRE TRI permitiu categorizar os fornecedores com base nos níveis de colaboração, facilitando a identificação daqueles que melhor se alinham com os requisitos da cadeia de abastecimento. O modelo proposto contribuiu para decisões mais informadas por parte dos gestores, promovendo relacionamentos colaborativos. Além disso, possibilita revisões periódicas da avaliação dos fornecedores, ajustando-os a categorias superiores consoante o seu desempenho. O uso deste método oferece uma abordagem prática para fortalecer a gestão da cadeia de abastecimento em diferentes setores.

A análise dos diferentes casos de estudo permitiu compreender de forma clara o impacto real dos métodos de decisão multicritério na indústria. Mais do que ilustrar a sua aplicação, este estudo evidenciou o modo como os MCDM contribuem para decisões mais eficazes, alinhadas com os objetivos estratégicos e operacionais das empresas.

A comparação entre contextos distintos mostrou que o impacto dos métodos varia consoante o setor e os critérios considerados, mas revelou-se sempre relevante na melhoria do desempenho organizacional.

Esta revisão fundamenta a escolha metodológica do presente trabalho, ao demonstrar empiricamente o valor da utilização de técnicas MCDM em ambientes industriais reais.

2.3.2. Método AHP e ELECTRE I

Após a análise dos casos de estudo em que foram aplicados métodos multicritério na seleção de fornecedores, constatou-se que o AHP e o ELECTRE se destacam pela frequência de uso e pelos resultados consistentes em diversos setores industriais. O AHP é valorizado pela capacidade de decompor o problema em níveis de critérios e subcritérios, convertendo julgamentos qualitativos em pesos quantitativos de forma transparente. Já o ELECTRE apresenta-se como um instrumento robusto para comparar alternativas quando existem critérios divergentes ou incerteza nos dados.

Em virtude dessa prevalência e dos benefícios empiricamente documentados, optou-se por estudar ambas as técnicas em mais detalhe. No entanto, na componente prática desta dissertação, foi realizada a adaptação de um procedimento originalmente concebido com AHP (extraído de um caso de estudo relevante) para o método ELECTRE I. Desta forma, além de apresentar a teoria de cada abordagem, demonstra-se como a lógica de ponderação e eliminação do ELECTRE pode replicar e até aprimorar os resultados obtidos com AHP, validando a versatilidade deste modelo em contextos reais de *procurement*.

Analytic Hierarchy Process (AHP)

O método AHP permite suportar toda a complexidade do processo de seleção de fornecedores de forma prática, objetiva e estruturada. Além disso, proporciona tomadas de decisão fundamentadas e alinhadas com os objetivos estratégicos das organizações, decompondo o problema numa hierarquia de objetivos, critérios e alternativas, o que facilita a análise pormenorizada de cada um dos elementos (Agarwal et al., 2011).

O método AHP é composto por 7 etapas (Figura 7), iniciando-se com a estruturação do problema numa hierarquia, isto é, na divisão do problema em níveis hierárquicos, em não menos do que um objetivo geral, critérios relativos ao problema de decisão e alternativas dispostas e apropriadas. Esta etapa permite a desagregação de um problema complexo em componentes menores e a sua organização de forma lógica, facilitando a análise dos elementos e as suas interligações. A segunda etapa consiste em comparar os elementos de cada nível da hierarquia dois a dois, com base na sua importância relativa. A etapa seguinte permite o cálculo da prioridade relativa de cada elemento, isto é o peso relativo que reflete

a sua importância, com base nas comparações efetuadas na etapa que a antecede. Esta passa por normalizar a matriz, dividindo cada valor da mesma pela soma de cada uma das colunas correspondentes, e pelo cálculo do peso relativo através da média dos valores normalizados, para cada uma das linhas. Assim, permite a conversão de julgamentos subjetivos em pesos numéricos que apoiam a decisão de forma objetiva. A etapa quatro permite a verificação da consistência das comparações efetuadas na etapa 3, através da taxa de consistência (RC), avaliando a coerência dos julgamentos. A quarta etapa garante assim que os pesos além de coerentes são racionais, o que permitirá um aumento de confiança na análise. Através da agregação dos pesos numa matriz de classificação (quinta etapa), todas as relações possíveis entre os critérios e as alternativas são apresentadas, preparando os dados para o cálculo da prioridade composta. Deste modo, cada uma das alternativas é avaliada no que diz respeito aos seus critérios, e os seus pesos relativos são calculados, sendo posteriormente organizados nessa mesma matriz. O cálculo da prioridade composta é feito na sexta etapa, onde os pesos globais das alternativas são calculados através da combinação dos pesos dos critérios e das alternativas, gerando a prioridade composta. Após todas as informações se encontrarem agregadas, obtêm-se uma classificação clara e global. A sétima e última etapa do método AHP resulta na tomada de decisão, baseada nos pesos globais calculados, pelo que a alternativa com o peso global mais elevado é selecionada como sendo a melhor opção. Desta forma, sendo possível fornecer uma base objetiva e estruturada para a tomada de decisão, o objetivo final do método AHP é alcançado.

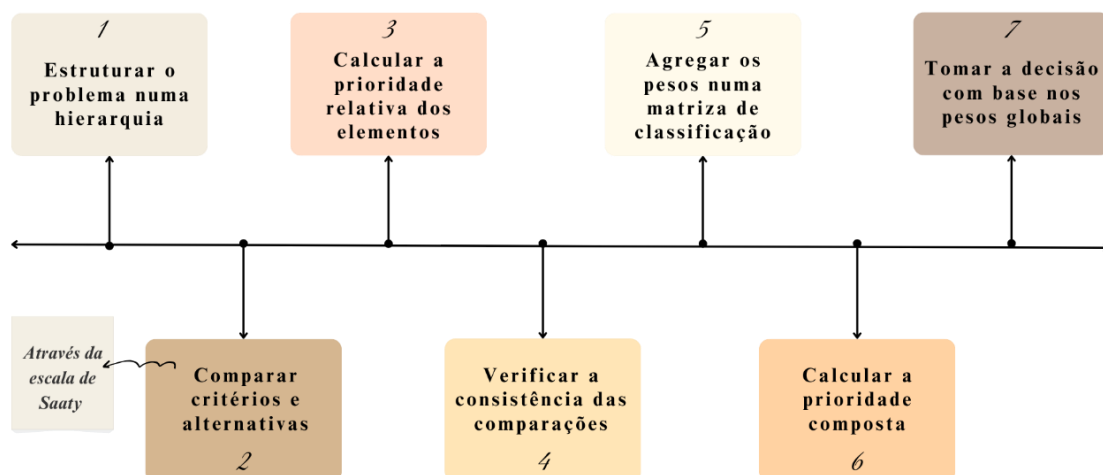


Figura 7 - Etapas do método AHP

Este método releva-se assim uma ferramenta robusta, que combina subjetividade, através dos julgamentos dos decisores, com objetividade (cálculos numéricos), garantindo uma análise estruturada e confiável para o processo de tomada de decisões complexas.

Elimination Et Choix Traduisant la Realite (ELECTRE)

O ELECTRE é um método multicritério de apoio à decisão, desenvolvido por Roy (1968). Este é usado para comparar e classificar alternativas com base em múltiplos critérios. Este segue um procedimento, que envolve 8 etapas (Figura 8), de modo a eliminar as opções ou alternativas que são menos boas, mantendo apenas a melhor solução para a empresa (Nuraini, 2023).

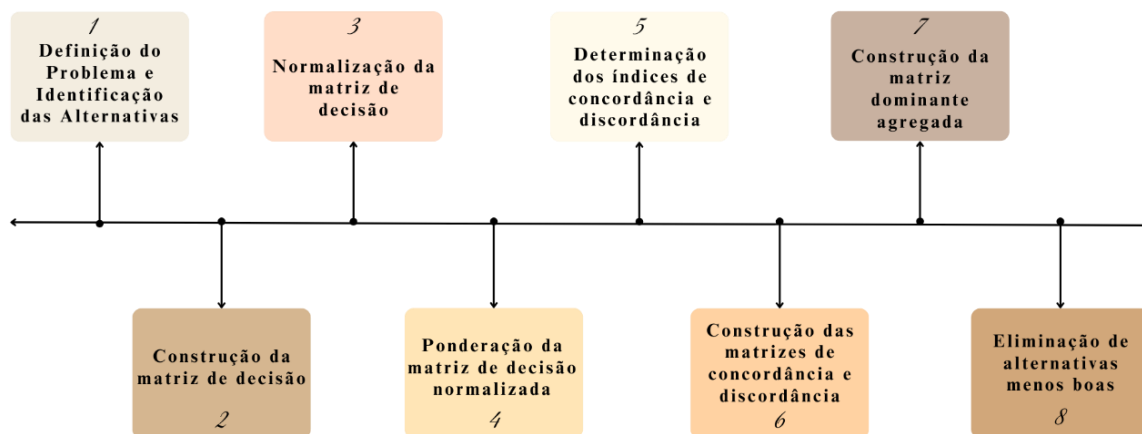


Figura 8 - Etapas do método ELECTRE

A primeira etapa do método ELECTRE consiste em definir o problema a ser resolvido, assim como as alternativas possíveis para a tomada de decisão. Ainda nesta primeira etapa, devem ser determinados os critérios que serão utilizados para avaliar as alternativas. Na fase de construção da matriz de decisão, são apresentadas as alternativas, com base no seu desempenho perante cada um dos critérios, pelo que cada linha representa uma alternativa e cada coluna um critério. Uma vez que os critérios podem ter unidades distintas, a matriz de decisão deve ser normalizada (etapa 3) de modo a permitir a comparação entre os valores, padronizando-os entre 0 e 1. De modo a refletir a importância de cada critério na avaliação das alternativas, efetua-se a ponderação da matriz de decisão normalizada (etapa 4), obtida através da multiplicação da matriz normalizada pelos pesos de cada critério. Esta ponderação permite que o resultado seja mais fiel às prioridades de quem toma a decisão, uma vez que sem esta etapa todos os critérios teriam a mesma influência, o que poderia

distorcer a avaliação das alternativas. Na etapa 5 determinam-se os índices de concordância e discordância, que medem a relação de preferência entre pares de alternativas. Assim, o índice de concordância mede a vantagem de uma alternativa perante a outra, com base nos critérios. Em contrapartida, o índice de discordância mede quão pior uma alternativa é perante a outra. Com base nestes índices, são construídas as matrizes de concordância e discordância (etapa 6). Estas matrizes permitem uma melhor visualização das alternativas dominantes e das alternativas superadas. A etapa 7 consiste na construção de uma matriz dominante agregada, isto é, uma matriz que destaca quais as alternativas mais fortes em relação às outras, tendo em conta os índices de concordância e discordância. A última etapa compreende a eliminação das alternativas menos boas, resultando desta eliminação um conjunto final das melhores opções para a tomada de decisão. Todo este processo permite classificar as alternativas possíveis e apoiar a tomada de decisão, considerando múltiplos critérios.

2.4. Modelos de aprendizagem supervisionada

A aprendizagem supervisionada baseia-se no treino de um modelo utilizando um conjunto de dados em que cada instância (entrada) está associada a um resultado conhecido. O objetivo principal é que o modelo aprenda a estabelecer uma relação entre as variáveis de entrada e as de saída, de forma a conseguir prever corretamente os resultados de novos dados, ainda não observados. Esta abordagem é geralmente mais fácil de implementar e interpretar, uma vez que os objetivos estão claramente definidos e os dados estão rotulados.

Por outro lado, a aprendizagem não supervisionada não utiliza rótulos ou resultados previamente definidos. O modelo é treinado apenas com as variáveis de entrada, sendo o seu principal objetivo identificar padrões, estruturas ocultas ou relações subjacentes nos dados. Este tipo de aprendizagem é geralmente utilizado em análises exploratórias e em tarefas de *clustering*, pelo que tende a ser mais complexo, exigindo frequentemente conhecimento prévio sobre o contexto dos dados analisados, de modo a interpretar corretamente os resultados obtidos (Emma, 2025).

2.4.1. Árvore de decisão e *Random Forest*

A árvore de decisão apresenta uma estrutura simples e fácil de interpretar. Este método utiliza uma organização hierárquica, semelhante a uma árvore, composta por três tipos de nós. Esta inicia-se no nó raiz, que representa a primeira decisão baseada num atributo do

conjunto de dados em análise. A partir do nó raiz surgem os nós intermédios ou nós de decisão, representando decisões adicionais com base em outros atributos a analisar. Estes levam aos nós folha, que indicam a classe final ou o resultado da decisão. Todo este caminho desde o nó raiz ao nó folha representa uma sequência lógica de decisões, que resulta numa classificação de uma instância. Esta estrutura permite uma visualização clara das regras de decisão, facilitando a compreensão por parte dos decisores.

A principal vantagem desta técnica consiste na sua capacidade de facilitar o processo de tomada de decisão, ao transformar problemas complexos em sub-problemas menores. No entanto, este tipo de modelo pode ser sensível ao *overfitting*, isto é, quando as árvores se tornam demasiado profundas ou específicas aos dados de treino, não conseguindo fazer previsões ou tirar conclusões precisas acerca dos dados que não sejam os de treino.

De modo a ultrapassar esta limitação, surge o algoritmo *Random Forest*, que combina múltiplas árvores de decisão para aumentar a robustez e a precisão da previsão. Este método recorre a uma técnica de aprendizagem por conjuntos, na qual várias árvores são construídas a partir de subconjuntos aleatórios do conjunto de dados original. Durante a fase de treino, cada árvore é desenvolvida utilizando apenas uma amostra aleatória dos dados e um subconjunto aleatório de atributos.

A previsão final é obtida através de um processo de votação (no caso da classificação) ou pela média (no caso da regressão) dos resultados de todas as árvores da floresta. Esta abordagem reduz o risco de *overfitting* e melhora o desempenho geral do modelo, especialmente quando este é aplicado a grandes volumes de dados (Sitti Rahmah Jabir et al., 2024).

2.4.2. Desempenho dos modelos

Após o desenvolvimento e aplicação de algoritmos de classificação, como a Árvore de Decisão e a *Random Forest*, é essencial dispor de métricas que permitam avaliar o desempenho dos modelos. A matriz de confusão é uma ferramenta fundamental na avaliação do desempenho de algoritmos de classificação. Trata-se de uma tabela bidimensional, geralmente quadrada, na qual as linhas representam as classes observadas e as colunas correspondem às classes previstas pelo modelo, tal como na Figura 9. Cada célula da matriz indica o número de instâncias classificadas de determinada forma,

permitindo distinguir as previsões corretas das incorretas, pelo que cada uma das células tem a seguinte designação:

- TP: *True Positive* (Verdadeiros positivos) - Positivos corretamente classificados;
- FP: *False positive* (Falsos positivos) - Positivos classificados incorretamente;
- FN: *False negative* (Falsos negativos) - Negativos classificados incorretamente;
- TN: *True negative* (Verdadeiros negativos) - Negativos corretamente classificados.

		Previsto	
		Positivo	Negativo
Observado	Verdadeiro	TP	FN
	Falso	FP	TN

Figura 9 - Matriz de confusão

Este tipo de representação permite uma análise detalhada da performance do modelo, identificando, por exemplo, quantas instâncias positivas foram corretamente classificadas (verdadeiros positivos), quantas foram incorretamente classificadas como negativas (falsos negativos), e vice-versa.

Deste modo, torna-se crucial interpretar os valores da matriz de confusão através de métricas de desempenho. Estas métricas permitem avaliar, de forma quantitativa, a eficácia dos modelos de classificação, como a *Árvore de Decisão* e a *Random Forest*. A Tabela 4 apresenta as principais métricas utilizadas neste estudo, acompanhadas da respetiva descrição, facilitando a compreensão dos resultados obtidos nas análises comparativas.

Tabela 4 - Principais métricas de avaliação de desempenho dos modelos de classificação

Métrica	Descrição
CA - <i>Accuracy</i> (Exatidão)	Percentagem casos previstos corretamente.
<i>Precision</i> (Precisão)	Percentagem de casos positivos corretamente identificados.
<i>Recall</i> (Recuperação)	Capacidade do modelo em identificar corretamente os casos positivos.
F1 - <i>score</i>	Média ponderada entre a Precisão e a Recuperação, o que o resulta num resumo informativo da qualidade do modelo.
MCC - <i>Matthews Correlation Coefficient</i> (Coeficiente de Correlação de Matthews)	Mede a correlação entre valores previstos e reais.
AUC – <i>Area under the curve</i> (área debaixo da curva)	Probabilidade de o modelo classificar corretamente um positivo face a um negativo.

A análise das métricas apresentadas permite obter uma visão abrangente do desempenho dos modelos de classificação utilizados. Métricas como a precisão (*precision*) e a recuperação (*recall*) oferecem perspetivas complementares sobre a capacidade do modelo em classificar corretamente as instâncias positivas, enquanto o F1-score sintetiza esse desempenho de forma equilibrada. A exatidão (*accuracy*) permite, por sua vez, perceber a proporção global de previsões corretas. Assim, estas métricas são utilizadas como base para a comparação dos resultados obtidos com os diferentes algoritmos de aprendizagem supervisionada (Conciatori et al., 2024).

2.4.3. Ferramenta para criação dos modelos

O Orange é uma biblioteca de análise de dados estruturada de forma hierárquica, composta por módulos que vão desde tarefas de baixo nível, como a filtragem de dados, imputação e normalização, até à implementação de algoritmos avançados de aprendizagem automática. Permite combinar facilmente diferentes componentes, como classificação

(com árvores, florestas, entre outros), regressão, seleção de atributos, regras de associação, *clustering* (como *k-means* e agrupamento hierárquico) e métodos de avaliação (como validação cruzada). A flexibilidade da sua arquitetura permite o desenvolvimento de fluxos de trabalho visuais integrados, tornando-a uma ferramenta versátil tanto para ensino como para investigação (Curk et al., 2013).

Para apoiar a compreensão das etapas realizadas durante a análise de dados no Orange, a Figura 10 apresenta os principais *widgets* utilizados ao longo do processo. Esta figura sintetiza, de forma clara e objetiva, a função de cada componente gráfico, permitindo visualizar de forma intuitiva o papel desempenhado por cada um nas tarefas que envolvem todo o processo de análise de dados.

<div>   </div>					
WIDGET	DESCRIÇÃO	WIDGET	DESCRIÇÃO	WIDGET	DESCRIÇÃO
 File Ficheiro	Lê o ficheiro de dados de entrada e envia o conjunto de dados para o seu canal de saída.	 Continuize Recodificar	Transforma as variáveis categóricas em variáveis numéricas e as variáveis numéricas são escalonadas.	 Tree Viewer Vizualizador de árvore	Permite a visualização 2-D de árvores de classificação e regressão.
 Create instance Criar Instância	Cria uma nova instância, com base nos dados de entrada, apresentando todas as variáveis numa tabela de duas colunas: Variável (nome) e Valor.	 Data table Tabela de dados	Recebe um ou mais conjuntos de dados na sua entrada e apresenta-os como uma folha de cálculo. A	 Random Forest Floresta aleatória	É um método de aprendizagem por conjuntos que utiliza múltiplas árvores de decisão através de uma amostra dos dados de treino.
 Select rows Selecionar linhas	Permite selecionar um subconjunto de dados com base em condições definidas pelo utilizador.	 Save data Guardar dados	Guarda um conjunto de dados num ficheiro com um nome especificado, com diversos formatos disponíveis.	 Pythagorean Forest Floresta aleatória	Apresenta todas as árvores geradas pelo Random Forest, usando representações pitagóricas.
 Select columns Selecionar colunas	É utilizado para compor manualmente o seu domínio de dados.	 Tree Árvore	É um algoritmo simples que divide os dados em nós por pureza de classe e pode lidar com conjuntos de dados categóricos e numéricos.	 Test and Score Teste e avaliação	Avalia algoritmos de aprendizagem utilizando diferentes métodos de amostragem, incluindo a separação entre dados de treino e de teste.
		 Confusion Matrix Matriz de confusão	Mostra a correspondência entre as classes previstas e reais, permitindo identificar erros de classificação.		

Figura 10 - Descrição dos principais widgets utilizados no Orange

3. Sistemas de apoio à decisão na seleção de fornecedores: Estudo de caso na indústria

As indústrias da atualidade necessitam cada vez mais de respostas rápidas devido à crescente complexidade dos sistemas da cadeia de abastecimento e devido ao grande volume de dados adquirido no contexto industrial. Neste sentido os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) tornam-se ferramentas indispensáveis, uma vez que permitem transformar um grande volume de dados em informação que permite a tomada de decisão mais fundamentada. Com esta informação é possível otimizar processos e impulsionar a competitividade das indústrias.

Na seleção de fornecedores são utilizados métodos que permitem criar uma ordenação ou priorização dos fornecedores mais adequados para fazerem parte da carteira de fornecedores de uma empresa, como por exemplo o método AHP ou ELECTRE. Outro método útil na seleção de fornecedores é a possibilidade de classificar um fornecedor como tendo um bom ou mau desempenho em critérios específicos como, tempo de entrega, qualidade, custo, entre outros. Para efetuar essa classificação são utilizadas, por exemplo, Árvores de Decisão e *Random Forest*.

Neste capítulo são abordados dois métodos distintos para auxiliar o processo de tomada de decisão. Numa primeira fase vai ser aplicado o método ELECTRE I a um caso de estudo de uma indústria têxtil, apresentado por Ramos et al. (2024), para a seleção do fornecedor mais adequado para a disponibilização de um pigmento necessário para o processo produtivo. É ainda feita uma análise crítica comparativa entre o método utilizado pelos autores (AHP) e o método proposto (ELECTRE I). Por fim, são apresentados modelos de classificação de fornecedores com base em Árvores de Decisão e *Random Forest*. Para a aplicação destes modelos é utilizado um conjunto de dados com informações sobre o desempenho de fornecedores em determinados critérios. Estes dados foram extraídos de um repositório *online* denominado *Kaggle*.

3.1. Apresentação de um Caso de Estudo abordado com o Método AHP

Com o intuito de estudo do modelo AHP na seleção de fornecedores, foi realizada uma análise de um caso de estudo aplicado no setor têxtil, de modo a explorar a robustez e a

aplicabilidade do método, bem como as suas vantagens e limitações. Foi efetuada uma descrição do estudo, dos critérios utilizados na seleção de fornecedores e dos resultados obtidos. Este caso, apresentado no estudo desenvolvido por Ramos et al. (2024) explora a influência da procura na seleção de fornecedores no setor têxtil, utilizando o método AHP. O objetivo dos autores foi desenvolver e validar um modelo multicritério para apoiar a tomada de decisão na escolha de fornecedores, neste caso para a aquisição de um corante reativo à fibra, que é utilizado sobretudo no tingimento de tecidos de algodão ou linho. O modelo considera critérios como custo, qualidade, tempo de entrega, sustentabilidade e histórico da relação com a empresa.

Neste caso de estudo, foram analisados dois cenários:

- **Cenário 1:** A empresa tem pouca procura por parte dos clientes e, portanto, tempo suficiente para adquirir o pigmento, pelo que o custo será o critério mais importante.
- **Cenário 2:** A empresa recebeu um pedido urgente de um cliente importante com quem tinha uma relação de longo prazo e, conseqüentemente, a procura do pigmento aumentou.

A empresa em questão dispõe de quatro fornecedores específicos para fornecimento do pigmento, sendo estes designados pelas letras A, B, C e D, de modo a garantir confidencialidade. Com o objetivo de determinar o fornecedor mais adequado às necessidades da empresa, foram definidos cinco critérios essenciais para a avaliação. Esses critérios permitem uma análise abrangente, considerando fatores estratégicos e operacionais no processo de seleção. A Figura 11 apresenta os critérios de seleção do pigmento têxtil, assim como uma breve descrição. Esta permite uma análise mais clara e intuitiva no processo de seleção do melhor fornecedor do pigmento.

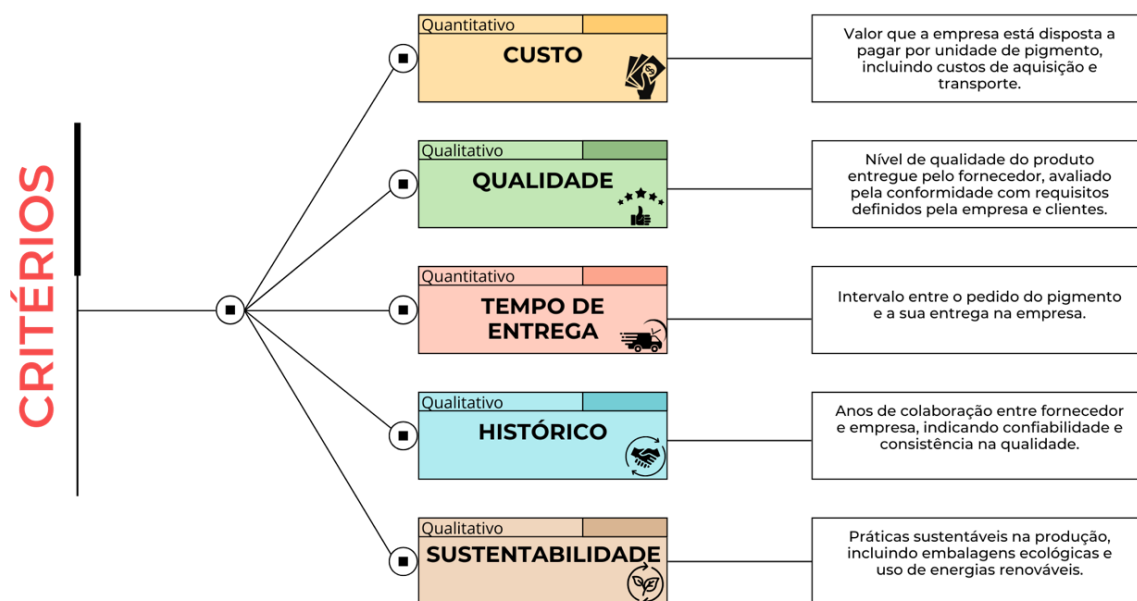


Figura 11 - Critérios de seleção do pigmento

A representação gráfica evidencia a importância de cada um dos critérios na seleção do fornecedor, dando destaque à necessidade de equilíbrio entre todos eles. Deste modo, entre os critérios quantitativos estão o custo, que diz respeito ao valor necessário para adquirir um pigmento, no qual estão incluídos os custos de transporte, e o tempo de entrega, um fator crucial, sendo capaz de influenciar a continuidade do processo produtivo. Este deve ser minimizado, de modo a evitar atrasos e garantir eficiência operacional. Por outro lado, os restantes critérios são de carácter qualitativo, como a qualidade, que avalia a conformidade do produto, mediante os padrões exigidos quer pelos clientes, quer pela empresa, o histórico, que engloba os anos de colaboração do fornecedor com a empresa e a sua confiabilidade ao longo da sua relação. Por último, também de carácter qualitativo, existe ainda a sustentabilidade, um critério que reúne boas práticas ambientais, como a utilização de embalagens ecológicas e fontes de energia renováveis.

De modo a obter o melhor fornecedor, o processo de aplicação do método AHP inicia-se com a criação de uma hierarquia, através da divisão do problema em vários níveis.

Assim, a Figura 12 apresenta a hierarquia de decisão, na qual se representa a divisão do problema central, que é a seleção do melhor fornecedor de corante, em mais dois níveis hierárquicos, pelo que os critérios de seleção (custo, qualidade, histórico, prazo de entrega e sustentabilidade) constituem o segundo nível da hierarquia, e as alternativas, neste caso os fornecedores A, B, C e D, que são apresentados numa ordem meramente exemplificativa, constituem o terceiro e último nível.

Com esta estrutura, o problema é apresentado de forma lógica e organizada, permitindo a comparação dos critérios e alternativas, com o intuito de obter uma decisão sustentada e otimizada.

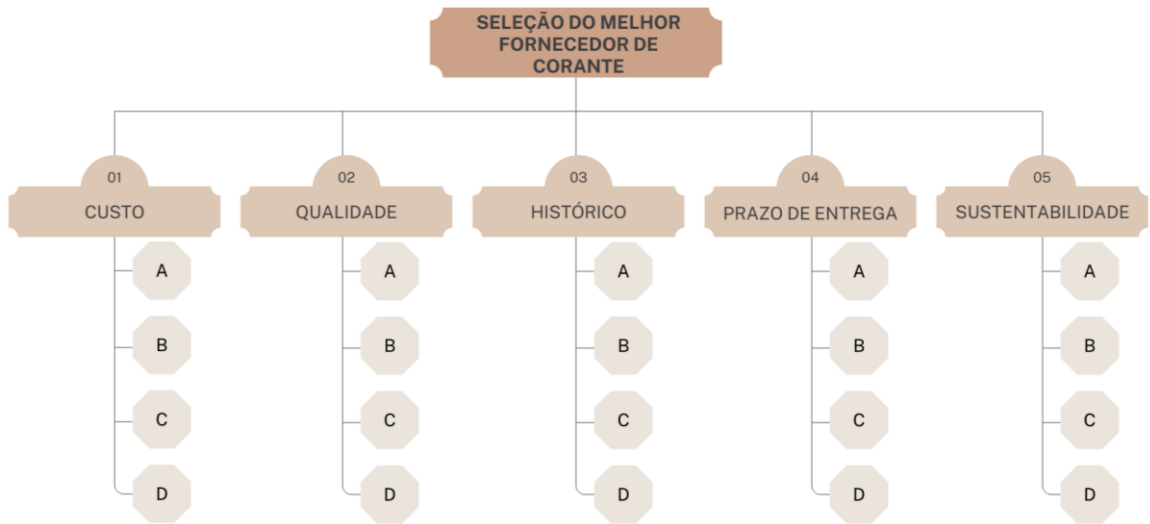


Figura 12 - Hierarquia de decisão (adaptado de Ramos et al. (2024))

Para que fosse possível comparar os critérios entre eles, assim como as alternativas, os decisores atribuíram pesos relativos a cada um deles, de modo a demonstrarem as suas preferências. A escala de Saaty permite que esta demonstração seja feita de forma subjetiva, contudo estruturada, garantindo um processo lógico e coerente. Esta varia entre 1 e 9, onde o decisor compara os elementos aos pares, atribuindo posteriormente um valor que indica a importância relativa de um elemento sobre o outro. A interpretação da escala de Saaty é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Escala de Saaty

Grau de importância	Interpretação
1	Igual importância entre as variáveis
3	Importância baixa de uma sobre a outra
5	Importância elevada ou essencial
7	Importância muito elevada ou demonstrada
9	Importância absoluta de uma sobre a outra
2, 4, 6 ,8	Valores intermédios de importância

Após a atribuição dos pesos através da escala de Saaty, é construída uma matriz de comparação entre critérios (Tabela 6) que permite determinar o peso relativo de cada um dos critérios na tomada de decisão. Estes valores são utilizados posteriormente para a comparação das alternativas.

Tabela 6 - Matriz de comparação entre critérios (adaptado de Ramos et al., (2024))

	Qualidade	Sustentabilidade	Custo	Histórico	Tempo de entrega
Qualidade	1	4	1/3	2	1/3
Sustentabilidade	1/4	1	1/7	1/2	1/6
Custo	3	7	1	5	2
Histórico	1/2	2	1/5	1	1/4
Tempo de entrega	3	6	1/2	4	1

Em jeito de exemplo, pela observação da matriz, perante a sustentabilidade, a qualidade releva-se mais importante com o valor 4. Já o valor 1/3 da qualidade relativamente ao custo, indica que a primeira apresenta uma importância inferior, isto é, o custo apresenta uma importância alta sobre a qualidade. Além disso, observa-se ainda que o custo é o critério com maior importância perante os restantes.

Após a construção da matriz de comparação entre critérios, foi efetuada a sua normalização, permitindo calcular os pesos relativos de cada critério.

De seguida, os fornecedores foram avaliados individualmente em relação a cada critério. Para os critérios quantitativos, como o custo e o tempo de entrega, foram utilizados dados fornecidos pela empresa. Já para os critérios qualitativos como qualidade, histórico e sustentabilidade, foram utilizadas comparações par a par entre fornecedores, com base nas perceções dos decisores. As avaliações obtidas para cada fornecedor, em cada critério, foram posteriormente combinadas com os pesos que já haviam sido calculados, permitindo determinar a prioridade de cada fornecedor. Este valor reflete o seu desempenho global e serve de base para o seu posicionamento final no processo de decisão.

Os resultados demonstraram que o fornecedor A obteve a pontuação mais elevada, sendo por isso a melhor alternativa segundo os critérios definidos. Esta abordagem permitiu estruturar o processo de decisão, tornando-o mais transparente, justificado e alinhado com os objetivos estratégicos da organização.

3.2. Implementação do método ELECTRE I para seleção de fornecedores

Embora o AHP seja muito utilizado no contexto da priorização de fornecedores, este funciona com base numa ordenação das alternativas, o que pode nem sempre ser o mais adequado para situações de conflitos entre critérios, pelo que, o método ELECTRE I permite uma análise mais flexível, permitindo a introdução de conceitos de concordância e discordância, e dando possibilidade a relações de classificação mais adequadas a contextos industriais mais complexos.

Após a análise do estudo desenvolvido por Ramos et al. (2024), que envolve a aplicação do método AHP, foi aplicado o método multicritério ELECTRE I, com o intuito de verificar se, embora com um método distinto, o fornecedor selecionado seria o mesmo. Este caso de estudo, para a seleção do melhor fornecedor para um pigmento necessário ao processo produtivo de uma indústria têxtil, foi abordado na secção anterior. A adaptação e implementação do método ELECTRE I foi feita através de uma folha de cálculo na ferramenta Microsoft Excel, seguindo as diferentes fases do método.

A Figura 13 apresenta a matriz de comparação entre os diferentes critérios, baseada na escala fundamental de Saaty.

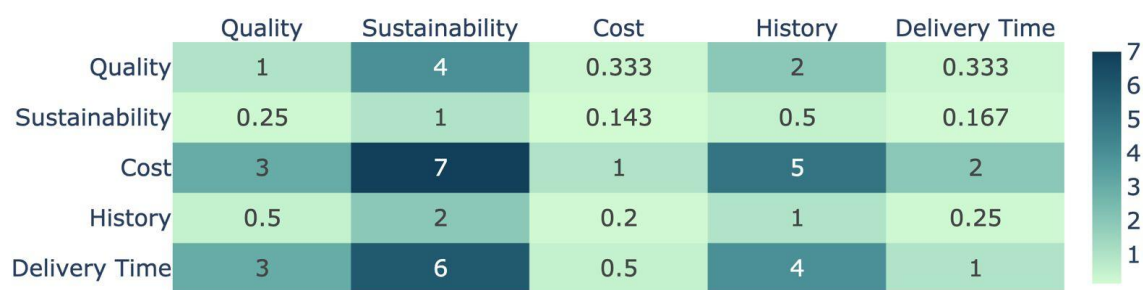


Figura 13 - Matriz de comparação dos critérios por pares (Retirado de Ramos et al. (2024))

Deste modo, tal como é possível verificar na Tabela 7, foi calculada a média de cada uma das linhas da matriz de comparação, que foi posteriormente normalizada, de modo a

permitir a adaptação dos valores à matriz de decisão do método ELECTRE I, através da Equação 1:

$$valor\ normalizado\ (n) = \left(\frac{valor - mínimo}{máximo - mínimo} \times (9 - 1) \right) + 1 \quad (1)$$

Esta normalização foi efetuada com base na escala de Saaty, que varia entre 1 (igual importância entre as variáveis) e 9 (importância absoluta de uma sobre a outra). A subtração entre 9 e 1 refere-se assim aos limites da escala, sendo 9 o valor máximo e 1 o valor mínimo. Este processo permitiu converter os valores médios numa escala discreta compreendida entre 1 e 9, mantendo a coerência com os valores utilizados no método AHP e assegurando compatibilidade com o método ELECTRE I.

Posteriormente, o valor normalizado foi arredondado, sendo feita ainda a soma de todos os valores arredondados, de modo a permitir determinar o peso relativo de cada critério, utilizando a Equação 2.

$$Peso\ do\ critério\ (W) = \frac{Valor\ normalizado\ arredondado}{Soma\ dos\ valores\ normalizados\ arredondados} \quad (2)$$

A Tabela 7 resume as operações efetuadas para converter a informação da matriz de comparação de critérios por pares numa ponderação única para cada critério.

Tabela 7 - Adaptação da matriz de comparação para o método ELECTRE

	Q	S	C	H	T	Média	Normalização	Arredondar	Peso (W)
Qualidade (Q)	1,00	4,00	0,33	2,00	0,33	1,53	3,81	4,00	0,1739
Sustentabilidade (S)	0,25	1,00	0,14	0,50	0,17	0,41	1,00	1,00	0,0435
Custo (C)	3,00	7,00	1,00	5,00	2,00	3,60	9,00	9,00	0,3913
Histórico (H)	0,50	2,00	0,20	1,00	0,25	0,79	1,95	2,00	0,0870
Tempo de Entrega (T)	3,00	6,00	0,50	4,00	1,00	2,90	7,24	7,00	0,3043
								23,00	

Os valores resultantes da Tabela 7 foram posteriormente organizados na Tabela 8, onde são apresentados de forma estruturada, juntamente com o objetivo associada a cada critério (maximizar ou minimizar). Assim, critérios como o custo e o tempo de entrega devem ser minimizados, enquanto qualidade, histórico e sustentabilidade devem ser maximizados. Esta distinção é essencial para a aplicação correta do método ELECTRE I, uma vez que influencia diretamente o processo de normalização e construção das matrizes.

Tabela 8 - Pesos dos critérios

Objetivo	Critério	Peso (W)
Minimizar	Custo	0,3913
Minimizar	Tempo de entrega	0,3043
Maximizar	Qualidade	0,1739
Maximizar	Histórico	0,0870
Maximizar	Sustentabilidade	0,0435
	TOTAL	1

As equações 1 e 2 foram utilizadas para a determinação de uma ponderação única para cada fornecedor em relação aos critérios qualitativos. Deste modo, visto que os dados referentes aos critérios qualitativos (qualidade e sustentabilidade) não estavam disponíveis no formato pretendido, como exigido pelo método ELECTRE I, foram efetuados cálculos de normalização para criar uma ponderação única para cada fornecedor em relação aos dois critérios referidos (Tabela 9 e Tabela 10). Cada tabela começa por apresentar uma matriz de comparações entre fornecedores (A, B, C, D), com base na opinião do decisor, usando a escala fundamental de Saaty. De seguida, para cada fornecedor, foi calculada a média dos valores da linha, refletindo a avaliação global desse fornecedor no critério considerado. Uma vez calculadas as médias, procedeu-se à normalização, de modo a transformar os valores numa escala comum de 1 a 9, conforme a escala de Saaty. Este passo permite garantir que todos os critérios, mesmo os qualitativos, sejam tratados na mesma escala ao serem integrados na matriz de decisão do ELECTRE I.

Além disso, com o intuito de simplificar e uniformizar os dados, os valores normalizados foram arredondados ao número inteiro mais próximo, resultando nos valores apresentados na última coluna de cada tabela, correspondentes aos valores finais utilizados na matriz de decisão.

Tabela 9 - Determinação dos dados correspondentes à qualidade

Qualidade							
	A	B	C	D	Média	Normalização	Arredondar
A	1	4	2	5	3,0000	9,0000	9
B	0,25	1	0,3333	2	0,8958	2,3002	2
C	0,5	3	1	4	2,1250	6,2139	6
D	0,2	0,5	0,25	1	0,4875	1,0000	1

A Tabela 9 apresenta os resultados do critério qualidade, onde se verifica que o fornecedor A obteve o valor mais elevado após os processos de normalização e arredondamento, refletindo uma avaliação global mais favorável neste critério. A Tabela 10 diz respeito ao critério sustentabilidade, no qual o fornecedor C se destaca com o valor mais elevado, traduzindo uma percepção superior relativamente às práticas sustentáveis adotadas. Estes resultados permitem captar as preferências do decisor, assegurando a coerência dos dados para a matriz de decisão do método ELECTRE I.

Tabela 10 - Determinação dos dados correspondentes à sustentabilidade

Sustentabilidade							
	A	B	C	D	Média	Normalização	Arredondar
A	1	7	0,3333	5	3,3333	7,0720	7
B	0,1429	1	0,1429	0,5	0,4464	1,0000	1
C	3	7	1	6	4,2500	9,0000	9
D	0,2	2	0,1667	1	0,8417	1,8313	2

Os resultados obtidos da conversão efetuada nos passos anteriores — visíveis nas colunas “Arredondar” — representam o desempenho de cada fornecedor em relação aos critérios qualitativos. Esses valores foram então integrados na matriz de decisão, apresentada na Tabela 11, juntamente com os critérios quantitativos (custo, tempo de espera e histórico), cujos dados foram fornecidos diretamente pelo caso de estudo apresentado por Ramos et al. (2024). Assim, a matriz de decisão consolida todos os critérios de avaliação, atribuindo a cada fornecedor uma pontuação por critério e o seu respetivo peso (W), assegurando uma representação equilibrada das preferências do decisor no contexto da metodologia ELECTRE I (Tabela 11).

Tabela 11 - Matriz de decisão

Fornecedores	Custo	Qualidade	Tempo de espera	Histórico	Sustentabilidade
A	50	9	5	2	7
B	47	2	9	10	1
C	51	6	7	2	9
D	48	1	11	7	2
Peso	0,3913	0,1739	0,3043	0,0870	0,0435

Após estar completa a matriz de decisão, foi efetuada a sua normalização, de modo a permitir a comparação entre critérios com diferentes objetivos. Esta normalização permite que todos os valores se situem entre 0 e 1. Assim, para os critérios a maximizar, foi utilizada a Equação 3, enquanto para a minimização foi utilizada a Equação 4.

$$\text{Maximização} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

De modo a maximizar a qualidade, o histórico e a sustentabilidade, através da Equação 3, subtrai-se ao maior valor da coluna o valor de cada linha, dividindo o valor resultante pela diferença entre o valor máximo e o mínimo de cada coluna.

$$\text{Minimização} = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4)$$

Quanto ao custo e ao tempo de espera, visto que devem ser minimizados, tal como na Equação 4, ao valor de cada linha é subtraído o valor mínimo de cada coluna, dividindo-se posteriormente o valor resultante pela subtração entre o valor máximo e o mínimo de cada coluna. A normalização é essencial para que a ponderação dos critérios seja aplicada corretamente e que as diferenças entre as várias alternativas possam ser analisadas de forma justa e equilibrada. Sem este passo, a análise seria distorcida pelas diferenças de escala entre os dados. Assim, a Tabela 12 apresenta a matriz normalizada.

Tabela 12 - Matriz normalizada

	Custo	Qualidade	Tempo de espera	Histórico	Sustentabilidade
A	0,2500	1,0000	1,0000	0,0000	0,7500
B	1,0000	0,1250	0,3333	1,0000	0,0000
C	0,0000	0,6250	0,6667	0,0000	1,0000
D	0,7500	0,0000	0,0000	0,6250	0,1250
Peso	0,3913	0,1739	0,3043	0,0870	0,0435

Após todos os valores serem normalizados, estes foram multiplicados pelos pesos de cada critério, respetivamente, dando origem à matriz normalizada ponderada (Tabela 13). Este passo tem como objetivo refletir a importância relativa de cada critério na avaliação global das alternativas, sendo que os critérios com maior peso terão um maior impacto na avaliação das alternativas. Sem este passo, todos os critérios teriam o mesmo peso na tomada de decisão, o que não corresponderia à realidade.

Tabela 13 - Matriz normalizada ponderada

	Custo	Qualidade	Tempo de entrega	Histórico	Sustentabilidade
A	0,0978	0,1739	0,3043	0,0000	0,0326
B	0,3913	0,0217	0,1014	0,0870	0,0000
C	0,0000	0,1087	0,2029	0,0000	0,0435
D	0,2935	0,0000	0,0000	0,0544	0,0054
Peso	0,3913	0,1739	0,3043	0,0870	0,0435

Tendo por base a matriz normalizada ponderada, foi construída a matriz de concordância (Tabela 16), através de uma comparação par a par entre os fornecedores. Assim, para cada par de alternativas foi calculado o índice de concordância, através da Equação 5.

$$C_{ij} = \sum_{Se}^n x_{normalizado\ i} > x_{normalizado\ j} W_j + \sum_{Se}^n x_{normalizado\ i} = x_{normalizado\ j} \frac{1}{2} W_j \quad (5)$$

A Equação 5 envolve o somatório dos pesos dos critérios (W_j), nos quais determinada alternativa de fornecedor apresenta um desempenho superior à alternativa à qual está a ser comparada, isto é, quando o valor de determinada alternativa na matriz normalizada ponderada é superior ao valor correspondente à alternativa a comparar. No caso de os desempenhos serem iguais ($x_{normalizado\ i} = x_{normalizado\ j}$), é somado metade do peso do critério a ser avaliado.

As Tabelas 14 e 15 representam os cálculos auxiliares realizados para obter os elementos da matriz de concordância, no contexto do método ELECTRE I. Este processo consiste em comparar duas alternativas de cada vez, neste caso, os fornecedores A e B, com base nos seus desempenhos normalizados e ponderados por critério.

Tabela 14 - Cálculos auxiliares para a matriz de concordância para os fornecedores A e B

	Custo	Qualidade	Tempo de entrega	Histórico	Sustentabilidade
A	0,2500	1,0000	1,0000	0,0000	0,7500
B	1,0000	0,1250	0,3333	1,0000	0,0000
Peso	0,3913	0,1739	0,3043	0,0870	0,0435

A Tabela 14 reúne os valores da matriz normalizada, correspondentes às alternativas A e B, organizados por critério. A última linha contém os pesos atribuídos a cada critério. Estes valores constituem a base para a determinação, critério a critério, das alternativas que apresentam melhor desempenho.

Tabela 15 - Desempenho dos critérios A e B para a matriz de concordância

	Custo	Qualidade	Tempo de entrega	Histórico	Sustentabilidade
A	0,0000	0,1739	0,3043	0,0000	0,0435
B	0,3913	0,0000	0,0000	0,0870	0,0000
Peso	0,3913	0,1739	0,3043	0,0870	0,0435

A Tabela 15 permite avaliar o par de fornecedores A e B. Esta avaliação é feita com base nos valores da tabela anterior (Tabela 14), comparando o desempenho dos dois fornecedores para cada um dos critérios. O objetivo é identificar, para cada critério, se o fornecedor A tem desempenho melhor, igual ou inferior ao fornecedor B.

As células assinaladas a verde indicam os critérios em que um dos fornecedores apresenta melhor desempenho face ao outro.

Neste contexto, focando na primeira linha, relativa ao fornecedor A, o critério só contribui para a concordância se o desempenho de A for igual ou superior ao de B. Se for superior, é atribuído à célula o peso do critério correspondente, refletindo a sua importância na decisão, se for igual atribui-se apenas metade do valor do peso. Caso contrário, se A tiver um desempenho inferior ao de B nesse critério, é atribuído o valor zero, indicando

ausência de concordância nesse aspecto. O mesmo se aplica à análise do fornecedor B perante o A.

Por exemplo, no critério Custo, o fornecedor A apresenta um valor inferior ao de B pelo que não existe concordância — atribui-se 0. Já na Qualidade, o fornecedor A tem claramente melhor desempenho, e por isso é atribuído o valor integral do peso desse critério (0,1739). O mesmo raciocínio é seguido para os restantes critérios. No final, os valores atribuídos são somados, resultando no índice de concordância entre A e B, que será utilizado na construção da matriz de concordância. Na Tabela 15 o índice de concordância entre o fornecedor A e B corresponde ao somatório da linha A da Tabela 15, ou seja, $0,1739+0,3043+0,0435 = 0,5217$. Para o índice de concordância entre o fornecedor B e A foi efetuada a soma da linha B, ou seja, $0,3913+0,0870 = 0,4783$. Esta análise foi feita para cada um dos pares de fornecedores, revelando-se essencial para traduzir numericamente a comparação par a par entre fornecedores, respeitando os pesos atribuídos a cada critério, constituindo um dos passos centrais para a aplicação do método ELECTRE I. Ainda com base na matriz normalizada ponderada, foi construída a matriz de concordância, apresentada na Tabela 16. Os valores apresentados nesta matriz foram obtidos utilizando a Equação 5.

Tabela 16 – Matriz de concordância

Fornecedores	A	B	C	D
A		0,5217	0,9130	0,5217
B	0,4783		0,4783	0,9565
C	0,0870	0,5217		0,5217
D	0,4783	0,0435	0,4783	

A Equação 6 representa o cálculo do índice de discordância D_{ik} , utilizado na construção da matriz de discordância no método ELECTRE I. Este índice mede o grau de oposição de uma alternativa A_k em relação a outra A_i , tendo em conta os critérios em que A_k supera A_i .

$$D_{ik} = \frac{\max_{C_j(A_i) < C_j(A_k)} |C_j(A_i) - C_j(A_k)|}{\max_j |C_j(A_i) - C_j(A_k)|} \quad (6)$$

Nesta equação, o numerador identifica o critério onde A_k mais supera A_i , ou seja, o maior valor de diferença negativa. O denominador corresponde à maior diferença entre os desempenhos dos dois fornecedores, considerando todos os critérios. Estes cálculos auxiliares foram efetuados para todos os pares de fornecedores disponíveis, como é apresentado um exemplo na Tabela 17.

Tabela 17 - Cálculos auxiliares para a matriz de discordância entre os fornecedores A e B

	Custo	Qualidade	Tempo de espera	Histórico	Sustentabilidade
A	0,0978	0,1739	0,3043	0,0000	0,0326
B	0,3913	0,0217	0,1014	0,0870	0,0000
A->B	0,2935	-0,1522	-0,2029	0,0870	-0,0326
B->A	-0,2935	0,1522	0,2029	-0,0870	0,0326

A matriz de discordância (Tabela 18), apresenta os índices calculados para cada um dos pares de fornecedores. Estes variam entre 0 e 1, pelo que quanto mais próximo de 1, maior a oposição, ou seja, mais determinado fornecedor é superado. Em contrapartida, quanto mais próximo de 0, menor a discordância, pelo que determinada alternativa não é significativamente inferior em nenhum critério, perante a outra.

Tabela 18 - Matriz de discordância

Fornecedores	A	B	C	D
A		1,0000	0,1075	0,6431
B	0,6913		0,2594	0,0533
C	1,0000	1,0000		1,0000
D	1,0000	1,0000	0,6913	

Após determinação das matrizes de concordância e discordância é aplicado um limiar (*threshold*) de modo a que ambas as matrizes possuam valores dicotómicos. O valor deste limiar é obtido pela média dos valores determinados nas respetivas matrizes. Este processo intermédio tem como objetivo realizar um filtro às preferências de modo que preferências consideradas insuficientes (baixo valor) são desconsideradas e as restantes são sobreclassificadas tornando-as fortes para a classificação final. Por outro lado, e considerando o objetivo de aplicação do método ELECTRE, pretende-se uma classificação binária que demonstre a dominância entre fornecedores e não a criação de uma ordenação (*ranking*) entre os mesmos.

Assim, à matriz de concordância apresentada na Tabela 16 é aplicado um *threshold* de 0,5 (média de todos os valores da matriz) obtendo-se a matriz apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 – Matriz de dominância agregada

Fornecedores	A	B	C	D
A		1	1	1
B	0		0	1
C	0	1		1
D	0	0	0	

O processo é aplicado de forma idêntica à matriz de discordância (Tabela 18) com um valor de *threshold* de 0,7038. O resultado obtido é apresentado na Tabela 20.

A matriz de dominância agregada (Tabela 20) resulta da combinação entre a matriz de concordância e discordância após a realização da sua transformação dicotômica, permitindo identificar as alternativas que prevalecem perante as outras, assim como as alternativas superadas. Quando ambas as tabelas possuem na mesma célula o valor 1, o mesmo transita para a matriz agregada, caso contrário é inserido o valor 0.

Deste modo, observa-se que o fornecedor A é a melhor alternativa, seguido do B, ao contrário do fornecedor D, que é superado pelos restantes fornecedores (A, B e C).

Tabela 20 - Matriz de dominância agregada

Fornecedores	A	B	C	D	SOMA
A		0	1	1	2
B	0		0	1	1
C	0	0		0	0
D	0	0	0		0
SOMA	0	0	1	2	

Na Tabela 20, a coluna “Soma” representa o número de fornecedores que cada um deles supera, ao contrário da linha “Soma” que representa o número de fornecedores que superam cada um deles. Assim, o fornecedor C apenas é superado pelo A, enquanto D é superado por A e B. O fornecedor A parece ser a melhor alternativa, uma vez que supera C e D, enquanto B apenas supera D. A Figura 14 apresenta um esquema que permite evidenciar

de forma visual e objetiva o processo de comparação e seleção do fornecedor mais adequado aos critérios valorizados.

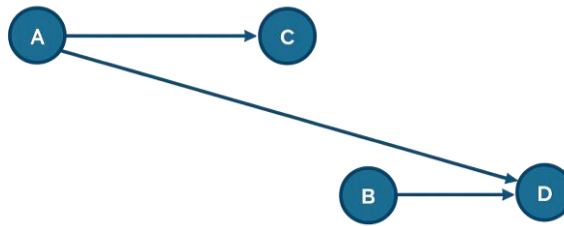


Figura 14 - Relação de dominância entre os fornecedores

Análise de Sensibilidade no método ELECTRE I

Com o intuito de analisar a sensibilidade do modelo multicritério perante alterações nos pesos atribuídos a cada um dos critérios, foram realizadas simulações. Estas consistiram numa redução do peso do critério custo, critério de maior ponderação, em 5%, 10% e 15% do seu valor inicial, redistribuindo proporcionalmente essa diferença pelos restantes critérios, um de cada vez. Assim, em cada iteração dos testes, apenas um dos quatro critérios (qualidade, tempo de entrega, histórico e sustentabilidade) terá o seu peso alterado, enquanto os restantes se mantêm constantes.

A Tabela 21 apresenta a primeira simulação realizada, no qual o peso do custo sofre uma redução de 0,3913 para 0,3717, sendo a diferença somada ao critério qualidade, elevando o seu peso para 0,1935. Este processo foi realizado de forma a manter a soma total dos pesos igual a 1, preservando a coerência da análise multicritério. Esta abordagem tem como objetivo verificar de que forma a alteração da importância relativa dos critérios influencia a seleção final do fornecedor, proporcionando uma visão mais robusta e crítica acerca dos resultados obtidos através do método ELECTRE I.

Tabela 21 - Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade

Função	Critério	Peso (W)
Minimizar	Custo	0,3717
Minimizar	Tempo de entrega	0,3043
Maximizar	Qualidade	0,1935
Maximizar	Histórico	0,0870
Maximizar	Sustentabilidade	0,0435
	TOTAL	1

Tendo em conta a Tabela 22, observa-se que o fornecedor A é o fornecedor dominante, não sendo dominado por nenhum dos restantes. Já os fornecedores B e C dominam o fornecedor D, enquanto D não domina nenhum outro fornecedor, o que reforça a sua menor atratividade perante os critérios considerados.

Tabela 22 – Matriz de dominância agregada

Fornecedores	A	B	C	D	Soma
A	0	0	1	1	2
B	0	0	0	1	1
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0
Soma	0	0	1	2	

Num segundo cenário (Tabela 23), o peso do custo foi reduzido em 10%, para 0,3522, e o restante foi adicionado ao critério qualidade, resultando num novo peso de 0,2130.

Este processo foi repetido para os restantes critérios, de modo a assegurar uma análise de sensibilidade completa e abrangente, obtendo-se exatamente os mesmos resultados.

Tabela 23 – Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade

Função	Critério	Peso (W)
Minimizar	Custo	0,3522
Minimizar	Tempo de entrega	0,3043
Maximizar	Qualidade	0,2130
Maximizar	Histórico	0,0870
Maximizar	Sustentabilidade	0,0435
	TOTAL	1

Nesta avaliação, reforçou-se a dominância do fornecedor A, seguida dos fornecedores B e C. O fornecedor D não domina nenhum dos restantes, sendo dominado por todos eles.

Tabela 24 - Matriz de dominância agregada

Fornecedores	A	B	C	D	Soma
A	0	0	1	1	2
B	0	0	0	1	1
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0
Soma	0	0	1	2	

Na terceira simulação efetuada (Tabela 25), o custo sofreu uma alteração de 15%. O valor remanescente atribuído ao critério qualidade, resultando no peso de 0,2326.

Tabela 25 - Redistribuição dos pesos com aumento do peso do critério Qualidade

Função	Critério	Peso (W)
Minimizar	Custo	0,3326
Minimizar	Tempo de entrega	0,3043
Maximizar	Qualidade	0,2326
Maximizar	Histórico	0,0870
Maximizar	Sustentabilidade	0,0435
	TOTAL	1

Através da Tabela 26, observa-se que uma diminuição no peso do custo e um aumento na qualidade resulta na seleção do mesmo fornecedor que os pesos inicialmente considerados (fornecedor A).

Tabela 26 - Matriz de dominância agregada

Fornecedores	A	B	C	D	Soma
A	0	0	1	1	2
B	0	0	0	1	1
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0
Soma	0	0	1	2	

Tendo em conta as alterações efetuadas nos pesos dos critérios, nomeadamente a redução progressiva do peso do critério custo, em 5%, 10% e 15% do seu valor inicial, foram feitas simulações, de modo a perceber se para os diferentes cenários, resultam mudanças nas prioridades da empresa.

Após estas simulações, visto que os resultados se mantiveram inalterados, foi realizada uma simulação adicional, com uma percentagem mais significativa, de 35%, aplicada especificamente na relação entre o custo e a qualidade. Nesta simulação, o peso do custo foi reduzido 35% relativamente ao seu peso inicial, e o valor correspondente foi adicionado no peso da qualidade. Esta análise gerou pequenas alterações nas relações de dominância, observando-se que o fornecedor A passou a superar todos os restantes, tal como é possível observar na Tabela 27. No entanto, é fundamental referir que o fornecedor A já era o dominante nas análises anteriores, reforçando a sua posição.

Tabela 27 - Matriz de dominância agregada para 35%

Fornecedores	A	B	C	D	Soma
A	0	1	1	1	3
B	0	0	0	1	1
C	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0
Soma	0	1	1	2	

O esquema da Figura 15 apresenta as relações de dominância entre os fornecedores, de uma forma mais visual e de fácil interpretação.

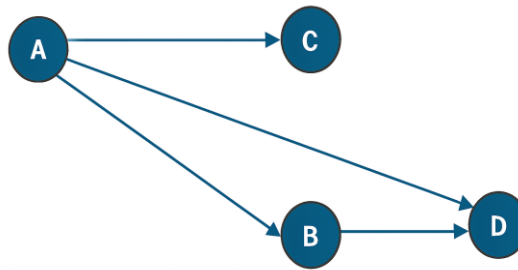


Figura 15 - Esquema de dominância entre os fornecedores, para a alteração de 35%

Deste modo, observa-se que o fornecedor A mantém uma posição clara de dominância, superando todos os outros, o que reforça a robustez da sua seleção como alternativa mais adequada.

Assim, a análise de sensibilidade demonstrou uma grande estabilidade do modelo, uma vez que para todas as simulações, os resultados mantiveram-se inalteráveis.

3.3. Análise crítica do método AHP e ELECTRE I

O presente estudo teve por base a adaptação de um caso de seleção de fornecedores da indústria têxtil, originalmente desenvolvido com o método AHP, para uma análise comparativa com o método ELECTRE I. Esta abordagem permitiu observar o modo como diferentes métodos multicritério podem conduzir a interpretações distintas, mesmo quando são aplicados ao mesmo conjunto de dados e critérios.

A Tabela 28 sintetiza os principais aspetos que diferenciam ambos os métodos, destacando a influência que têm diretamente no processo e os resultados da decisão no contexto da seleção de fornecedores.

Tabela 28 - Implicações práticas da aplicação do AHP e ELECTRE I no caso de estudo

ASPETO	AHP	ELECTRE I
Tipo de resultado	<i>Ranking</i> completo e ordenado das alternativas	Grafo de dominância com relações entre as alternativas
Forma de decisão	Escolha direta do fornecedor com maior pontuação	Eliminação de alternativas dominadas e seleção de subconjunto viável
Sensibilidade aos pesos	Alta sensibilidade – pequenas alterações afetam o <i>ranking</i>	Menor sensibilidade – mais robusto a variações moderadas
Tratamento de critérios discordantes	Integração ponderada (média ponderada dos juízos)	Avaliação par a par com limiares – melhor gestão de conflitos
Clareza na comunicação da decisão	Fácil de interpretar por decisores não especializados	Requer análise gráfica e interpretação das relações
Adequação ao contexto	Decisões estruturadas e objetivos bem definidos	Ambientes de incerteza ou com alternativas muito próximas

Em termos de tipo de resultado, o AHP fornece um *ranking* completo e ordenado das alternativas, facilitando a escolha direta da opção com melhor desempenho global. Por sua vez, o ELECTRE I, gera um grafo de dominância com relações entre as alternativas, o que permite eliminar alternativas claramente dominadas e identificar um subconjunto viável. O ELECTRE I foi utilizado como método complementar ao AHP, com o propósito de avaliar se a alternativa considerada melhor no *ranking* global obtido pelo AHP permanece não dominada no grafo de dominância, reforçando a confiança na decisão final.

Relativamente à sensibilidade aos pesos, o AHP revela-se mais sensível – pequenas alterações nos pesos dos critérios podem afetar expressivamente o resultado. Por outro lado, o ELECTRE I mostra-se mais robusto, lidando melhor com variações moderadas nas preferências dos decisores.

No que diz respeito ao tratamento de critérios discordantes, o AHP utiliza uma integração ponderada, resultante da média dos juízos, o que pode suavizar conflitos. Em contraste, o ELECTRE I trabalha com limiares de concordância e discordância em

comparações par a par, oferecendo uma abordagem mais adequada à gestão de conflitos entre critérios.

A clareza na comunicação da decisão é outro ponto diferenciador: o AHP, com a sua estrutura hierárquica e resultados numéricos diretos, é mais fácil de interpretar por decisores sem formação técnica. O ELECTRE I, apesar de mais robusto, exige uma interpretação gráfica das relações de dominância, o que pode dificultar a sua utilização por utilizadores menos experientes.

Por fim, quanto à adequação ao contexto, o AHP adapta-se melhor a problemas com objetivos bem definidos e critérios claramente hierarquizados. O ELECTRE I, por sua vez, é mais apropriado em cenários de incerteza, onde existem alternativas muito próximas e a tomada de decisão requer um tratamento mais flexível e tolerante a inconsistências.

4. Modelo de Classificação de Fornecedores

O conjunto de dados utilizado neste estudo contém informações detalhadas sobre fornecedores e os seus respectivos desempenhos em diversas métricas de avaliação. Esses dados foram extraídos da plataforma Kaggle¹, um repositório amplamente utilizado para a disponibilização de *datasets* para análise de dados e *machine learning*. O objetivo principal deste conjunto de dados é permitir a seleção e avaliação de fornecedores com base em múltiplos critérios, facilitando a tomada de decisão em processos de aquisição e gestão da cadeia de abastecimento.

4.1. Apresentação do *dataset*

O *dataset* é composto por diversas colunas que representam atributos essenciais para a avaliação dos fornecedores, incluindo os presentes na Tabela 29.

Tabela 29 - Definição dos diferentes critérios de avaliação

Critério	Descrição
<i>Business Area</i>	Área de atuação, corresponde ao setor de especialização do fornecedor
<i>Supplier Code</i>	Código do fornecedor, um indicador único atribuído a cada fornecedor
<i>Supplier name</i>	Nome do Fornecedor
<i>Cost/Price</i>	Custo/Preço
<i>Service Cooperation</i>	Cooperação no serviço
<i>Conforming Service</i>	Conformidade do serviço
<i>Flexibility</i>	Flexibilidade
<i>After-Sale Service</i>	Serviço Pós-venda
<i>Complaint Management</i>	Gestão de reclamações
<i>Waiting time</i>	Tempo de espera

¹ O dataset foi extraído do repositório online em <https://www.kaggle.com/datasets/sayande01/suppliers>

A análise do conjunto de dados poderá permitir não apenas a identificação dos fornecedores mais eficientes, mas também a visualização de padrões de desempenho e a sugestão de estratégias de melhoria para aqueles que apresentam inconformidades em determinados critérios.

A Tabela 30 apresenta os critérios utilizados para a seleção de fornecedores no contexto do estudo. Cada critério é identificado por um código único e detalhado em termos de descrição, tipo (qualitativo ou quantitativo) e escala de avaliação. Estes abrangem fatores financeiros, como custos de manutenção e transporte, bem como aspectos qualitativos, como cooperação no serviço e serviço conforme. A escala de avaliação permite quantificar o desempenho de cada fornecedor, facilitando a análise comparativa e a tomada de decisão.

Tabela 30 - Critérios do dataset

Código	Critério	Descrição	Tipo	Escala de avaliação
C1	Elementos Financeiros (Preço/Custo)	Inclui o preço do produto, custos de manutenção, transporte e outros fatores financeiros para seleção do fornecedor.	Quantitativo	Proporcional
C2	Cooperação no serviço	Avaliação da conformidade do fornecedor com termos e condições acordados.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom
C3	Serviço conforme	Qualidade do serviço oferecido pelo fornecedor.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom
C4	Flexibilidade	Capacidade do fornecedor de se adaptar a diferentes elementos como custos e prazos.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom

Código	Critério	Descrição	Tipo	Escala de avaliação
C5	Serviço pós-venda	Disponibilidade de garantias e serviços de assistência após a venda.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom
C6	Gestão de reclamações	Número de reclamações recebidas em relação ao fornecedor.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom
C7	Tempo de espera	Tempo necessário para entrega do produto.	Qualitativo	Ordinal: 0 – Muito fraco 40 – Fraco 60 – Moderado 80 – Bom 100 – Muito bom

4.1.1. Análise exploratória do *dataset*

A Tabela 31 apresenta a distribuição dos fornecedores por área de negócio, indicando tanto o número absoluto de fornecedores, como a respectiva percentagem face ao total da amostra. Esta informação permite compreender quais os setores com maior representatividade no processo de aquisição. Nesta tabela, foi também apresentada a tradução das áreas de negócio por uma questão de contextualização, no entanto, como o *dataset* tem origem em inglês, ao longo do documento estas são mencionadas na língua de origem.

Tabela 31 - Distribuição dos fornecedores por área de negócio

Business Area	Área de negócio	Nº de fornecedores	% de fornecedores
<i>Contractor</i>	Empreiteiro	110	23,31%
<i>Construction Installations</i>	Instalações de construção	64	13,56%
<i>Electrical Tools</i>	Ferramentas elétricas	41	8,69%
<i>HVAC Equipment</i>	Equipamentos HVAC	40	8,47%
<i>Electrical Equipments</i>	Equipamentos elétricos	30	6,36%
<i>Hydraulic and Pneumatic Equipments and systems</i>	Equipamentos e sistemas hidráulicos e pneumáticos	25	5,30%
<i>Cable</i>	Cabo	21	4,45%
<i>Petrochemical Products</i>	Produtos petroquímicos	17	3,60%
<i>Transportation</i>	Transporte	17	3,60%
<i>Battery</i>	Bateria	16	3,39%
<i>Network Equipments</i>	Equipamentos de rede	15	3,18%
<i>Automated Doors</i>	Portas automatizadas	13	2,75%
<i>Waterproofing</i>	Impermeabilização	13	2,75%
<i>Scaffolding Equipments</i>	Equipamentos de andaimes	12	2,54%
<i>Fire Safety Equipments</i>	Equipamentos de segurança contra incêndios	12	2,54%
<i>Cranes and Forklifts</i>	Gruas e empilhadores	8	1,69%
<i>Electrical Generators</i>	Geradores elétricos	7	1,48%
<i>Electrical Panells</i>	Painéis elétricos	7	1,48%
<i>Telecommunication Equipment and Towers</i>	Equipamentos de telecomunicações e torres	2	0,42%
<i>Lift and Elavator</i>	Elevador e escavadora	2	0,42%
Total Geral		472	100,00%

A Tabela apresenta a distribuição dos 472 fornecedores por área de negócio, expressa em valores absolutos e percentuais. A análise evidencia uma forte concentração setorial, sendo a categoria “*Contractor*” composta por 23,31% dos fornecedores, seguida de “*Construction Installations*” (13,56%), “*Electrical Tools*” (8,69%), “*HVAC Equipment*” (8,47%) e “*Electrical Equipments*” (6,36%).

Estas cinco categorias representam, no total, cerca de 60% do universo de fornecedores, reforçando a predominância de áreas ligadas à construção e equipamentos técnicos.

Em contraste, algumas áreas apresentam baixa representatividade, como “*Lift and Elevator*” e “*Telecommunication Equipment and Towers*”, ambas com apenas 0,42% do total, o que poderá indicar mercados mais especializados ou de menor prioridade para a organização.

Para complementar essa análise, foi construído um gráfico circular (Figura 16) que traduz visualmente a mesma distribuição. A utilização conjunta da tabela e do gráfico revela-se particularmente útil, uma vez que a tabela fornece rigor e exatidão na leitura dos dados, permitindo comparações diretas entre áreas, enquanto o gráfico promove uma percepção imediata da concentração e disparidade na distribuição dos fornecedores.

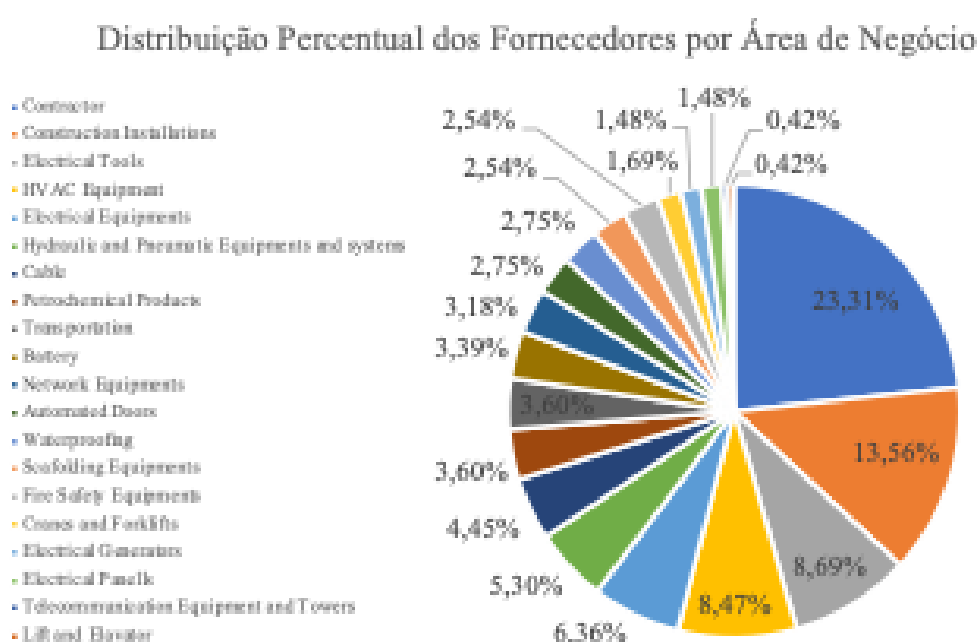


Figura 16 - Distribuição Percentual dos Fornecedores por Área de Negócio

Com o gráfico torna-se visível, por exemplo, que uma parte considerável dos fornecedores se encontra concentrada em poucas áreas, como *Contractor* (23,31%) e *Construction Installations* (13,56%), enquanto várias outras áreas representam menos de 3% cada, o que pode passar despercebido na leitura exclusivamente numérica. Esta abordagem gráfica permite, assim, uma comunicação mais eficaz dos padrões gerais da amostra.

4.1.2. Tratamento e análise de dados

De modo a permitir a execução da análise dos dados, foi realizado um processo de preparação e transformação no *Orange*, de forma a garantir uma base comparável e

coerente. O *dataset* original foi importado através do *widget File*, sendo posteriormente submetido a um conjunto de transformações lógicas e estatísticas, tal como na Figura 17.

Inicialmente, as variáveis “nome do fornecedor”, “código do fornecedor” e “número” foram removidas (*widget Select Column*), uma vez que a primeira é apresentada num idioma que não foi possível interpretar, o que inviabiliza a compreensão e não contribui diretamente para a análise. As restantes funcionam apenas como um indicador sem valor informativo para os objetivos.

No que diz respeito aos critérios de avaliação dos fornecedores, estes apresentavam valores em escala qualitativa ordinal (0, 40, 60, 80, 100). Com o intuito de facilitar a sua interpretação e a posterior aplicação dos métodos, estas variáveis foram convertidas em variáveis binárias, com uma designação relativa ao desempenho do fornecedor para cada um dos critérios, onde:

- Valores inferiores a 60 foram classificados como “Mau”;
- Valores iguais ou superiores a 60 foram classificados como "Bom".

Adicionalmente, a variável Custo (Cost/Price), por apresentar uma escala contínua com elevada variabilidade, foi normalizada entre 0 e 1 utilizando o *widget continueize*. Esta transformação assegura uma comparação justa entre o custo e os restantes critérios.

Através do *widget Select Rows*, foram ainda selecionadas apenas as cinco áreas de negócio com maior representatividade, uma vez que correspondem a valores com 30 ou mais observações.

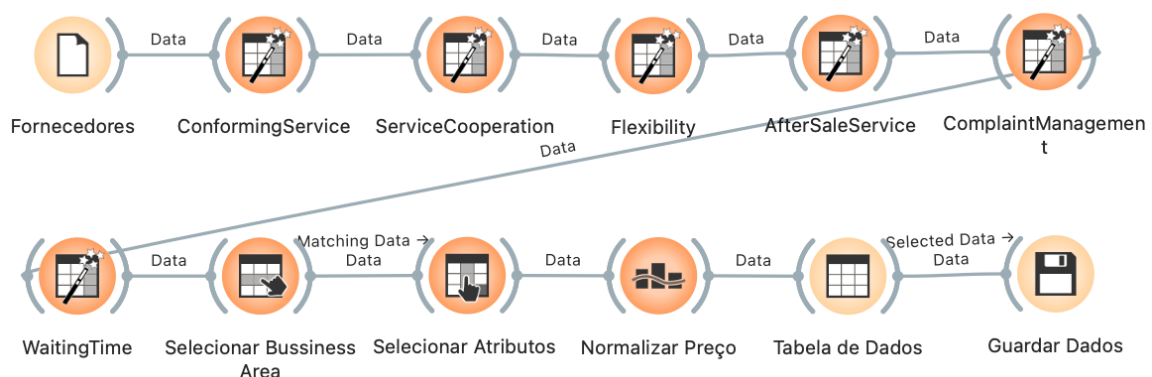


Figura 17 - Processo de tratamento de dados

Assim, com o conjunto de dados devidamente preparado, garantiu-se a integridade, consistência e relevância das variáveis a serem utilizadas nos modelos. Este processo é fundamental para assegurar que os modelos aplicados posteriormente operem sobre uma base de dados limpa e representativa, maximizando a fiabilidade dos resultados obtidos.

4.2. Aplicação dos modelos de Árvore de Decisão e *Random Forest*

A Figura 18 apresenta o fluxo geral utilizado para a aplicação dos modelos de classificação no *Orange*, nomeadamente a Árvore de Decisão (*Tree*) e a *Random Forest*. Para esta análise, cada um dos critérios de avaliação (C2, C3, C4, C5 e C6) foi, individualmente, definido como variável alvo (*target*), sendo os restantes utilizados como variáveis independentes. Este procedimento permitiu avaliar o desempenho de cada modelo na previsão de diferentes aspetos da avaliação dos fornecedores.

Os resultados obtidos variam consoante o critério escolhido como *target*, refletindo a complexidade e a variabilidade associadas a cada dimensão da avaliação. Através do widget *Test and Score* foi possível obter métricas como a Acurácia, AUC ou Precisão, enquanto os widgets *Tree Viewer*, *Pythagorean Forest* e *Confusion Matrix* forneceram uma visualização complementar da *performance* e da lógica subjacente a cada modelo, possibilitando a análise da estrutura hierárquica das árvores de decisão, da relevância das variáveis explicativas e da matriz de erros, contribuindo para uma melhor compreensão da lógica subjacente e do comportamento preditivo de cada modelo. Esta abordagem revelou-se útil para compreender a capacidade de classificação dos critérios considerados e identificar padrões relevantes no comportamento dos fornecedores.

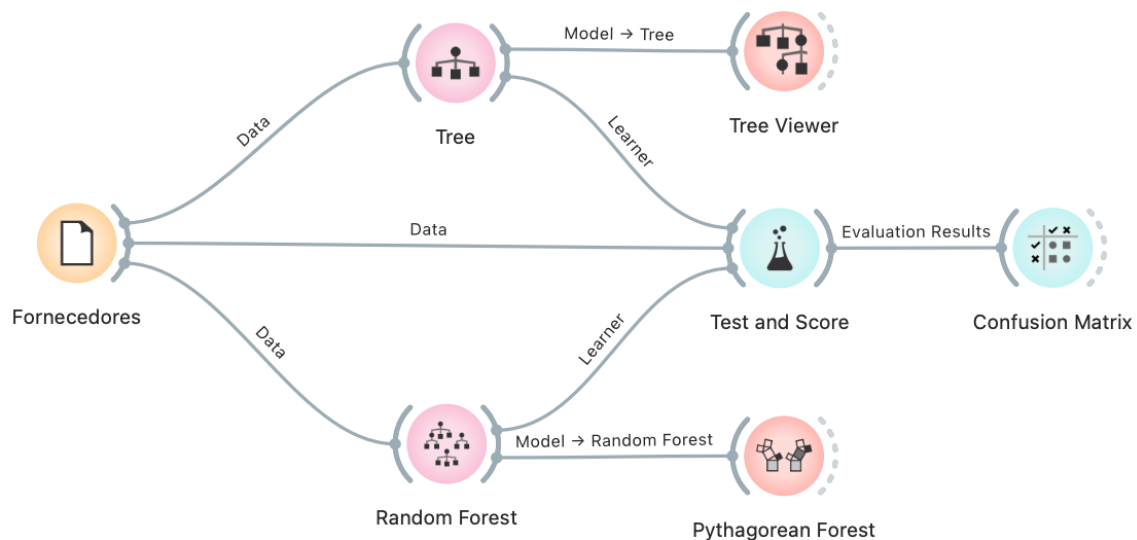


Figura 18 - Esquema de aplicação dos modelos de aprendizagem supervisionada no Orange

Esta estrutura do Orange permitiu organizar o fluxo de trabalho de forma clara, facilitando tanto a execução dos métodos como a interpretação dos resultados. Este processo evidencia a aplicabilidade de técnicas de *machine learning* no apoio à tomada de decisão, especialmente no contexto da seleção de fornecedores, onde a análise de múltiplos critérios é fundamental para garantir escolhas mais estratégicas e informadas. Para treinar os modelos foi utilizada a informação de 80% dos 285 fornecedores, tendo sido utilizados os restantes 20% para testar o modelo de classificação. Para garantir uma melhor generalização do modelo foram realizadas 20 repetições para cada variável alvo.

4.2.1. Análise dos modelos de Árvores de Decisão e *Random Forest*

Após a definição do fluxo de trabalho no Orange, foi elaborado um gráfico comparativo com os resultados obtidos através dos modelos de Árvores de Decisão e *Random Forest* para cada um dos critérios de avaliação dos fornecedores (Figura 19).

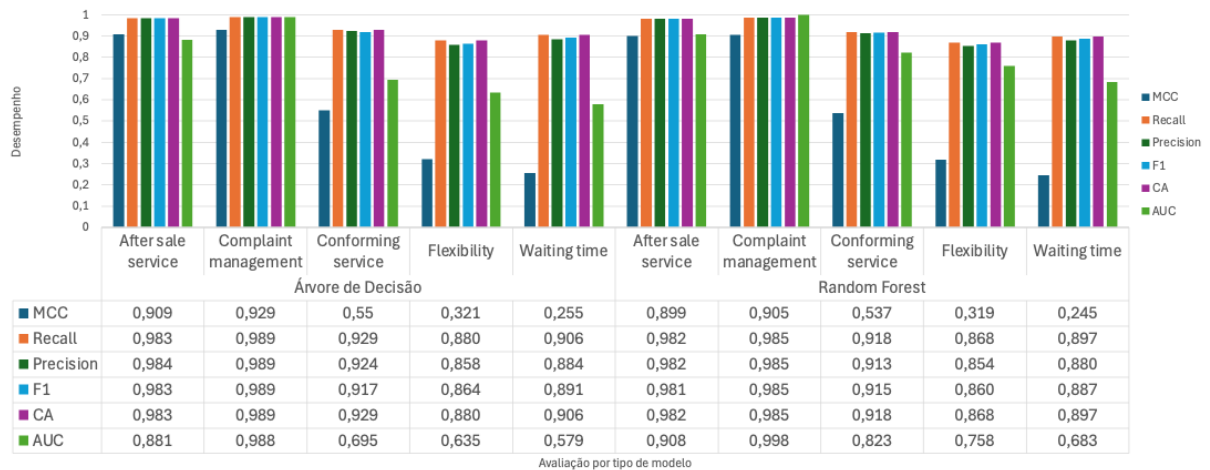


Figura 19 - Comparação do desempenho dos modelos de classificação aplicados aos critérios de avaliação dos fornecedores.

Este gráfico reúne as principais métricas de desempenho, como MCC, *Recall*, *Precision*, F1, CA e AUC, permitindo uma análise objetiva da eficácia de cada modelo em diferentes cenários. Através desta representação visual, torna-se mais fácil identificar qual o critério de avaliação que proporciona os melhores resultados de classificação, auxiliando assim na tomada de decisão quanto à escolha dos parâmetros mais relevantes e consistentes para avaliar o desempenho dos fornecedores. Esta abordagem reforça a importância de combinar técnicas de *machine learning* com uma análise criteriosa dos indicadores, garantindo decisões mais estratégicas e fundamentadas.

De modo a complementar a análise gráfica, a Tabela 32 apresenta as matrizes de confusão obtidas para cada critério de avaliação, permitindo uma observação detalhada dos acertos e erros na classificação dos modelos. Através desta estrutura, é possível identificar com maior precisão como cada modelo se comporta na distinção entre fornecedores bons e maus, evidenciando os verdadeiros positivos, falsos positivos, verdadeiros negativos e falsos negativos. O total de observações de teste correspondem a 20% da informação dos 285 fornecedores, replicada 20 vezes, ou seja 1140 ($285 \times 0,2 \times 20$).

Tabela 32 - Comparação das matrizes de confusão dos modelos *Decision Tree* e *Random Forest* aplicados a cada critério de avaliação.

Decision Tree					Random Forest				
Target: Conforming service									
Actual	Predicted				Actual	Predicted			
		Bom	Mau	Σ			Bom	Mau	Σ
	Bom	93.3 %	14.5 %	1020		Bom	94.7 %	37.5 %	1020
	Mau	6.7 %	85.5 %	120		Mau	5.3 %	62.5 %	120
	Σ	1036	104	1140		Σ	1036	104	1140
Target: Service cooperation									
Actual	Predicted				Actual	Predicted			
		Bom	Mau	Σ			Bom	Mau	Σ
	Bom	76.5 %	62.6 %	840		Bom	77.8 %	58.5 %	840
	Mau	23.5 %	37.4 %	300		Mau	22.2 %	41.5 %	300
	Σ	913	227	1140		Σ	899	241	1140
Target: Flexibility									
Actual	Predicted				Actual	Predicted			
		Bom	Mau	Σ			Bom	Mau	Σ
	Bom	90.5 %	48.0 %	1000		Bom	91.1 %	55.1 %	1000
	Mau	9.5 %	52.0 %	140		Mau	8.9 %	44.9 %	140
	Σ	1065	75	1140		Σ	1033	107	1140
Target: After sale service									
Actual	Predicted				Actual	Predicted			
		Bom	Mau	Σ			Bom	Mau	Σ
	Bom	98.2 %	0.0 %	1020		Bom	98.2 %	1.9 %	1020
	Mau	1.8 %	100.0 %	120		Mau	1.8 %	98.1 %	120
	Σ	1039	101	1140		Σ	1037	103	1140
Target: Complaint management									
Actual	Predicted				Actual	Predicted			
		Bom	Mau	Σ			Bom	Mau	Σ
	Bom	99.4 %	6.9 %	1040		Bom	98.9 %	6.3 %	1040
	Mau	0.6 %	93.1 %	100		Mau	1.1 %	93.7 %	100
	Σ	1039	101	1140		Σ	1045	95	1140

Decision Tree					Random Forest																																				
Target: Waiting time																																									
<div>Predicted</div> <table><tr><td></td><td>Bom</td><td>Mau</td><td>Σ</td></tr><tr><td>Bom</td><td>92.8 %</td><td>57.1 %</td><td>1040</td></tr><tr><td>Mau</td><td>7.2 %</td><td>42.9 %</td><td>100</td></tr><tr><td>Σ</td><td>1091</td><td>49</td><td>1140</td></tr></table>						Bom	Mau	Σ	Bom	92.8 %	57.1 %	1040	Mau	7.2 %	42.9 %	100	Σ	1091	49	1140	<div>Predicted</div> <table><tr><td></td><td>Bom</td><td>Mau</td><td>Σ</td></tr><tr><td>Bom</td><td>92.9 %</td><td>63.1 %</td><td>1040</td></tr><tr><td>Mau</td><td>7.1 %</td><td>36.9 %</td><td>100</td></tr><tr><td>Σ</td><td>1075</td><td>65</td><td>1140</td></tr></table>						Bom	Mau	Σ	Bom	92.9 %	63.1 %	1040	Mau	7.1 %	36.9 %	100	Σ	1075	65	1140
	Bom	Mau	Σ																																						
Bom	92.8 %	57.1 %	1040																																						
Mau	7.2 %	42.9 %	100																																						
Σ	1091	49	1140																																						
	Bom	Mau	Σ																																						
Bom	92.9 %	63.1 %	1040																																						
Mau	7.1 %	36.9 %	100																																						
Σ	1075	65	1140																																						

A análise das matrizes de confusão permite avaliar o desempenho dos modelos de classificação (*Árvore de Decisão* e *Random Forest*) na previsão da qualidade dos fornecedores com base nos diferentes critérios definidos.

No critério *Conforming Service*, a *Árvore de Decisão* obteve um desempenho satisfatório, com 93,3% dos fornecedores bons corretamente classificados (TP) e 85,5% dos maus fornecedores também corretamente identificados como maus (TN). No entanto, o modelo cometeu alguns erros de classificação: 6,7% dos maus foram classificados como bons (FP) e 14,5% dos bons foram classificados como maus (FN). O *Random Forest* teve uma ligeira melhoria nos TP (94,7%), mas registou uma descida na taxa de TN (62,5%), o que evidencia maior dificuldade na identificação correta de fornecedores maus.

Em relação ao critério *Service Cooperation*, a *Árvore de Decisão* apresentou uma taxa de 76,5% de acerto na classificação de fornecedores bons (TP), mas apenas 37,4% dos fornecedores maus foram corretamente classificados (TN). Isto indica uma elevada taxa de falsos negativos (62,6%). O *Random Forest* apresenta resultados ligeiramente melhores, atingindo 77,8% de TP e 41,5% de TN, reduzindo assim os erros, mas mantendo um desempenho relativamente fraco na identificação dos fornecedores maus.

No critério *Flexibility*, ambos os modelos apresentaram uma boa capacidade de identificar fornecedores bons (TP de 90,5% na *Árvore de Decisão* e 91,1% no *Random Forest*), mas revelaram menor eficácia na identificação dos maus (TN de 52,0% e 44,9%, respetivamente), o que indica uma quantidade considerável de falsos negativos.

O critério *After Sale Service* foi aquele em que os modelos demonstraram melhor desempenho. A *Árvore de Decisão* classificou corretamente 98,2% dos fornecedores bons (TP) e 100% dos maus (TN), sem qualquer erro de falsos negativos. O *Random Forest*

manteve a taxa de TP (98,2%) e apresentou uma ligeira descida na TN para 98,1%, ainda assim com excelente precisão.

Relativamente ao critério *Complaint Management*, ambos os modelos atingiram desempenhos muito elevados. A Árvore de Decisão identificou corretamente 99,4% dos fornecedores bons (TP) e 93,1% dos maus (TN), apresentando erros mínimos. O *Random Forest* mostrou resultados semelhantes, com 98,9% de TP e 93,7% de TN, revelando-se igualmente robusto.

Por fim, no critério *Waiting Time*, verificou-se um bom desempenho na identificação de fornecedores bons (TP de 92,8% na Árvore de Decisão e 92,9% no *Random Forest*), mas uma fraca capacidade de detetar fornecedores maus, com taxas de TN de apenas 42,9% e 36,9%, respetivamente. Esta limitação resultou numa elevada taxa de falsos negativos, o que pode comprometer a fiabilidade das classificações neste critério específico.

Embora a análise das métricas apresentadas no gráfico da Figura 19 destaque o critério *Complaint Management* como aquele com melhor desempenho global nos modelos aplicados, a observação mais detalhada das matrizes de confusão revela que é o critério “*After Sale Service*” que apresenta os melhores resultados ao nível da classificação, com taxas de acerto muito elevadas e baixo número de erros. Com base nesta análise, optou-se por aprofundar os modelos relativos a estes dois critérios, apresentando as representações gráficas da árvore de decisão e do modelo *Random Forest*, de forma a ilustrar mais claramente o comportamento dos modelos nestes contextos.

A Figura 20 apresenta a árvore de decisão relativa ao critério “*Complaint management*”.

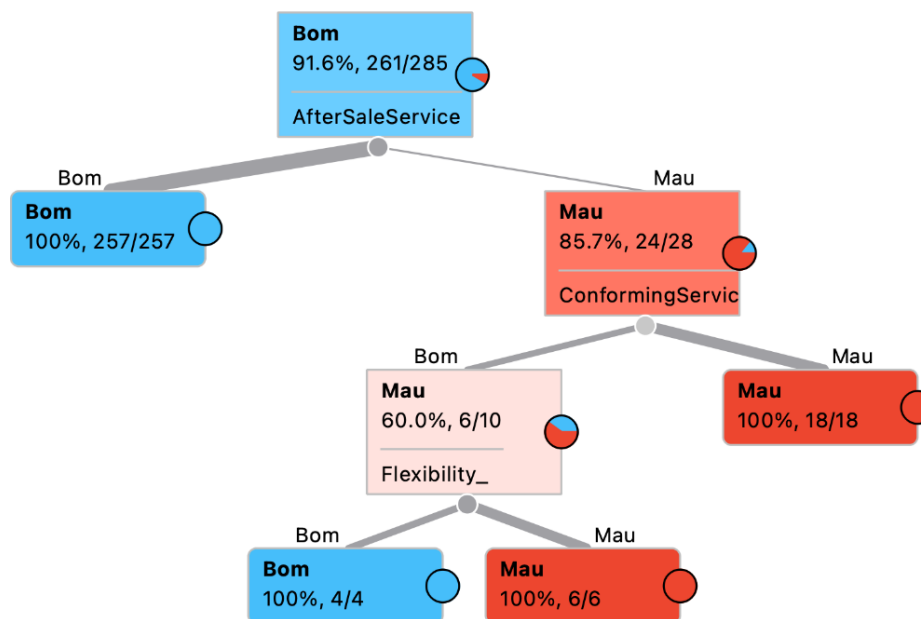


Figura 20 - Árvore de decisão gerada para o critério “Complaint management”

Analisando a árvore de decisão, verifica-se que para o critério “*Complaint Management*”, definido como variável de destino (*target*), o modelo teve como objetivo prever se os fornecedores das áreas de negócio em análise deveriam ser classificados como bons ou maus, com base nos restantes critérios de avaliação.

A estrutura da árvore inicia-se com um *root node* (nó raiz), correspondente aos fornecedores classificados como bons no critério “*Complaint management*”, através do qual se avalia o desempenho dos mesmos, segundo o critério “*After Sale Service*”. Esta divisão inicial separa os fornecedores com bom desempenho neste critério daqueles com desempenho considerado mau, levando à criação de um *decision node* (nó de decisão) e um *leaf node* (nó folha). Assim, fornecedores com bom desempenho em “*Complaint management*” e “*After sale service*” são considerados bons fornecedores.

Do lado dos fornecedores com mau desempenho no primeiro critério, a árvore prossegue com uma nova divisão com base no critério “*Conforming Service*”. Quando a previsão é “Bom” em “*Conforming Service*”, a próxima divisão ocorre com base no critério “*Flexibility*”. Finalmente, os ramos terminam em nós folha, onde 4 fornecedores foram classificados como bons e 6 foram classificados como maus.

Esta análise detalhada dos caminhos percorridos pelo modelo mostra o modo como diferentes critérios interagem na decisão final, permitindo uma interpretação transparente

e fundamentada sobre os fatores que mais influenciam a classificação dos fornecedores como bons ou maus.

A Figura 21 apresenta 10 árvores de decisão, que compõe o modelo *Random forest*, para o mesmo critério em análise.

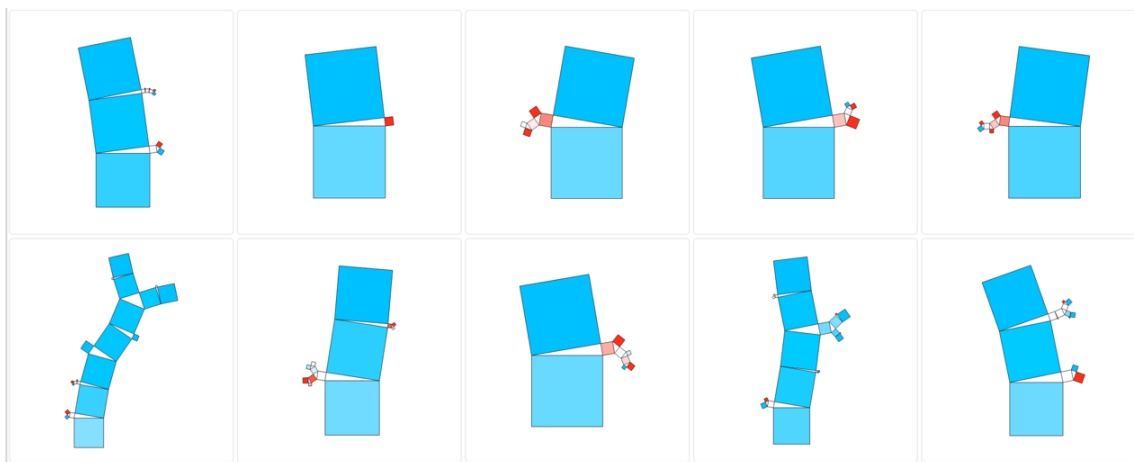


Figura 21 - Árvores geradas para o modelo de Random Forest para o critério “Complaint management”

Através deste modelo, verifica-se que no geral as árvores atribuem classificações de “Bom” aos fornecedores com elevada confiança, tendo em conta a tonalidade mais escura da cor azul. Cada uma das árvores toma decisões com base em subconjuntos distintos de dados e combinações aleatórias de variáveis, o que aumenta a diversidade do modelo e a sua capacidade de generalização. Algumas árvores apresentam ramos com coloração vermelha, referentes aos fornecedores classificados como maus, demonstrando sensibilidade à identificação de casos com pior desempenho. Esta diversidade estrutural e de decisões individuais é o que garante a robustez do modelo, que se baseia na votação entre múltiplas árvores para chegar à classificação final.

Com base na análise das matrizes de confusão, o critério “*After Sale Service*” revelou-se o mais eficaz em termos de desempenho. Assim, a Figura 22 apresenta a árvore de decisão correspondente, considerando este critério como variável *target*.

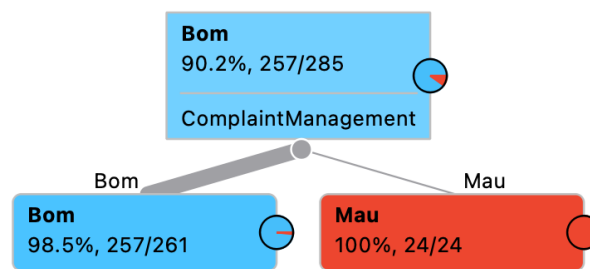


Figura 22 - Árvore de decisão gerada para o critério "After sale service"

Esta árvore apresenta uma estrutura simples, composta por um único nó de decisão e dois nós folha, demonstrando a elevada eficácia do modelo na classificação dos fornecedores com base neste critério. No nó raiz, observa-se que 90,2% dos fornecedores (257 em 285) foram classificados como “Bom” quanto ao critério “After Sale Service”. A partir deste ponto, a árvore divide-se em dois ramos, considerando o desempenho quanto ao critério “*Complaint management*”: à esquerda, encontram-se os fornecedores classificados como “Bom” e à direita, surgem os fornecedores categorizados como “Mau”, sendo que grande parte dos fornecedores são classificados como bons. A ausência de ramificações adicionais indica que o critério “*Complaint Management*”, utilizado como variável de decisão, foi suficiente para distinguir com elevada precisão os fornecedores, tornando desnecessária a inclusão de outros atributos na construção da árvore. Esta simplicidade estrutural aliada à elevada taxa de acerto evidencia a relevância deste critério na avaliação do desempenho dos fornecedores.

A Figura 23 ilustra as diferentes árvores que compõem a floresta gerada para o critério “*After Sale Service*”, permitindo uma visão mais abrangente do processo de decisão do modelo.

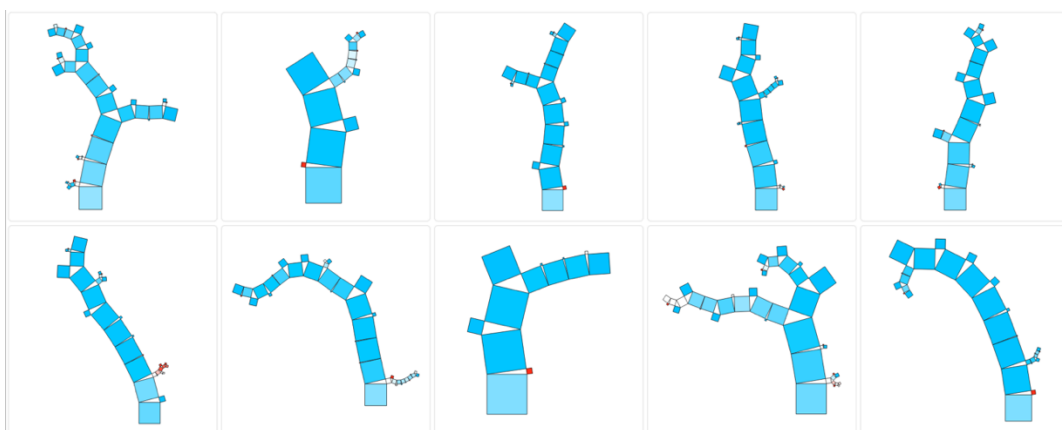


Figura 23 - Árvores geradas para o modelo de Random Forest para o critério “After sale service”

Visualmente, cada árvore representa uma trajetória distinta de decisão, refletindo a variabilidade introduzida no processo de treino para aumentar a robustez do modelo. Apesar das diferenças estruturais entre as árvores, a maioria apresenta uma consistência notável na predominância da classe “Bom” nos nós terminais, representada pelas áreas em azul. Este padrão visual sugere que, para este critério, o modelo tem uma forte tendência para classificar corretamente os fornecedores como bons, o que está alinhado com os resultados observados na matriz de confusão, onde a taxa de acerto foi elevada.

4.2.2. Análise Crítica dos resultados

A avaliação da eficácia dos modelos supervisionados, nomeadamente Árvores de Decisão e *Random Forest*, revela uma dualidade relevante no seu poder de classificação. Embora os modelos tenham demonstrado uma elevada competência na classificação de fornecedores para os critérios de “*After Sale Service*” e “*Complaint Management*”, o que valida a aplicação destas ferramentas no apoio à decisão para estas dimensões específicas, é necessário reconhecer o significativo desbalanceamento do *dataset* analisado. Este apresentava um número de observações classificadas como boas substancialmente superior às classificadas como más. Este enviesamento representa um desafio notável, pois tende a prejudicar a capacidade de classificação dos algoritmos de *machine learning* na classificação precisa.

Contudo, dada a dificuldade intrínseca em obter *datasets* de seleção de fornecedores com as variáveis necessárias para a aplicação de modelos de classificação, este foi o único conjunto de dados disponível para o estudo. Desta forma, optou-se por utilizar o *dataset* desbalanceado para estabelecer uma prova de conceito. A sua aplicação permitiu a validação da abordagem proposta, demonstrando a viabilidade técnica da integração de técnicas de aprendizagem supervisionada no processo de avaliação e classificação de fornecedores. Esta não só forneceu *insights* valiosos sobre o desempenho dos diferentes algoritmos em condições reais de negócio, como também serviu de base para a discussão de técnicas de classificação de fornecedores.

5. Conclusões e Trabalho Futuro

Esta investigação permitiu demonstrar a relevância da aplicação de métodos analíticos no contexto da seleção de fornecedores.

Com base na análise dos casos de estudo revistos, é evidente que os MCDM têm vindo a assumir um papel importante na seleção de fornecedores em diversos setores industriais. Desde a indústria têxtil até à tecnológica, passando por setores como a energia, climatização, agroalimentar e metalomecânica, os MCDM revelaram-se ferramentas eficazes na tomada de decisões complexas, ao permitir integrar múltiplos critérios de forma estruturada e transparente. Ao adotar métodos, como o AHP e o ELECTRE I as organizações não só otimizam os processos de seleção de fornecedores, como também garantem maior alinhamento com os objetivos estratégicos, promovendo decisões sustentáveis, eficientes e adaptáveis aos desafios da indústria. Os estudos que utilizaram lógica difusa ou integração com algoritmos de otimização, demonstram a importância da utilização de modelos robustos, especialmente em contextos de incerteza.

Através da combinação de abordagens multicritério e modelos de aprendizagem supervisionada, foi possível avaliar de forma mais objetiva e informada o desempenho dos fornecedores. A adaptação do AHP ao ELECTRE I forneceu um grafo de dominância mais robusto e coerente, ajustado às preferências dos decisores. Embora ambos conduzam, neste caso, ao mesmo resultado no que diz respeito ao fornecedor a selecionar, a escolha entre um e outro método depende de diversos fatores, como o grau de incerteza, a sensibilidade aos pesos, o grau de complexidade do problema, a clareza dos objetivos e a estabilidade das preferências envolvidas.

Já a aplicação de modelos supervisionados, como Árvores de Decisão e *Random Forest*, demonstrou ser uma mais-valia para prever o desempenho dos fornecedores, evidenciando elevado poder de previsão, reforçado pelas métricas de avaliação e pelas matrizes de confusão. Verificou-se que, para os critérios “*After Sale Service*” e “*Complaint Management*”, ambos os modelos conseguiram classificar os fornecedores com elevada qualidade, sendo, por isso, úteis no apoio à tomada de decisão, no processo de seleção de fornecedores. No entanto, para os restantes critérios, a qualidade da previsão foi inferior, o

que demonstra a necessidade de dados mais robustos ou uma reformulação da estrutura das variáveis.

A integração destas técnicas mostrou-se eficaz para apoiar o processo de *procurement*, permitindo não só a seleção de fornecedores com base em dados históricos, mas também a previsão do seu desempenho futuro.

Como trabalho futuro, recomenda-se a aplicação desta metodologia a diferentes contextos organizacionais.

Adicionalmente, recomenda-se a utilização de um *dataset* mais robusto e equilibrado, uma vez que o conjunto de dados utilizado nesta investigação apresentou um desbalanceamento considerável, mesmo após tentativas de balanceamento e repetição do processo de treino/teste. A exploração de novas variáveis ou classificações mais refinadas poderá ser igualmente pertinente, por exemplo, transformando a classificação binária atual (“bom/mau”) numa escala mais detalhada, como “bom/mediano/mau”, permitindo aos modelos distinguir com maior precisão os diferentes níveis de desempenho dos fornecedores.

Por fim, sugere-se a integração dos métodos de decisão multicritério com os modelos de aprendizagem supervisionada, aplicando ambos de forma combinada ao mesmo conjunto de dados. Esta abordagem híbrida poderá permitir validar e reforçar os *rankings* obtidos pelos MCDM com base nas previsões geradas pelos modelos de *machine learning*, potenciando uma análise mais completa e precisa do desempenho dos fornecedores. Esta integração pode ainda abrir caminho à construção de sistemas de apoio à decisão mais robustos, dinâmicos e ajustados à realidade empresarial, otimizando os processos de compras.

Referências bibliográficas

- Agarwal, P., Sahai, M., Mishra, V., Bag, M., & Singh, V. (2011). A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2(4), 801–810. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.06.004>
- Ayhan, M. B. (2013). A Fuzzy Ahp Approach For Supplier Selection Problem: A Case Study In A Gearmotor Company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 4(3), 11–23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Banaeian, N., Mobli, H., Fahimnia, B., Nielsen, I. E., & Omid, M. (2018). Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. *Computers & Operations Research*, 89, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.015>
- Benton, W. C. (2020). *Purchasing and Supply Chain Management* (fourth).
- Birgun, S., & Cihan, E. (2010). Supplier selection process using ELECTRE method. 2010 *IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, 634–639. <https://doi.org/10.1109/ISKE.2010.5680767>
- Caniëls, M. C. J., & Gelderman, C. J. (2005). Purchasing strategies in the Kraljic matrix—A power and dependence perspective. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 11(2–3), 141–155. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2005.10.004>
- Conciatori, M., Valletta, A., & Segalini, A. (2024). Improving the quality evaluation process of machine learning algorithms applied to landslide time series analysis. *Computers & Geosciences*, 184, 105531. <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2024.105531>
- Curk, T., Možina, M., Demšar, J., Erjavec, A., Hočevár, T., Milutinović, M., Toplak, M., Umek, L., Zbontar, J., & Zupan, B. (2013). Orange: Data Mining Toolbox in Python. In *Journal of Machine Learning Research* (Vol. 14). <https://www.researchgate.net/publication/285018297>

- Duarte, B. M., & Sousa, S. D. (2020). Supplier pre-qualification method for the Portuguese construction industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 1703–1708. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.237>
- Emma, L. (2025). *Supervised vs. Unsupervised Learning: Key Differences and Use Cases*. <https://www.researchgate.net/publication/390542675>
- Ghosh, T., Chakraborty, T., & Dan, P. K. (2012). An effective AHP-based metaheuristic approach to solve supplier selection problem. *International Journal of Procurement Management*, 5(2), 140. <https://doi.org/10.1504/IJPM.2012.045647>
- Gonçalves, A. T. P., Araújo, M. V. P. de, Mól, A. L. R., & Rocha, F. A. F. da. (2021). Application of the ELECTRE TRI method for supplier classification in supply chains. *Pesquisa Operacional*, 41. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2021.041.00229708>
- Guedes, A., Arantes, A., Martins, A., Póvoa, A., Luís, C., Dias, E., Dias, J., Menezes, J., Carvalho, J., Ferreira, L., Carvalho, M., Oliveira, R., Azevedo, S., & Ramos, T. (2020). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (M. Robalo, Ed.; 3rd ed.). Sílabo.
- Haldar, A., Banerjee, D., Ray, A., & Ghosh, S. (2012). An Integrated Approach for Supplier Selection. *Procedia Engineering*, 38, 2087–2102. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.06.251>
- Harbell, J. W., Ulrey, A., & Curren, R. (2007). *The importance of supplier qualification for vendors of materials used in in vitro assays*. <https://www.researchgate.net/publication/237112797>
- Hillier, F. S. , author., Frederick S. Hillier, S. U. G. J. L. L. of S. University., & Lieberman, G. J. , author. (2010). *Introduction to operations research* (D. Hash, Ed.; ninth). McGraw-Hill Higher Education.
- Lu, H., Jiang, S., Song, W., & Ming, X. (2018). A Rough Multi-Criteria Decision-Making Approach for Sustainable Supplier Selection under Vague Environment. *Sustainability*, 10(8), 2622. <https://doi.org/10.3390/su10082622>
- Nuraini. (2023). Analysis of decision support using Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) method in determining best candidate for Programmer position.

- Osman, M. R., Yusuff, R. M., Ali, A., & Tahriri, F. (2008). A review of supplier selection methods in manufacturing industries. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 15(3), 201–208. <https://www.researchgate.net/publication/242282372>
- Pieters, R., Glöckner, H.-H., & De Rooij, W. (2005). Importance of the Kraljic matrix as a strategic tool for modern purchasing. *LogForum*, 1(1). <http://www.logforum.net>
- Purzer, Ş., Goldstein, M. H., Adams, R. S., Xie, C., & Nourian, S. (2015). An exploratory study of informed engineering design behaviors associated with scientific explanations. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0019-7>
- Ramos, B., Silva, J., Vila-Chã, A., Azevedo, H., Ramos, J., & Ferreira, A. C. (2024). Influence of Demand on Supplier Selection Using the Analytic Hierarchy Process: A Case Study Validation in the Textile Industry. *Business Systems Research Journal*, 15(1), 178–200. <https://doi.org/10.2478/bsrj-2024-0009>
- Roy, B. (1968). *Classement et choix en présence de points de vue multiples* (Vol. 1, pp. 57–75). <http://www.numdam.org/conditions>
- Samson, A., & Voyer, B. G. (2014). Emergency purchasing situations: Implications for consumer decision-making. *Journal of Economic Psychology*, 44, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2014.05.004>
- Saptari, A., Supratman, Sutedjo Permatasari, N., & Mohamad, E. (2021). Supplier Selection Using The Analytical Hierarchy Process Method. *Malaysian Journal of Consumer and Family Economics*, 27. <https://www.researchgate.net/publication/355022341>
- Schulz, M., Neuhaus, U., Kaufmann, J., Badura, D., Kuehnel, S., Badewitz, W., Dann, D., Kloker, S., Alekozai, E. M., & Lanquillon, C. (2020). *Introducing DASC-PM: A Data Science Process Model*. <https://doi.org/10.25673/92266>
- Shenoy, D. U., Sharma, V., & H C, S. P. (2020). Strategic Evaluation in Optimizing the internal Supply Chain using TOPSIS: Evidence in a coil-winding machine

- manufacturer. *Acta Mechanica Malaysia*, 3(1), 01–04.
<https://doi.org/10.26480/amm.01.2020.01.04>
- Silva, Â., Azevedo, L., Ribeiro, A., Ramos, B., & Ferreira, A. (2023). Procurement Operations: An empirical study about the reality of Portuguese SMEs. *ICOTEM 2023 – International Conference on Technology Management and Operations*, 278–290.
<https://doi.org/10.34628/2YEB-KF70>
- Sitti Rahmah Jabir, Huzain Azis, & St. Hajrah Mansyur. (2024). Enhancing The Quality of College Decisions Through Decision Tree and Random Forest Models. *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, 13–18.
<https://doi.org/10.59562/jessi.v5i1.1225>
- Smith, C., & Fatorachian, H. (2023). COVID-19 and Supply Chain Disruption Management: A Behavioural Economics Perspective and Future Research Direction. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 18(4), 2163–2187. <https://doi.org/10.3390/jtaer18040109>
- Tahriri, F., Osman, M. R., Ali, A., Yusuff, R. M., & Esfandiary, A. (2008). AHP approach for supplier evaluation and selection in a steel manufacturing company. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 1(2).
<https://doi.org/10.3926/jiem.2008.v1in2.p54-76>
- Thi Anh Van, N., Khac Hieu, N., & Uyen Le, T. (2024). Evaluating and Selecting Suppliers Using the AHP Method: Case Study at a Software Company. *International Conference on Green Technology and Sustainable Development*.
<https://www.researchgate.net/publication/388953258>
- Viana, J. C., & Alencar, L. H. (2012). Metodologias para seleção de fornecedores: uma revisão da literatura. *Production*, 22(4), 625–636. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000067>
- Wang, C., Liu, C., Tang, F., Liu, D., & Zhou, Y. (2020). A scenario-based analytical method for probabilistic load flow analysis. *Electric Power Systems Research*, 181.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106193>

- Wang, C.-N., Tsai, H.-T., Ho, T.-P., Nguyen, V.-T., & Huang, Y.-F. (2020). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Model for Supplier Evaluation and Selection for Oil Production Projects in Vietnam. *Processes*, 8(2), 134. <https://doi.org/10.3390/pr8020134>
- White, B. E., Gandhi, S. J., Gorod, A., Ireland, V., & Sauser, B. (2013). On the importance and value of case studies. *2013 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, 114–122. <https://doi.org/10.1109/SysCon.2013.6549868>
- Zhao, Y., Li, G., Li, S., Luo, Y., & Bai, Y. (2024). A Review on the Optimization of Irrigation Schedules for Farmlands Based on a Simulation–Optimization Model. *Water*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/w16172545>