



Análise Sistemática da Produção de Engradados na Indústria de Motores Elétricos e Drives Uma Abordagem Multicritério Mediante o Método SAPEVO-M

CARLOS EDUARDO LOTERIO MATOS

julho de 2024

**Análise Sistemática da Produção de Engradados na
Indústria de Motores Elétricos e Drives: Uma
Abordagem Multicritério Mediante o Método
SAPEVO-M**

Carlos Eduardo Loterio Matos

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: Maria Teresa Ribeiro Pereira

Júri:

Presidente:

Marisa João Guerra Pereira, professora adjunta do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Vogais:

Carlos Francisco Simões Gomes, professor convidado da Universidade Federal Fluminense.

Maria Teresa Ribeiro Pereira, professora adjunta do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Porto, julho de 2024.

Dedico este trabalho a todos aqueles que torcem pelo meu sucesso.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a todos que passaram ao longo da minha trajetória e me influenciaram para que eu chegasse até aqui. Mas de forma direcionada, gostaria de citar algumas pessoas e entidades que estiveram comigo durante esta etapa.

À meu pai, que sempre foi minha inspiração no trabalho e na vida pessoal. O principal incentivador em meus estudos e minha carreira profissional.

À minha mãe, que dedicou seu tempo para me formar como pessoa, e quem sempre me apoiou em minhas decisões.

À meu irmão, quem é meu maior companheiro, que esteve sempre disponível para me ajudar e com quem divido boas conversas.

Ao IFSC pela oportunidade de estar realizando este intercâmbio para a realização do mestrado, e a toda a equipe de docentes que foram fundamentais para o meu desenvolvimento como engenheiro mecânico e acadêmico.

Ao ISEP por ter me recebido para a realização do mestrado.

À WEG por ter me recebido para a realização do meu estágio, onde me deram completa liberdade para realizar meu estudo da melhor forma possível e a todos os colegas de trabalho que fiz ao longo do estágio.

Ao doutorando Miguel Ângelo Lellis Moreira que atuou ativamente ao longo da tese, encorajando e auxiliando no desenvolvimento do meu trabalho. Agradeço todo o tempo disponibilizado para retirada de dúvidas e apoio no meu desenvolvimento pessoal.

À doutora Maria Teresa Ribeiro Pereira pela orientação ao longo dos estudos e as detalhadas correções deste trabalho.

À professora Msc. Nathalia Madalena Boelter, por sua disponibilidade, que me auxiliou durante todo o processo para a realização do intercâmbio, incentivando e dando valiosos conselhos.

Ao meu supervisor de estágio João Pedro Caseiro Bizot, que me deu a oportunidade de realizar o estágio e disponibilizou seu tempo para o acompanhamento do estudo.

À analista Ana Isabel Moreira Barbosa Coelho, que me deu apoio ao longo da realização do meu estágio, fornecendo ideias e críticas que auxiliaram no desenvolvimento.

Ao Guilherme Andrade, que se disponibilizou a levar meu currículo para WEG e fez ser possível a oportunidade de estágio.

Aos meus amigos do Brasil que mesmo distantes, continuaram me dando apoio e dividindo bons momentos de conversa.

Aos amigos que fiz ao longo do intercâmbio, os quais tornaram o processo agradável e com quem pude dividir boas reflexões e momentos de alegria.

Preguiçosos não alcançam honrados triunfos nem vitória alguma, nem podem ser felizes os que, não desafiando a sorte, entregam desválidos ao ócio manso todos os sentidos.
(Miguel de Cervantes)

Resumo

A competitividade do mercado impulsiona a indústria de fabricação de motores elétricos a otimizar os seus processos, incluindo a embalagem dos produtos, dado o atual cenário globalizado. Grandes indústrias tendem a internalizar processos para agregar valor ao longo da cadeia de produção e reduzir a dependência de fornecedores. Avaliar essas alternativas de internalização é crucial para uma tomada de decisão informada, sendo fundamental compreender as diversas perspectivas, lacunas de informação e vieses que podem influenciar uma decisão de forma inadequada. Um modelo de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) foi desenvolvido usando o método SAPEVO-M, que implementa uma metodologia AMD para grupos. Este método permite a definição lógica e estruturada de alternativas e critérios, assim como a agregação das valorações de cada alternativa em cada critério, resultando na seleção e ordenação das mesmas. Foram utilizados sete critérios e quatro alternativas para a avaliação das alternativas. Adicionalmente, uma análise de sensibilidade foi conduzida para compreender a robustez da decisão e avaliar o comportamento das alternativas diante de diferentes variações nas ponderações dos critérios. Por fim, é possível definir a melhor alternativa plausível no contexto em que a empresa está inserida, guiada por critérios lógicos e definidos. Através de uma abordagem axiomática, este modelo permite a ponderação das opiniões de múltiplos decisores, compreendendo suas preferências e estabelecendo um ranking entre as alternativas face aos critérios definidos como relevantes, possibilitando uma avaliação abrangente, com dados qualitativos, levando em consideração a subjetividade inerente à decisão.

Palavras-chave: Multicritério, SAPEVO-M, Engradado, Internalização

Abstract

Market competitiveness is driving the electric motor manufacturing industry to optimize its processes, including product packaging, in the current globalized scenario. Large industries tend to internalize processes to add value along the production chain and reduce dependence on suppliers. Evaluating these internalization scenarios is critical for informed decision making, and it is essential to understand the different perspectives, information gaps, and biases that can unduly influence a decision. A multicriteria decision support (AMD) model was developed using the SAPEVO-M method, which implements an AMD methodology for groups. This method allows the logical and structured definition of alternatives and criteria, as well as the aggregation of the scores of each alternative in each criterion, resulting in their selection and ranking. Seven criteria and four alternatives were used to evaluate the scenarios. In addition, a sensitivity analysis was performed to understand the robustness of the decision and to assess the behavior of the alternatives in the face of different variations in the weighting of the criteria. Finally, it is possible to define the best plausible alternative in the context of the company, guided by logical and defined criteria. Through an axiomatic approach, this model makes it possible to weight the opinions of several decision makers, to understand their preferences and to establish a ranking between the alternatives in relation to the criteria defined as relevant, allowing a comprehensive evaluation with qualitative data, taking into account the subjectivity inherent in the decision.

KEYWORDS: Multicriterial, SAPEVO-M, Packaging, Insourcing

Índice

Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas.....	xvii
Acrónimos e Símbolos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e contextualização	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Objetivos específicos.....	2
1.4. Metodologia	2
1.5. Estrutura da tese	3
2. Enquadramento-Revisão de literatura.....	5
2.1. Indústria de componentes elétricos	5
2.1.1. Motores elétricos de indução	5
2.1.2. Drives	6
2.1.3. Fabrico de engradados e paletes de madeira	7
2.2. Teoria da decisão	10
2.3. Investigação operacional.....	11
2.4. Apoio à Decisão Multicritério.....	12
2.4.1. Critérios na tomada de decisão	14
2.4.2. Métodos AMD.....	15
2.4.3. SAPEVO-M.....	17
2.4.4. Estrutura Axiomática do Método SAPEVO-M.....	19
2.4.5. Estado da arte	24
3. Caso de Estudo.....	27
3.1. Enquadramento da empresa.....	27
3.1.1. Mercado	28
3.1.2. Estrutura organizacional	29
3.2. Enquadramento do processo	29
3.2.1. Embalagens de motores	30
3.2.2. Estratificação de dados.....	32
3.3. Idealização de alternativas.....	33
3.3.1. Cenário 01: Manter o processo atual	34
3.3.2. Cenário 02: Troca fornecedores	35
3.3.3. Cenário 03: Internalizar linha de montagem	36
3.3.4. Cenário 04: Internalizar serraria e linha de montagem	38
3.4. Implementação do Método SAPEVO-M.....	40

3.4.1. Seleção de critérios	41
3.4.2. Caracterização dos decisores.....	42
3.4.3. Seleção do método	43
3.4.4. Método de aplicação	44
3.4.5. Resultados Numéricos	45
3.4.6. Análise de sensibilidade.....	64
4. Resultados e discussão	69
4.1. Análise de resultados	69
5. Conclusão	73
5.1. Conclusão do trabalho	73
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	74
Referências.....	77
Declaração de Integridade	83
Apêndice A – Custos do cenário atual	85
Apêndice B – Layout da montagem	86
Apêndice C – Fluxograma da montagem	87
Apêndice D – Tempos de operação e mão de obra estimada para montagem	89
Apêndice E – Molde para montagem da base do estrado.....	90
Apêndice F – Molde para montagem de estrados.....	91
Apêndice G – Molde para montagem de cabeceiras, laterais e topos	92
Apêndice H – Custos da montagem	94
Apêndice I – Layout da serraria e montagem	95
Apêndice J – Fluxograma da serraria com montagem.....	96
Apêndice K – Tempos de operação e mão de obra estimada para montagem e serraria.....	98
Apêndice L – Custos da serraria	99

Lista de Figuras

Figura 1 - Etapas para realização de estudo de caso (elaboração própria)	3
Figura 2 - Processo de obtenção do engradado (elaboração própria)	8
Figura 3 – Relação do processo decisório e resolução do problema inserido numa IO (Adaptado de Talavera & Luna (Talavera & Luna, 2020))	12
Figura 4 - Passo a passo do método SAPEVO-M (adaptado de Gomes et al. (C. F. S. Gomes et al., 2020))	19
Figura 5 - Matriz para avaliação de alternativas	20
Figura 6 - Matriz de entrada X Matriz ideal transitiva	22
Figura 7 - Exemplo matriz de consistência.....	22
Figura 8 - Vista das duas fábricas WEG de Santo Tirso, Portugal. (fonte: WEG).....	27
Figura 9 - Desenho engradado (Fonte: WEG)	30
Figura 10 - Gráfico de custo total X altura do eixo do motor. Valores modificados por informação confidencial, mantendo a proporção com o cenário real (elaboração própria)	32
Figura 11 - Representação do modelo decisional (elaboração própria).....	43
Figura 12 – Ponderação de critérios Decisor A.	46
Figura 13 - Ponderação de critérios Decisor B	46
Figura 14 - Ponderação de critérios Decisor C	47
Figura 15 - Ponderação de critérios Decisor D	47
Figura 16 - Ponderação de critérios Decisor E	48
Figura 17 - Agregação de ponderações de critérios.....	49
Figura 18 - Ponderação de alternativas em função de Custos.....	50
Figura 19 - Agregação das alternativas em função de Custo	51
Figura 20 – Ponderação de alternativas em função de Qualidade	52
Figura 21 - Agregação das alternativas em função de Qualidade.....	53
Figura 22 - Ponderação de alternativas em função de Flexibilidade	54
Figura 23 -Agregação das alternativas em função de Flexibilidade.....	55
Figura 24 - Ponderação de alternativas em função de Risco de Fornecimento	56
Figura 25 - Agregação das alternativas em função de Risco de Fornecimento	57
Figura 26 - Ponderação de alternativas em função de Impacto Ambiental	58
Figura 27 - Agregação das alternativas em função de Impacto Ambiental	59
Figura 28 - Ponderação de alternativas em função de Impacto Social.....	60
Figura 29 - Agregação das alternativas em função de Impacto Social.....	61
Figura 30 - Ponderação de alternativas em função de Capacidade de Melhoria	62
Figura 31 - Agregação das alternativas em função de Capacidade de Melhoria.....	63
Figura 32 - Gráfico Polar das Matrizes (elaboração própria)	63
Figura 33 – Matriz de Decisão	64
Figura 34 - Simulação de pesos em critérios.....	65
Figura 35 - Pesos em critérios (elaboração própria)	65
Figura 36 - Pontuações das alternativas em simulação	66
Figura 37 - Pontuações das alternativas nas simulações (elaboração própria)	66
Figura 38 - Gráfico de Decisão	69

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Alterações do processo devido a matéria-prima (Adaptado de Heinrich, 2010) (Heinrich & Alegre, 2010).....	9
Tabela 2 - Correlações de comparação.....	20
Tabela 3 - Tabela de consistência	23
Tabela 4 - Estado da arte modelos AMD na indústria.....	24
Tabela 5 - Estado da arte aplicação método SAPEVO.....	25
Tabela 6 - Linha de produtos da WEG.....	28
Tabela 7 - Resumo de custos cenário atual.....	35
Tabela 8 – Resumo de custos cenário montagem	38
Tabela 9 - Resumo de custos cenário serraria	39
Tabela 10 - Resumo das alternativas	40

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

AHP	Analytic Hierarchy Process
IA	Inteligência Artificial (Artificial Intelligence)
ANP	Analytic Network Process
ARAS	Additive Ratio Assessment
CA	Corrente alternada
DEA	Data Envelopment Analysis
ELECTRE	Élimination Et Choix Traduisant la REalité
HT	Heat Treated
I4.0	Indústria 4.0
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet das Coisas (Internet of things)
ISPM15	International Standard for Phytosanitary Measures
AMD	Apoio Multicritério à Decisão (Multi-Criteria a Decision Analysis),
NIS	Negative ideal Solution
PIS	Positive Ideal Solution
IO	Investigação Operacional
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
SAPEVO	Simple Aggregation of Preference Expressed by Ordinal Vectors
SAPEVO H ²	Simple Aggregation of Preference Expressed by Ordinal Vectors -Hybrid and Hierarchical
SAPEVO-M	Simple Aggregation of Preference Expressed by Ordinal Vectors - Multi Decision Makers
SAPEVO-M-NC	Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors - Non-Compensatory - Multi Decision Makers
SF-AHP	Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process
SF-WASPAS	Spherical Fuzzy Weighted Aggregated Sum Product Assessment
SODA	Strategic Options Development and Analysis
SWARA	Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis
TD	Teoria da decisão
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
VIKOR	VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
ML	Machine Learning
S.A.	Sociedade Anônima

SAP	System Applications and Products in Data Processing
OSB	Oriented Strand Board
OP	Ordem de Produção
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
UE	União Europeia
MRP	Material Requirements Planning
PPCP	Planeamento, Programação e Controlo da Produção
WCM	World Class Manufacturing

Lista de Símbolos

λ	Lambda	—
bp	Somatório das pontuações binárias	—
Σ	Somatório	—
w	Peso dos critérios	—
v_i	Desempenho global das alternativas	—
I	Indiferença	—
Q	Preferência fraca	—
P	Preferência forte	—
R	Incomparabilidade	—
S	Outranking	—

1. Introdução

Neste primeiro capítulo do documento, é realizada uma introdução ao tema que será abordado no trabalho, realizando o devido enquadramento, especificação de objetivos, apresentação da metodologia de pesquisa utilizada e por fim a designação da estrutura e subdivisões da dissertação.

1.1. Enquadramento e contextualização

O setor industrial de motores elétricos e drives desempenham um papel crucial na engrenagem da produção contemporânea, sendo essencial em diversas aplicações, desde equipamentos industriais até veículos elétricos (Choudhary et al., 2023). Nesse cenário dinâmico, a eficiência operacional e a tomada de decisões estratégicas emergem como elementos cruciais para o sucesso competitivo (Virmani et al., 2023). Ao mesmo tempo, surge uma procura essencial na cadeia de produção com a fabricação de engradados, tornando-se crucial na logística, armazenamento e transporte desses motores e drives (Sellitto, 2018). Portanto, é crucial que as empresas ajam com agilidade em suas adaptações nos processos, visando aprimorar a eficiência da cadeia produtiva e oferecer produtos mais competitivos para o mercado (Virmani et al., 2023).

Na dinâmica empresarial moderna, a terceirização de processos, com foco exclusivo no produto principal e no know-how, foi uma prática comum. No entanto, diante das dificuldades logísticas, da necessidade de padrões de qualidade rigorosos, quer em termos técnico quer ambientais, e de um ambiente de negócios em constante evolução, as empresas estão reconsiderando essa abordagem (Foerstl et al., 2021; Hartman et al., 2017). Muitas estão a optar por internalizar processos, reconhecendo os benefícios de ter controle direto sobre a produção, a qualidade e a logística.

Desta forma este estudo propõe uma análise abrangente, mediante a utilização de metodologias de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), explorar os processos envolvidos na internalização da fabricação de engradados na indústria de motores elétricos e drives. Integrando ferramentas analíticas e estratégias de decisão, busca-se compreender os desafios desse contexto e oferecer soluções que atendam a indústria, de forma que melhore o processo operacional alinhados com a visão da empresa.

1.2. Objetivos

Este documento tem como objetivo principal investigar e analisar o processo de internalização da fabricação de engradados em uma indústria de motores elétricos. Através da identificação de alternativas potenciais de internalização e da fundamentação teórica dessas alternativas, este estudo busca fornecer informação para os tomadores de decisão da indústria, capacitando-os a tomar decisões estratégicas informadas e bem embasadas. Após esta fundamentação, visa-se aplicar uma abordagem de AMD para auxiliar no processo decisório, permitindo a seleção do cenário mais apropriado com base em critérios e nas preferências dos decisores envolvidos.

1.3. Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica introdutória sobre motores elétricos, drives e internalização de fabrico de engradados. Além de uma revisão detalhada sobre tomada de decisão e AMD.Hg
- Compreender qual o atual cenário da empresa e compreender os agentes motivadores para realização do estudo de internalização.
- Identificar e descrever as diferentes alternativas possíveis de internalização da fabricação de engradados que sejam factíveis no contexto da empresa.
- Identificar e selecionar um modelo AMD que possua uma aplicabilidade ideal para esta tomada de decisão.
- Compreender e estabelecer quais os critérios relevantes para o processo decisório.
- Aplicar a metdologia AMD em conjunto com os decisores, a fim de avaliar as possíveis alternativas de internalização em função dos critérios estabelecidos.
- Interpretar os resultados do processo de AMD e identificar o cenário de internalização mais adequado e vantajoso para a indústria, considerando o resultado obtido através da tomada de decisão.

1.4. Metodologia

Foi utilizado como metodologia uma revisão bibliográfica sistemática na fase inicial, sendo conduzida por uma revisão bibliográfica realizada na Science Direct, B-On e Elsevier. Foi feita a definição de palavras chave para pesquisa em língua inglesa e portuguesa : AMD, Multiciteria Decison aid, Electric motors, Drives; logistics and transportation container, Crate; Decisão Multicritério, Motores Elétricos, Drives, embalagem para Logística e transportes e, Engradados. A seleção criteriosa dos estudos científicos, isto é, artigos científicos, teses e livros sobre os assuntos, levou em consideração a relevância específica para cada componente temático.

Para o desenvolvimento da dissertação, foi necessário a utilização de uma abordagem de estudo de caso (Barratt et al., 2011), buscando investigar a viabilidade da internalização do processo de fabrico de engradados na empresa, utilizando-se dos instrumentos entrevistas,

Introdução

pesquisa de mercado e análise de alternativas. Este estudo de caso foi desenvolvido com uma abordagem pesquisa-ação, ou seja, processo onde o pesquisador está diretamente inserido no contexto, trabalhando em colaboração direta com a empresa. O estudo de caso foi dividido em nove etapas, sendo as três fases iniciais para compreensão do problema, três etapas intermediárias para idealização de soluções e três últimas etapas para tomada de decisão, conforme Figura 1.

Neste contexto, optou-se por um estudo longitudinal, reconhecendo a possibilidade de ajustes ao longo da pesquisa. Serão utilizadas abordagens tanto qualitativas quanto quantitativas, dado que a internalização de processos representa uma decisão complexa envolvendo múltiplos critérios (Foerstl et al., 2021). Em relação ao campo epistemológico, o objetivo é realizar uma mescla entre um método positivista, a fim de levantamento de dados quantitativos e qualitativos, e um método construtivista, que visa compreender melhor o cenário e as perspectivas dos envolvidos na tomada de decisão.

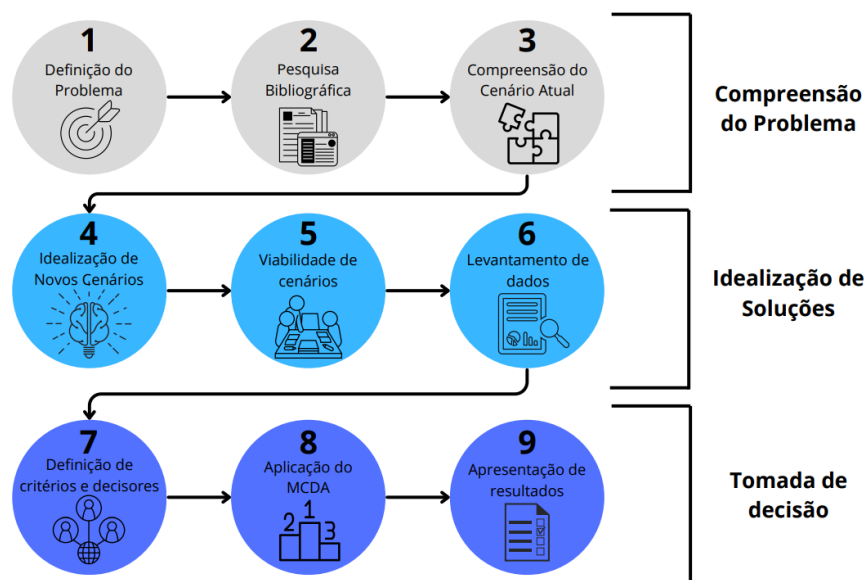


Figura 1 - Etapas para realização de estudo de caso (elaboração própria)

1.5. Estrutura da tese

O estudo está estruturado em cinco capítulos, cada um com objetivos específicos. O primeiro capítulo compreende a introdução, a definição dos objetivos e dos métodos empregados na pesquisa.

O segundo capítulo dedica-se à revisão bibliográfica sobre tomada de decisão e à aplicação de modelos AMD. Além disso, são abordados tópicos relacionados a motores elétricos, drives e fabricação de engradados, a fim de fundamentar a criação de alternativas explorada no capítulo

Introdução

subsequente. Ao final deste capítulo, é apresentado o estado da arte dos modelos AMD com foco na indústria, bem como o estado da arte do método SAPEVO-M, modelo multicritério utilizado neste trabalho.

O terceiro capítulo aborda o estudo de caso realizado dentro do contexto da indústria de motores elétricos. Inicialmente, este capítulo tem como objetivo apresentar o cenário atual e definir o problema enfrentado pela empresa, fornecendo justificativas para a realização do estudo de viabilidade da internalização. Nesta etapa, busca-se contextualizar as alternativas que foram idealizados, bem como explicar os motivos pelos quais alguns deles são considerados inviáveis. Além disso, este capítulo detalha todo o processo de aplicação do modelo AMD, descrevendo seus resultados subsequentes de forma detalhada.

No capítulo quatro, é feita uma análise crítica dos resultados obtidos no capítulo 3 tendo em consideração os aspectos referidos no capítulo 2 de enquadramento e de revisão de literatura.

No capítulo quinto, serão apresentadas as conclusões do estudo, assim como as possibilidades para pesquisas futuras.

2. Enquadramento-Revisão de literatura

Neste capítulo é feito um enquadramento e uma revisão de literatura, abrangendo todos os conceitos da temática central do trabalho da dissertação. O capítulo de enquadramento e revisão bibliográfica inicia-se com uma breve introdução ao ramo da indústria no qual será realizado o trabalho, em seguida aprofunda-se sobre o processo de tomada de decisões, e de modelos multicritério.

2.1. Indústria de componentes elétricos

Os componentes elétricos marcaram uma transição fundamental na trajetória tecnológica. À medida que a eletricidade era mais amplamente difundida, resistores, capacitores e indutores ganhavam forma, ampliando a capacidade tecnológica e produção em massa. Devido à procura por eficiência produtiva e energética, e da necessidade de utilização de recursos de forma sustentável, as tecnologias smart, que combinam uma vasta gama de componentes elétricos, são constantemente impulsionadas por inovações tecnológicas (Nižetić et al., 2019).

A indústria de componentes elétricos é um dos agentes que fornecem material para o avanço dos métodos de produção atual, permitindo a utilização de sistemas ciberfísicos (Kordestani & Saif, 2021), Inteligência Artificial (IA) (Kaur et al., 2023) e Internet das Coisas (IoT) (Shafique et al., 2020), itens que compõe a base da consolidada indústria 4.0 (Sony & Naik, 2020).

Entre os diversos componentes elétricos, dois componentes fundamentais para o funcionamento da indústria de forma geral são; os motores elétricos de indução e os drives, descritos em seguida de forma sucinta.

2.1.1. Motores elétricos de indução

Os motores de indução elétrica constituem uma categoria fundamental de dispositivos motores presentes em diversas aplicações industriais e comerciais. Operam com base no princípio da indução eletromagnética, utilizando-se corrente alternada (CA). A essência do seu funcionamento reside na capacidade de induzir um campo magnético rotativo no rotor, o componente móvel do motor (Hughes & Drury, 2019). Estas correntes que interagem e geram um campo magnético, é o que resulta gerando a rotação e geração de potência mecânica. Desenvolver esse processo de indução eletromagnética, conforme estabelecido pelo pioneiro Michael Faraday, é o pilar do funcionamento eficaz e versátil dos motores de indução elétrica.

A aplicação dos motores de indução elétrica na indústria é amplamente difundida, evidenciando sua versatilidade e eficiência. Dentre as diversas utilizações, destacam-se em sistemas industriais que procuram acionamentos elétricos robustos e confiáveis (Choudhary et al., 2019). Sua presença é notável em sistemas de refrigeração, bombeamento, aquecimento, transportes e automóveis, além de aplicação em maquinarias pesadas (Choudhary et al., 2023).

As vantagens à utilização desses motores contribuem para sua preferência na indústria. A simplicidade construtiva dos motores de indução, aliada à sua elevada confiabilidade operacional, resulta em baixos custos de manutenção, tornando-os economicamente atrativos (Choudhary et al., 2023).

Dentro da categoria dos motores de indução elétrica, destaca-se uma variedade de tipos, cada qual adaptado a requisitos específicos e aplicações particulares. Os motores de indução trifásicos são os mais comuns, caracterizados pela presença de três conjuntos de enrolamentos alimentados por correntes alternadas desfasadas (Hughes & Drury, 2019). Essa configuração proporciona um campo magnético rotativo mais robusto, ideal para aplicações industriais exigentes. Por outro lado, os motores de indução monofásicos, com apenas um conjunto de enrolamentos, são mais adequados para aplicações de menor porte, como eletrodomésticos e pequenas máquinas (H. Wang et al., 2021).

Outro tipo relevante é o motor de indução de rotor bobinado, notável por sua capacidade única de ajuste. Este motor possibilita a variação da resistência do rotor, oferecendo um controle refinado sobre a velocidade e o torque gerados (Mengoni et al., 2019). Esse ajuste personalizado torna o motor de rotor bobinado uma escolha estratégica em aplicações onde a precisão no controle de velocidade é crucial, como em sistemas de transporte e máquinas industriais sensíveis a variações de carga.

2.1.2. Drives

Os drives são dispositivos essenciais na automação industrial, sendo projetado para controlar a velocidade e o torque de motores elétricos. Sua função primordial consiste em converter a energia elétrica da fonte de alimentação em uma forma adequada para o motor, permitindo o controle preciso da velocidade e do torque (G. Wang, 2019). Isso é alcançado por meio de algoritmos de controle incorporados ao drive, os quais ajustam a frequência e a tensão fornecidas ao motor (Zhu et al., 2022).

As vantagens do uso de drives elétricos são notáveis em diversas aplicações industriais, destacando-se pela eficiência energética e pela capacidade de controle preciso (Hughes & Drury, 2019). Ao ajustar a velocidade do motor de acordo com as procuras do processo, os drives contribuem significativamente para a redução do consumo de energia e, conseqüentemente, para a sustentabilidade ambiental (G. Wang et al., 2019).

Existem diversos tipos de drives elétricos, cada um projetado para atender a requisitos específicos em diversas aplicações industriais. Desde drives de velocidade variável utilizados em sistemas de transporte (Rajput et al., 2021) até drives de torque constante empregados em processos de bombeamento na indústria (Lingom et al., 2022), a diversidade desses dispositivos

reflete a adaptabilidade necessária para enfrentar os desafios particulares de diferentes setores.

À medida que a AI e o aprendizado de máquina conhecido por Machine Learning (ML), se integram cada vez mais aos processos industriais, os drives elétricos estão destinados a se tornar elementos adaptativos e autônomos (Khandelwal & Kumar, 2019). Essa adaptação dinâmica permitirá a otimização constante do desempenho, impulsionando a eficiência energética e a confiabilidade operacional. A transição para fontes de energia renovável desencadeará inovações nos drives, destacando a sua importância na integração de sistemas de geração eólica, solar e outras formas sustentáveis de produção de energia (Usova & Velkin, 2018). A conectividade aprimorada, habilitada pela IoT, abrirá caminho para estratégias avançadas de monitoramento remoto e manutenção preditiva, reduzindo os custos associados ao tempo de inatividade (Ayvaz & Alpay, 2021).

2.1.3. Fabrico de engradados e paletes de madeira

Com o progresso da sociedade, emerge uma crescente procura por meios logísticos mais eficientes de armazenamento e transporte, impulsionada pela necessidade de redução de custos e eficiência de meios logísticos e de lidar com um aumento exponencial de produtos para fazer face ao mercado global. Uma resposta a essa procura surge na forma da utilização estratégica da unitização através de paletes e engradados de madeira. Essas estruturas fornecem uma abordagem eficaz para a organização, permitindo eficiência na armazenagem e na movimentação e transporte de mercadorias em larga escala (Sellitto, 2018).

As paletes, normalmente standardizados, definidas pela norma ISO 445:2013 (ISO, 2013) como “plataformas horizontais rígidas de altura mínima, compatível com o manuseio por porta-paletes e / ou empilhadeiras e outros equipamentos de manuseio apropriado, usado como base para montagem, carregamento, manuseio, transporte, ou exibição de mercadorias e cargas”, facilitam a movimentação eficiente de produtos, tanto em armazéns quanto durante o transporte.

Os engradados, definidos por Gartner (Gärtner Irzo Antonio Beckedorff, 2012) como: “uma estrutura metálica, plástica ou de madeira tratada, de seção retangular ou quadrada, com abertura na parte superior ou lateral, formada de grades, cruzetas ou travessas de fechamento, destinada ao armazenamento de material que, em face das suas características físicas, de quantidade e fragilidade de embalagem e/ou irregularidades do formato, não deverá ser armazenado em estante, armação ou estrado” oferecem uma solução robusta e versátil para acondicionar e proteger produtos, garantindo sua integridade ao longo das cadeias de abastecimento complexas.

Considerando que a maior percentagem de engradados é de madeira, focar-se-á na explicação deste processo de fabrico. Assim, o processo de fabrico de engradados e paletes compreende uma cadeia construtiva que se inicia com o corte da madeira, transformando-a em toras, corte de tábuas e culmina na produção final do engradado e sua fumigação. Esse percurso envolve diversas etapas, desde a seleção e preparação da madeira até a união de tábuas, resultando na estrutura final de madeira (Bastos, 2023). Apesar de um produto final simples, o avanço da

competitividade do mercado e os altos requisitos de qualidade, obrigam a um sistema de produção complexo, sendo necessário garantir a funcionalidade de cada etapa do processo. De forma geral, divide-se as etapas de fabricação em Figura 2;

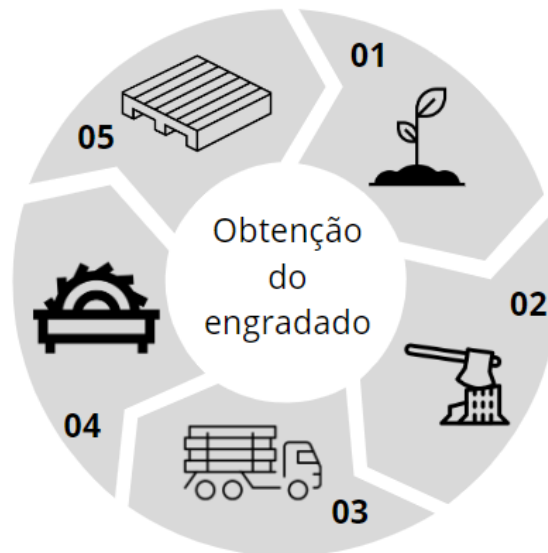


Figura 2 - Processo de obtenção do engradado (elaboração própria).

01 – Plantio do Pinus: Nesta etapa, inicia-se o ciclo produtivo com o plantio da espécie Pinus. Este processo envolve a preparação e cultivo da madeira, estabelecendo as bases para a futura produção de tábuas e outros produtos derivados

02 – Corte e extração da madeira: Com a maturação das árvores de Pinus, realiza-se o corte e a extração da madeira. Essa etapa envolve técnicas específicas para garantir a qualidade das toras, que serão posteriormente utilizadas na produção de tábuas.

03 – Transporte das toras para a serraria: Após o corte, as toras de Pinus são transportadas para a serraria. Esse processo logístico é crucial para garantir a eficiência na transformação da matéria-prima em produtos acabados, como tábuas e peças para engradados/paletes

04 – Transformação da tora em tábuas: Na serraria, as toras de Pinus são transformadas em tábuas. Este estágio envolve processos de desdobramento e acabamento para obter produtos de qualidade que atendam às especificações necessárias para a montagem de engradados e paletes

05 – Montagem do engradado/paleta: A última etapa do processo abrange a montagem dos engradados e paletes. Utilizando as tábuas provenientes da transformação da madeira, essa fase requer habilidades específicas para garantir a robustez e funcionalidade dos produtos, prontos para serem integrados nas cadeias de abastecimento e logística.

Estes processos de fabrico descritos possuem uma alta variabilidade devido a diferença presente na matéria-prima. Devido a esta variabilidade, a fim de possuir um melhor controlo de processos, o ideal é a utilização de ferramentas que analisem a eficiência associada ao uso da madeira. Conforme indicado pela Tabela 1, esta alteração na matéria-prima ocasiona diversas dificuldades durante o processo.

Tabela 1 - Alterações do processo devido a matéria-prima (Adaptado de Heinrich, 2010) (Heinrich & Alegre, 2010)

Matéria prima	Processo
Características da tora	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade dos equipamentos • Tempos de processamento • Mix de produtos • Qualidade dos equipamentos • Tempos de manutenção • Velocidade dos transportadores • Capacidade dos transportadores • Probabilidades de fluxo no processo
Diâmetro da tora	• Sistema de desdobro
Comprimento da tora	• Qualidade dos equipamentos
Conicidade da tora	• Capacidade dos operadores dos equipamentos
Qualidade da tora	<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção dos equipamentos • Largura da serra • Percentual de sobre medida das peças verdes • Mix de produtos • Dimensões do produto final (tábua)
Diâmetro da tora	• Sistema de desdobro
Comprimento da tora	• Layout dos equipamentos
Dispersão de diâmetros	• Velocidade de processamento das máquinas

A alta variação de diâmetro da tora, é um dos fatores que mais impactam a qualidade final do produto desejado. Esta variabilidade de diâmetro para utilização de toras de menores está ligada diretamente a redução dos ciclos de silvicultura, que buscam maximizar a produção por espaço físico plantado (Dobner Júnior et al., 2012).

Devido a este abastecimento de toras com diferentes diâmetros, se faz necessário estimar qual o rendimento relativo, uma vez que diversos estudos indicam que a redução do diâmetro médio da tora aumenta a perda de matéria-prima (Bastos, 2023; Dobner Júnior et al., 2012; Oliveira et al., 2006). Esta perda de matéria-prima se deve ao fato que durante o processo de obtenção de tábuas, é natural que as partes mais exteriores das toras sejam descartadas, pois não possuem as capacidades mecânicas necessárias para a utilização no produto final.

Além da parte técnica, para a fabricação de engradados e paletes, é necessário uma análise dos requisitos sanitários associados à atividade. De acordo com a International Phytosanitary Standart Measure (ISPM15) (EPAL, 2010), tornou-se obrigatório realizar o tratamento térmico

(Heat-Treated - HT) nos paletes e engradados produzidos. Essa medida, implementada em 2010, visa prevenir a propagação do nemátodo da madeira do pinheiro, evidenciando a importância de práticas sanitárias rigorosas na indústria para garantir a conformidade com padrões internacionais e a preservação da integridade fitossanitária.

A melhoria de processos no fabrico embalagens de madeira, assim como a preocupação com a criação de normas sanitárias, somente demonstra a alta procura do mercado com este tipo de produto. Devido a esta alta procura, surge diferentes modelos de comercialização de engradados e paletes, de acordo com Roy (Roy et al., 2016), o comércio de paletes é realizado por meio de três abordagens distintas:

- **Método de Sistema Aberto sem Valor de Recuperação (Sistema de Pallet Descartável de Uso Único):** No âmbito deste método, adota-se um sistema de pallet descartável de uso único, caracterizado pela transferência da cadeia de custódia do pallet junto com a carga. Nessa abordagem, os paletes, geralmente feitos de madeira branca ou materiais de uso limitado, são escolhidos devido à sua utilização econômica, resultando em um custo de aquisição reduzido. Ao final do ciclo de uso, esses paletes são descartados, muitas vezes em aterros, sem a perspectiva de recuperação.
- **Método de Sistema Aberto com Valor de Recuperação (Programa de Compra/Venda):** Neste método, é integrado um sistema de compra/venda, no qual os paletes são inicialmente vendidos aos clientes e, em seguida, transportados com os produtos ao longo da cadeia de abastecimentos. Após o uso, ocorre a recompra desses paletes por meio de um programa local de paletes ou instalação de reciclagem. Após uma fase de inspeção, os paletes são submetidos a processos de revenda, reforma ou descarte, proporcionando um ciclo de vida mais sustentável.
- **Método de Sistema Fechado de Locação (Programa de Locação de Paletes):** Neste terceiro método, é introduzido um sistema de locação de paletes, no qual os clientes optam por contratar o uso dessas estruturas a partir de um provedor de locação de paletes. Este programa oferece diversos acordos de locação aos clientes e disponibiliza uma quantidade predeterminada de paletes nos pontos desejados ao longo da cadeia de abastecimentos. Após o uso, os paletes são coletados em locais estratégicos, passando por processos de logística reversa, incluindo inspeção, classificação, reparo e realocação. Esses programas de locação dependem de uma rede de depósitos de devolução, operados tanto pelo provedor de locação de paletes quanto por recicladores de paletes contratados localmente.

2.2. Teoria da decisão

A tomada de decisão emerge como algo intrínseco da condição humana, uma capacidade inata que está presente em todos os âmbitos da vida cotidiana (Kahneman, 2013). Afim de guiar as tomadas de decisão, surge a Teoria da Decisão (TD), não com objetivo de ser uma regra descritiva, mas sim uma regra prescritiva ou normativa na tomada de decisões. A TD desenvolvida por Frank Ramsey (1920) se fundamenta em um conceito simples, que pressupõe

que as pessoas buscam serem consistentes em suas tomadas de decisões, de forma que possam expressar suas necessidades básicas e responderem de forma racional em contextos diversos (C. F. S. ; G. L. F. A. M. Gomes, 2019). Mais tarde, esta mesma teoria será consolidada por Von Neumann e Morgenstern na teoria dos jogos (Von Neumann, 1944). Apesar da TD levar em conta a racionalidade, algo natural na tomada de decisões, percebe-se que em situações de complexidade, ela por si só, é limitada na capacidade cognitiva do agente decisor, e no volume de informações disponíveis (Joseph et al., 2017). Além desses desafios, o processo decisório baseado na racionalidade enfrenta barreiras na heurística e nos vieses cognitivos. Estes fatores, por sua vez, possuem uma capacidade de impactar diretamente nas escolhas, o que conduz a erros de julgamento, principalmente em situações de incerteza (Ng et al., 2023).

Portanto, é fundamental compreender que questões ambientais, contextuais e sociais influenciam diretamente nas escolhas (Joseph et al., 2017). Reconhecendo os ruídos entrelaçados na tomada de decisões, é possível aplicar métodos e estratégias mais eficazes no processo decisório (Kahneman et al., 2016). Essa compreensão aprofundada, não apenas esclarece, mas também orienta o desenvolvimento de estratégias que busquem levar em conta o contexto inserido, e aplicar estruturas que contornem tais limitações racionais.

2.3. Investigação operacional

A Investigação Operacional (IO) é uma abordagem analítica e quantitativa que utiliza métodos matemáticos e estatísticos para tomar decisões eficientes em processos organizacionais (Talavera & Luna, 2020). Em sua essência, a IO busca auxiliar na tomada de decisão, especialmente em territórios que são desconhecidos e incertos (Nikolopoulos et al., 2021).

A IO, possibilita a melhoria de processos e maximização de objetivos específicos, sendo aplicada em diversos campos de estudo (supply chain (Barbosa-Póvoa et al., 2018), saúde pública (Nikolopoulos et al., 2021), silvicultura (Rönqvist et al., 2023) , engenharia (Kaplinski & Vilutienė, 2021), etc.). Este método de resolução de problemas e tomada de decisão é estruturado com base no método científico de pesquisa, o que concede uma maior aplicabilidade ao modelo, conforme demonstrado na Figura 3.

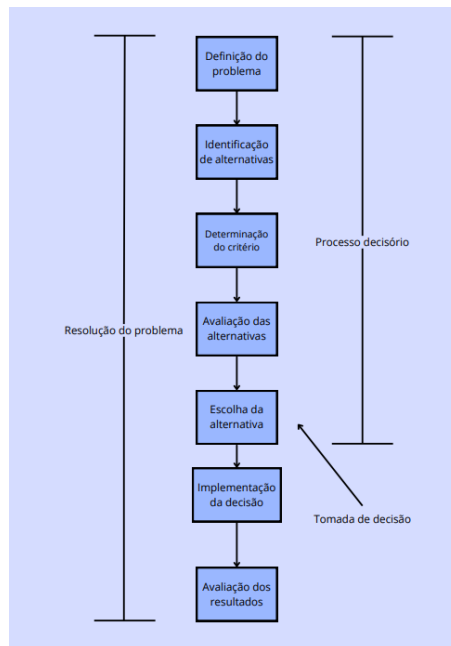


Figura 3 – Relação do processo decisório e resolução do problema inserido numa IO (Adaptado de Talavera & Luna (Talavera & Luna, 2020))

Com a implementação da Indústria 4.0 (I4.0), a IO tem sido marcada por uma convergência estratégica essencial para aprimorar a eficácia dos processos de otimização. A combinação da IO com ferramentas avançadas de ML e IA representa uma evolução, pois desta forma amplia-se a capacidade de análise de um grande volume de dados (Talavera & Luna, 2020), tornando-se uma ferramenta estratégica para processos decisórios envolvendo modelagem quantitativa.

2.4. Apoio à Decisão Multicritério

O AMD, área oriunda da IO, proporciona uma abordagem sistemática e efetiva em tomadas de decisão que envolvem uma alta complexidade associada. Através desta abordagem os envolvidos (“ator” singular ou plural) podem tomar decisões informadas, considerando as preferências e opiniões de múltiplos intervenientes aliados no processo de tomada de decisão (Cinelli et al., 2020). Define-se problemas complexos, como processos de decisões onde não há uma opção dominante em relação as outras, mas sim um conjunto de fatores, por vezes conflitantes, que direcionam a escolha. Tais problemas levam em consideração objetivos qualitativos e quantitativos, podendo ser inclusive objetivos conflitantes, o que torna a análise difícil de ser realizada (Alvarez et al., 2021).

Os modelos AMD compreendem três componentes principais em sua análise: diversos critérios de avaliação, uma variedade de alternativas plausíveis para seleção e uma comparação entre essas opções dentro de cada critério (Ayan et al., 2023). Essa estrutura permite uma avaliação abrangente e detalhada, considerando a complexidade das decisões que envolvem múltiplos fatores e variáveis.

Devido a sua capacidade de aplicação em diversos problemas, e sua alta capacidade de resolução de problemas, os AMD são aplicados em variados campos do conhecimento, sendo os principais (Stojčić et al., 2019): Ciência da computação em IA; Ciências Ambientais; Engenharia Elétrica e Eletrônica; Distribuição de energia; Engenharia industrial; Automação e Controlo de Sistemas; Tecnologia de Transportes.

Utiliza-se o AMD em problemas onde o decisor possui um número limitado de opções, e busca avaliar matematicamente os critérios, a fim de classificar as opções mais e menos apropriadas para a solução (Kahraman et al., 2015). Processos de escolha baseados em multicritério trazem uma maior consistência na decisão, contudo é fundamental que seja realizado uma estruturação, e uma correta seleção de opções e critérios, de forma que os decisores façam escolhas informadas (Lee & Chang, 2018). O AMD é dividido em uma série de etapas construtivas, podendo haver alterações de acordo com o cenário em qual o agente e a problemática estão inseridos (Maghsoodi et al., 2020), em sua forma geral pode-se dividir as etapas do AMD em:

- **Identificação do problema:** Esta fase constitui o ponto inicial do processo de decisão, onde o decisor dedica esforços para definir de maneira clara e precisa o desafio ou questão a ser enfrentado. Uma análise aprofundada é conduzida para obter uma compreensão holística do contexto decisório, estabelecendo as bases para as etapas subsequentes.
- **Determinação dos critérios** relevantes para decisão: Nesta etapa, o foco volta-se para a identificação dos critérios essenciais que serão fundamentais na avaliação das alternativas. A ênfase está em estabelecer as diretrizes que guiarão a seleção da opção mais adequada, garantindo uma tomada de decisão informada e alinhada aos objetivos predefinidos.
- **Atribuição de pesos aos critérios:** O estágio crítico de atribuição de pesos aos critérios envolve uma avaliação cuidadosa da importância relativa de cada fator na decisão final. Essa ponderação proporciona uma estrutura que facilita a análise comparativa das alternativas, conferindo um direcionamento claro ao processo decisório.
- **Avaliação das alternativas:** Nesta fase, cada alternativa é minuciosamente avaliada em relação aos critérios previamente estabelecidos. Isso resulta em uma compreensão aprofundada do desempenho de cada opção, fornecendo insights cruciais para a próxima etapa do processo decisório.
- **Agregação e combinação das alternativas:** Os resultados da avaliação são sintetizados nesta etapa, proporcionando uma visão abrangente do desempenho de cada alternativa em relação aos critérios ponderados. Essa síntese é vital para uma compreensão holística das opções disponíveis.
- **Análise de sensibilidade:** A análise de sensibilidade é conduzida para explorar os impactos potenciais de variações nos critérios ou avaliações. Essa etapa prévia reforça a robustez da decisão, considerando alternativas alternativas que poderiam influenciar o resultado final.

- **Tomada de decisão:** O estágio final envolve a formulação da decisão de maneira informada e estratégica. Com base nas análises anteriores, a decisão é delineada, considerando todas as variáveis pertinentes para alcançar o resultado mais adequado ao contexto e aos objetivos estabelecidos.

Desta forma, aplicando os métodos AMD é possível estruturar a subjetividade existente em momentos de tomada de decisão, resultando em uma escolha final transparente e alinhada com objetivo esperado do decisor (Chai et al., 2013).

2.4.1. Critérios na tomada de decisão

Os critérios são parâmetros e normas que são utilizadas para orientar a tomada de decisão, permitindo uma comparação de alternativas entre diferentes perspectivas, podendo ser utilizado de forma hierárquica (Cinelli et al., 2020).

O objetivo dos critérios é criar uma função que possa associar uma ação diretamente a um valor numérico respectivo. A ponderação desses critérios é uma etapa complexa e fundamental na modelagem do AMD, pois é responsável por um impacto direto nos resultados gerados ao fim do processo (Sařabun et al., 2020).

Critérios em uma modelação multicritério precisam atender aos fundamentos básicos, de forma que ao fim do resultado possua uma lógica sustentável. O fundamento exigido aos critérios pode variar conforme a aplicação e o contexto. Contudo, para ser considerado válido em uma análise, se faz necessário que seja um critério com propriedades; Inequívocas; Inteligíveis; Operacionais; Mensuráveis; Homogêneas e com Disponibilidade de acesso a informações (Ensslin et al., 2022), que garantam a independência entre critérios.

No desenvolvimento da modelagem é necessário realizar uma análise de relação entre diferentes alternativas em função dos critérios, com objetivo de identificar quais são as relações de preferência entre cada um, resultando em um peso respectivo para aplicação na modelagem. O foco desta etapa é permitir ao decisor avaliar alternativas com base no quão bem satisfazem os critérios, e classificá-los em conformidade (Zavadskas & Turskis, 2011). Esta análise de preferências é um processo complexo e suscetível a erros, devido a subjetividade e incertezas do decisor. As relações são divididas entre (Wątróbski et al., 2019):

- **Indiferença ($a_i I a_j$):** A indiferença entre critérios, representada por $a_i I a_j$, sugere que o decisor não possui preferência clara entre os critérios a_i e a_j . Nesse contexto, os critérios são percebidos como igualmente desejáveis, e a variação em um critério não impacta a preferência do decisor em relação ao outro.
- **Preferência fraca ($a_i Q a_j$):** A preferência fraca, $a_i Q a_j$, indica que o critério a_i é considerado pelo decisor como pelo menos tão desejável quanto o critério a_j . Embora não haja uma preferência estrita, $a_i Q a_j$ reconhece uma inclinação em direção ao critério a_i em termos de preferência.
- **Preferência estrita ($a_i P a_j$):** A preferência estrita, $a_i P a_j$, denota uma clara preferência do decisor pelo critério a_i em relação ao critério a_j . Nesse caso, a_i é percebido como

substancialmente mais desejável do que a_j , e o decisor expressa uma preferência marcada pelo critério a_i .

- **Incompatibilidade ($a_i R a_j$):** A incompatibilidade, $a_i R a_j$, sugere uma relação de incompatibilidade entre os critérios a_i e a_j . Ou seja, o decisor considera esses critérios como mutuamente excludentes, de modo que a presença de um implica a rejeição do outro.
- **Outranking ($a_i S a_j$):** No conceito de outranking, simbolizado por $a_i S a_j$, estabelece-se uma relação em que a_i é considerado superior ou pelo menos igual a a_j em termos de preferência. Contudo, ao contrário das preferências estritas, essa abordagem não especifica uma clara vantagem, destacando, em vez disso, a ordem relativa de entre os critérios sem atribuir preferências específicas.

A análise dos critérios e os métodos empregados para atribuir pesos a cada um representam uma etapa crucial no AMD (Pamučar et al., 2018). A influência da ponderação no processo decisório é significativa. A escolha do método de atribuição de pesos aos critérios é uma etapa crítica do AMD, sendo fundamental para destacar a importância de cada critério e facilitar o processo de tomada de decisão. Essa etapa desempenha um papel crucial na modelagem do impacto relativo de cada fator, contribuindo assim para uma análise mais precisa e informada (Singh & Pant, 2021). Portanto é necessário realizar uma avaliação precisa, apoiada por um sistema robusto, para a classificação eficiente desses critérios.

Diversos sistemas estão disponíveis para atribuir pesos aos critérios, e a seleção do método a ser empregado deve ser realizada com cuidado, levando em consideração o contexto específico no qual a decisão está inserida (Marttunen et al., 2017). A quantidade de critérios selecionados para o problema impacta diretamente a etapa de seleção do método, pois o volume de informações a serem processadas é um fator delimitante em algumas abordagens.

2.4.2. Métodos AMD

Os métodos multicritério representam abordagens que buscam organizar integralmente o processo de tomada de decisão por meio da consideração de múltiplos pontos de vista e critérios (Chai et al., 2013). Essas abordagens desempenham um papel fundamental ao oferecer suporte à análise de alternativas na tomada de decisões, categorizando as alternativas com base nos pesos atribuídos anteriormente. A utilização de métodos AMD auxiliam em tornar o processo de decisão mais racional, objetivo e eficiente (Jayant, 2018). O objetivo principal não se limita a apresentar ao tomador de decisões a melhor e a pior opção, mas estende-se a facilitar a identificação do conjunto de alternativas. Isso permite uma compreensão mais profunda das relações entre as opções, enriquecendo a análise e proporcionando uma visão mais abrangente do panorama decisório.

As análises AMD podem ser amplamente categorizadas em métodos compensatórios e não compensatórios. Nos métodos compensatórios, é possível mitigar desempenhos deficientes de uma estratégia em alguns critérios por meio de desempenhos elevados em outros critérios; assim, o desempenho geral da estratégia pode não evidenciar suas áreas de fraqueza

(Banihabib et al., 2017). Essa abordagem versátil possibilita uma avaliação ponderada, levando em consideração os compromissos e a balança entre critérios para alcançar uma análise abrangente do desempenho estratégico.

Já em metodologias não compensatórias, desempenhos significativamente fracos em alguns critérios não podem ser compensados, mesmo com desempenhos excepcionais em outros critérios, sendo que o desempenho agregado reflete essa realidade (Kangas et al., 2001). Em outras palavras, cada critério individual desempenha de maneira independente um papel crucial na avaliação global de uma estratégia.

Um dos pontos fundamentais no processo, é o estudo para a seleção adequado do método a utilizar para a análise (Odu, 2019). A falta de conhecimento ou incerteza na descrição do problema podem afetar o processo de seleção a desenvolver. Segundo Wątróbski et al. (Sařabun et al., 2020), a seleção de um método deve procurar objetividade e considerar várias propriedades relacionadas com problemáticas de decisão, comparação de variantes, caracterização de pesos, desempenho de alternativas e representação de dados difuso e preferências imprecisas.

A diversidade de modelos disponíveis proporciona uma vasta gama de opções para a escolha de métodos, permitindo a seleção daquele mais alinhado com o contexto decisório em questão. Entre os diversos critérios utilizados para análise, destacam-se como os modelos a seguir (Basílio et al., 2022; Chai et al., 2013; Stojćić et al., 2019; Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017).

Analytic Hierarchy Process (AHP): é um método que utiliza comparações de pares para atribuir pesos a alternativas com base na sua importância relativa. O AHP tem sido amplamente utilizado em vários campos, incluindo desenvolvimento de software, seleção de fornecedores e implementação de projetos (Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017). Permite aos decisores comparar alternativas e estimar os pesos dos critérios, facilitando a priorização e a classificação das opções. O AHP tem vantagens como facilidade de utilização, escalabilidade e capacidade de lidar com múltiplas entradas e saídas. No entanto, também tem limitações, incluindo potenciais inconsistências nos critérios de julgamento e classificação, bem como a possibilidade de inversão de classificação (Liu et al., 2020).

Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS): É amplamente utilizado em vários campos, como problema de localização, seleção de fornecedores, energia sustentável, renovável, avaliação de tecnologias de saúde e gestão de risco (Basílio et al., 2022; NăđĂban et al., 2016). O TOPSIS baseia-se no conceito de que a alternativa escolhida deve ter a menor distância da Solução Ideal Positiva (PIS) e a maior distância da Solução Ideal Negativa (NIS) (Corrente et al., 2014). O TOPSIS foi integrado com outros métodos como fuzzy AHP, Fuzzy ANP e fuzzy VIKOR em vários estudos. Também tem sido utilizado para confirmar os resultados obtidos a partir de outros métodos AMD.

ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR): É um método utilizado para resolver problemas de tomada de decisão multicritério (AMD) quando existe um conflito entre critérios e os valores de avaliação das alternativas são representados como expressões linguísticas, este método envolve uma classificação de alternativas de forma crescente (Akram

et al., 2021). O método VIKOR fornece uma lista de classificação de compromisso e uma solução de compromisso que é a mais próxima da solução ideal (Sennaroglu & Varlik Celebi, 2018).

Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE): É um método utilizado quando tem uma quantidade finita de possibilidades e é necessário ter em conta preferências e indiferenças entre alternativas. Considera o desempenho de cada alternativa em relação a todas as outras e calcula os seus valores de fluxo, que representam a preferência global ou superioridade de uma alternativa em relação a outra (Sařabun et al., 2020). Ao fim do processo tem uma saída de dados que fornece um ranking entre todas as alternativas possíveis.

Élimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE): Trata-se de um método parcialmente compensatório que classifica alternativas comparando os méritos dos valores dos atributos. Tem aplicação em casos onde possui uma incerteza ou imprecisão dos dados fornecidos (Sařabun et al., 2020). Possui aplicação com sucesso em várias aplicações da vida real e é popular no planeamento energético e sistemas de energia distribuída (Wu et al., 2016).

Simple Aggregation of Preference Expressed by Ordinal Vectors – Multi Decision Makers (SAPEVO – M): O SAPEVO-M, desenvolvido por Gomes et al. (C. F. S. Gomes et al., 2020), é um modelo multicritério concebido para facilitar a tomada de decisão em grupo. O SAPEVO-M busca incorporar diversos critérios e alternativas, permitindo a avaliação de preferências em relação aos critérios e, por conseguinte, a comparação das preferências das alternativas em função dos critérios apresentados (M. Â. L. Moreira et al., 2022). A axiomática desse modelo é conduzida ao ponderar os resultados dessa ordem de preferência, considerando múltiplos decisores, visando um desfecho ágil e transparente.

Apesar de esses métodos serem amplamente aplicados, cada situação procura uma abordagem específica, apresentando vantagens e desvantagens, não havendo um método que possa ser considerado melhor que outros em todas as dimensões envolvida. Torna-se essencial identificar os dilemas de decisão envolvidos em cada contexto, a fim de determinar o método mais adequado para satisfazer as procuras específicas (Marttunen et al., 2017). A análise cuidadosa das problemáticas permite uma escolha informada e eficiente do método mais apropriado, alinhando-se assim com as necessidades particulares de cada cenário.

2.4.3. SAPEVO-M

A abordagem SAPEVO-M representa uma evolução significativa do método SAPEVO, sendo concebida para oferecer maior versatilidade em contextos de tomada de decisão que envolvem múltiplos decisores (Tenório et al., 2022). Essa proposta não apenas avança em relação ao modelo anterior, mas também amplia suas capacidades para atender às procuras de alternativas complexos (M. Â. L. Moreira et al., 2022).

Este método apresenta características práticas que consolidam sua aplicação no campo da AMD. Sua capacidade de tomada de decisão em grupo de forma assíncrona destaca-se, permitindo que cada decisor manifeste suas preferências individualmente. Somente durante a

fase axiomática do modelo é que as opiniões são integradas, proporcionando uma abordagem flexível e adaptável às dinâmicas do grupo (M. Â. L. Moreira et al., 2021).

Outra vantagem significativa desse método é a praticidade em sua aplicação. O modelo pode ser facilmente compreendido e utilizado pelos decisores envolvidos, uma qualidade crucial em ambientes industriais, onde a agilidade nas ações desempenha um papel fundamental. Além disso, a combinação de agilidade e transparência no processo axiomático proporciona uma alta rastreabilidade na modelagem da decisão, facilitando a identificação dos pontos-chave na seleção final, e possibilitando não somente a escolha da melhor decisão, mas a análise das subsequentes opções (de Assis et al., 2023).

Uma das características distintivas dessa metodologia é sua capacidade de combinar modelos ordinais e cardinais. Ao traduzir termos linguísticos em metodologia numérica, a SAPEVO-M supera a limitação de expressar a importância relativa de pontos que anteriormente não podiam ser mensurados (M. Â. L. Moreira et al., 2022). Essa abordagem inovadora é essencial para determinar as relações de preferência entre alternativas dentro de um critério específico, além de calcular os graus de importância associados a cada um deles, resultando na atribuição de pesos correspondentes (C. F. S. Gomes et al., 2020).

Ao realizar a transformação de métodos inicialmente ordinais em valores cardinais, a metodologia SAPEVO-M viabiliza a aplicação de cálculos axiomáticos para a obtenção da decisão mais apropriada. Esse processo integrado de transformação e cálculo destaca a abordagem avançada e abrangente da SAPEVO-M no contexto da tomada de decisão multicritério. Segundo Gomes et al. (C. F. S. Gomes et al., 2020), pode-se dividir este processo em 9 etapas, conforme exposto na Figura 4;

Para alcançar a resolução definitiva deste conjunto de etapas e a obtenção do resultado desejado, é imperativo conduzir a axiomática de maneira apropriada. A caracterização axiomática desempenha um papel crucial na garantia científica de um modelo, exigindo uma consideração cuidadosa e abrangente em sua perspectiva (de Assis et al., 2023). Essa abordagem metódica é essencial para assegurar a integridade e validade do processo, contribuindo para a confiabilidade e confiança nos resultados alcançados.

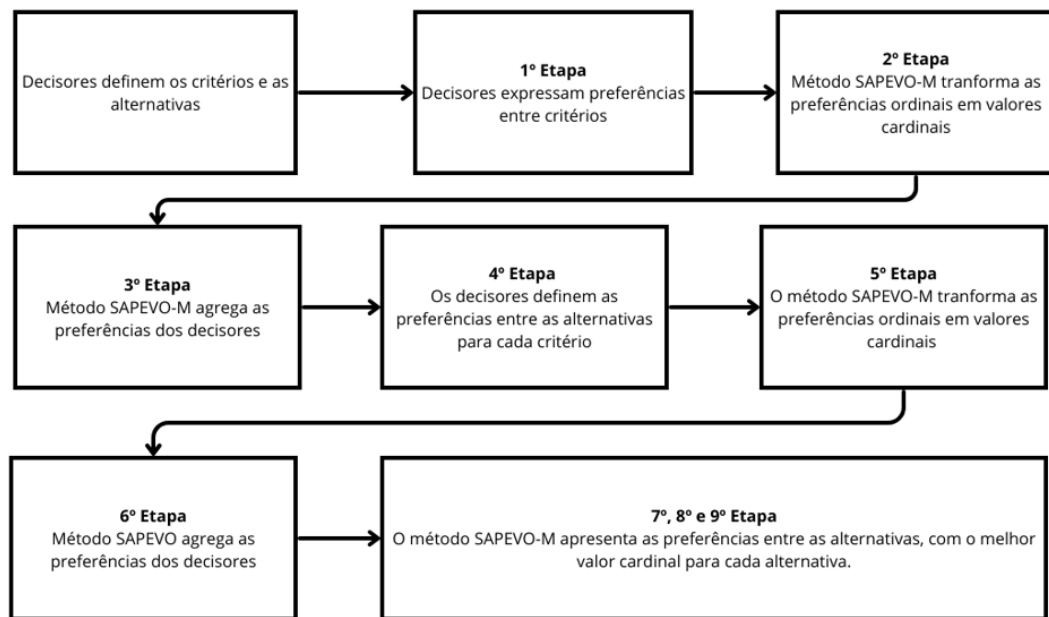


Figura 4 - Passo a passo do método SAPEVO-M (adaptado de Gomes et al. (C. F. S. Gomes et al., 2020))

2.4.4. Estrutura Axiomática do Método SAPEVO-M

Esta etapa axiomática para o método SAPEVO-M é subdividido em duas etapas distintas. A primeira etapa é transformar as preferências ordinais em valores cardinais, de forma que esses critérios possam ser matematicamente compreendidos. Na segunda etapa realiza a transformação da ordem ordinal entre preferência de alternativas, para valores também cardinais (C. F. S. Gomes et al., 2020), conforme representado na Figura 2. Ao fim do processo, essa representação das preferências deve ser feita de forma matricial.

A consolidação de matriz, seja entre critérios ou entre preferência das alternativas em função dos critérios, é bastante semelhante. O objetivo de ambos processos é denotar as opiniões de preferência de cada um dos decisores envolvidos na escolha. A partir deste modelo, considerando um conjunto X , seja de critérios ou alternativas, onde $x_j \in X, j = 1, 2, 3, \dots, n$, pode-se utilizar um modelo de comparação entre critérios e alternativas.

Para a realização das comparações entre critérios e alternativas, o método SAPEVO-M utiliza-se de uma semântica com 7 níveis, sendo cada um representado por uma ideia ordinal X cardinal, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Correlações de comparação

Expressões verbais	Pontuação
Absolutamente pior / Menos importante	-3
Muito pior / Menos importante	-2
Pior / Menos importante	-1
Indiferente	0
Melhor / Mais importante	1
Muito melhor / Mais importante	2
Absolutamente melhor / Mais importante	3

Com base nas obtenções de preferência, é construída a matriz para avaliação de alternativas. Esta matriz deve ser composta de n critérios, elencados na vertical e horizontal, de forma que na diagonal principal forme uma comparação nula, ou seja, uma comparação entre os mesmos critérios, conforme demonstra a Figura 5.

	x_1	x_2	x_3	x_n
x_1	0	P_{12}	P_{13}	P_{14}
x_2	P_{21}	0	P_{23}	P_{24}
x_3	P_{31}	P_{32}	0	P_{34}
x_n	P_{41}	P_{42}	P_{43}	0

Figura 5 - Matriz para avaliação de alternativas

Os valores P_{ij} representados na Figura 5 devem estar dentro da escala de valores representados na escala. Outro fator fundamental de compreensão, são as equivalências entre os valores da matriz acima da diagonal principal e abaixo, de forma que P_{12} e P_{21} devem ser recíprocos, de modo a manter uma lógica e consistência no modelo. A partir de cada linha de avaliação, é necessário realizar uma soma para normalização das variáveis, conforme abaixo:

$$a_i = \sum_{i=1}^n P_{in} \quad 1$$

A partir dessa soma, a pontuação obtida passa por uma etapa de normalização, utilizando seus índices mínimos e máximos das somas como referência. Com base nessa normalização, realizada por meio da equação, são obtidas as pontuações das alternativas por critérios, conforme equação abaixo:

$$v_i = \frac{a_i - \min(a_i)}{\max(a_i) - \min(a_i)} \quad 2$$

Ao analisar essas pontuações cardinais de cada critério ou alternativa em relação a um critério específico, torna-se possível compreender as relações de preferências para cada variável da avaliação, levando em consideração a escala:

- $x_i = 0$, indica a não preferência entre variáveis;
- $x_i \approx 0$, indica uma fraca preferência da variável i em relação a j ;
- $x_i = 1$, indica uma forte preferência da variável i em relação a j ;
- $x_i \approx 1$, indica uma preferência estrita da variável i em relação a j ;

Na avaliação dos critérios, caso o resultado da avaliação do peso do critério menor seja igual a 0 (zero), esse critério receberá 1% do valor menor subsequente. Isso garante que nenhum dos critérios tenha um valor nulo. Essa abordagem, por uma questão de lógica de aplicação, se aplica exclusivamente aos cálculos de critérios. Em outras palavras, durante a normalização das alternativas, é logicamente sustentável que alguma alternativa possua valor nulo (SANTOS, 2023).

Após a construção dos pontos cardinais dos vetores de prioridades, tanto para critérios quanto para alternativas, procede-se à normalização de cada valor em relação à soma das pontuações do conjunto, conforme equação abaixo:

$$v_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad 3$$

Avaliação de consistência

Após equacionar o modelo e obter as comparações entre critérios e alternativas, torna-se essencial realizar um cálculo de consistência para avaliar se as comparações par a par no modelo são sustentadas por uma base lógica. Importante destacar que essa avaliação de consistência não visa influenciar a decisão, ou seja, o propósito desse processo é apenas evidenciar as características de transitividade no processo decisório (C. F. S. Gomes et al., 2020).

Dessa maneira, ao considerar um conjunto de variáveis em uma matriz n dimensional, a entrada é utilizada como base para o teste de consistência do modelo. Esse processo utiliza a diagonal superior para fins de validação, conforme demonstrado na Figura 6.

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y _n
Y ₁	-	a ₂₁	a ₃₁	a ₄₁	a _{n1}
Y ₂		-	a ₃₂	a ₄₂	a _{n2}
Y ₃			-	a ₄₃	a _{n3}
Y ₄				-	a _{n4}
Y _n					-

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y _n
Y ₁	-	a ₂₁	a ₃₁	a ₄₁	a _{n1}
Y ₂	-(a ₂₁)	-	a _{ij}	a _{ij}	a _{ij}
Y ₃	-(a ₃₁)		-	a _{ij}	a _{ij}
Y ₄	-(a ₄₁)			-	a _{ij}
Y _n	-(a _{n1})				-

Figura 6 - Matriz de entrada X Matriz ideal transitiva

Essa matriz Figura 6 é construída com base nos princípios dos modelos de preferências transitivas, servindo como referência para a comparação e viabilização do teste de consistência em questão. Sendo assim calculado o a_{ij} a partir da equação descrita abaixo:

$$a_{ij} = \begin{cases} -3 & \text{se } (a_{ij} + a_{i1}) \leq -3 \\ a_{ij} + a_{i1} & \text{se } -3 < (a_{ij} + a_{i1}) < 3 \\ 3 & \text{se } (a_{ij} + a_{i1}) \geq 3 \end{cases} \quad 4$$

Após realizar a comparação entre a matriz de entrada e a matriz ideal, é feita uma terceira matriz, essa denominada matriz de consistência. Esta matriz é formada somente por entradas binárias (0,1). Através da comparação entre as matrizes, realiza-se um cálculo de diferença entre valores, caso o valor resultar em valores no intervalo de $\{-1; 1\}$, a_{ij} = 0, caso o valor seja fora desse intervalo, a_{ij} = 1, conforme o exemplo da Figura 7.

	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y _n
Y ₁	-	0	1	1	0
Y ₂		-	0	1	1
Y ₃			-	0	0
Y ₄				-	0
Y _n					-

Figura 7 - Exemplo matriz de consistência

Com a construção da matriz binária, é possível realizar as somas dessas pontuações utilizando a fórmula abaixo:

$$bp = \sum a_{ij} \quad 5$$

Conhecendo a resultante da soma de bp , e conhecendo o número de valores comparação par a par, é possível calcular o índice de consistência λ , conforme demonstrado abaixo:

$$\lambda = \frac{bp}{\left(\frac{n(n-1)}{2}\right)} \quad 6$$

Os valores de consistência podem ser avaliados e mais bem compreendidos conforme os intervalos de escala descritos na Tabela 3. Estes valores de consistência oferecem ao decisor a oportunidade de uma avaliação quanto a sua assertividade em relação a subjetividade envolvida no processo decisório, o que permite que obtido esse valor o decisor pondere seguir para a próxima etapa, ou realizar um novo processo de atribuição de preferências.

Tabela 3 - Tabela de consistência

Consistência	Taxa de consistência
Alta	0% - 10%
Média	11% - 20%
Baixa	21% - 30%
Inconsistente	31% - 40%
Muito inconsistente	41% - 100%

Somatória das preferências

Finalizado o processo de identificação de preferências e de avaliação de consistência, ou seja, todo o processo axiomático, basta realizar a soma dos pesos dos critérios e das preferências das alternativas. Esta soma fornece o valor único através do processo de normalização de soma unitária pela soma do conjunto.

A consolidação final dos dados é obtida ao realizar a soma ponderada dos pesos dos critérios com o desempenho de cada alternativa em relação aos critérios estabelecidos (SANTOS, 2023). Essa soma, por sua vez, resulta no desempenho final das alternativas, como evidenciado na equação abaixo, onde w_j representa o peso de cada critério e a_{ij} denota o desempenho de cada alternativa em relação ao critério.

$$v_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad 7$$

Considera-se, portanto, que a alternativa com a maior soma ponderada representa aquela com o melhor desempenho em relação aos critérios e preferências estabelecidos. De maneira

inversa, a alternativa com o menor resultado indica a opção com o menor desempenho global diante das alternativas viáveis.

2.4.5. Estado da arte

Na Tabela 4, são apresentados trabalhos recentes que empregam a AMD para tomada de decisão na indústria, oferecendo um panorama do estado da arte nesse contexto específico.

Tabela 4 - Estado da arte modelos AMD na indústria

Referência Bibliográfica	Trabalho desenvolvido
Nguyen et al. (Nguyen et al., 2022).	O artigo propõe uma abordagem integrada, unindo Data Envelopment Analysis (DEA), spherical fuzzy analytic hierarchy process (SF-AHP) e spherical fuzzy ponderated aggregated sum product assessment (SF-WASPAS), para selecionar fornecedores na indústria siderúrgica. As etapas envolvem DEA para eficiência quantitativa e SF-AHP para critérios qualitativos, seguido pelo SF-WASPAS para sustentabilidade. Análises sensíveis validam a eficácia, oferecendo orientações valiosas para executivos siderúrgicos e gestores de outras indústrias, abordando desafios na seleção de fornecedores de forma macro. O estudo também destaca a importância de critérios específicos, fornecendo pontos decisivos para a seleção sustentável de fornecedores na indústria siderúrgica.
Soltan et al. (Soltan et al., 2023)	O artigo apresenta uma abordagem inovadora para a seleção de robôs industriais, introduzindo o método FAQT-2 no contexto da Tomada de Decisão Multicritério em Grupo (MCDM). Implementado em um software acessível em C#, o FAQT-2 é aplicado a um estudo de caso na indústria farmacêutica, revelando sua eficácia na melhoria das decisões de seleção de robôs. Os resultados evidenciam a capacidade do método em ponderar critérios, considerar requisitos do cliente e realizar análises de sensibilidade.

Referência Bibliográfica	Trabalho desenvolvido
Chen et al. (Chen et al., 2023).	O artigo apresenta um novo modelo de MCDM Fuzzy-Rough para selecionar fornecedores verdes na indústria. Integrando SWARA, ARAS e números Fuzzy-Rough, oferece uma estrutura abrangente para a decisão na escolha de fornecedores. Validado por análises comparativas, de sensibilidade e matriz dinâmica, destaca-se pela robustez e estabilidade. Enfrentando desafios de incerteza, mostra aplicabilidade prática na indústria, superando limitações de métodos tradicionais. O objetivo é um modelo confiável e flexível para avaliação e seleção de fornecedores verdes, apresentando potencial para futuros desenvolvimentos na tomada de decisão multicritério

Já na Tabela 5 explora a aplicação do método SAPEVO em diferentes contextos, destacando as diferentes aplicações que este modelo está sendo empregue desde seu recente surgimento. Essa análise detalhada dos trabalhos reflete o cenário atual de pesquisa, consolidando o estado da arte da pesquisa.

Tabela 5 - Estado da arte aplicação método SAPEVO

Referência Bibliográfica	Trabalho desenvolvido
Júnior et al.(Macêdo-Junior et al., 2023)	O artigo investiga cenários futuros para o tratamento de águas produzidas na indústria petrolífera. Utilizando o método Delphi e a ferramenta SAPEVO-M, o estudo se concentra em potenciais cenários tecnológicos, especialmente processos sustentáveis, considerando o critério de risco como prioritário na avaliação de alternativas. A transformação tecnológica, liderada por profissionais qualificados, é destacada como promissora a médio e longo prazo. A abordagem sistemática do Delphi e SAPEVO-M proporciona uma análise aprofundada, classificando e identificando elementos decisivos.
Moreira et al. (M. Â. L. Moreira et al., 2023).	O estudo propõe o método SAPEVO-H ² , uma abordagem hierárquica na tomada de decisões multicritério, aplicado ao contexto de estratégias de defesa contra sistemas de aeronaves antiremotamente pilotadas (RPAS) para a Marinha do Brasil. Integrando dados qualitativos e quantitativos, o método utiliza mapas causais e a metodologia SODA para estruturar o problema e analisar o desempenho de objetivos e elementos em uma hierarquia. O estudo fornece rankings com base no tratamento subjetivo da informação, destacando contribuições, limitações e propondo futuras melhorias, incluindo o desenvolvimento de uma plataforma computacional para apoio em tempo real na tomada de decisões.

Maêda et al. (Maêda et al., 2021)	O artigo utiliza o método ordinal SAPEVO-M-NC para selecionar regiões adequadas para o plantio de mogno africano, simplificando o processo decisório ao avaliar o desempenho das alternativas sem a necessidade de comparações diretas. A análise considera critérios como temperatura média, precipitação, valor médio total da propriedade e infraestruturas logísticas, utilizando dados do INPE e entrevistas com profissionais do setor agrícola. O SAPEVO-M-NC, com sua base técnica e científica, permite avaliar relações de preferência e dominância entre alternativas, sendo uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões na seleção de áreas para o plantio de mogno africano. Os resultados têm implicações significativas, apoiando operações de pesquisa e contribuindo para a sustentabilidade das plantações florestais comerciais e a redução da pressão sobre florestas nativas.
LOPES et al. (Lopes et al., 2023)	Este estudo buscou aprimorar o processo de seleção de fornecedores, empregando a abordagem multicritério SAPEVO-M. Demonstrou eficácia ao proporcionar transparência nas preferências entre decisores, contribuindo para melhorias nos processos de compra e manutenção. O método, aplicado por quatro gestores em diferentes níveis, utilizou sete critérios de desempenho, resultando em uma estrutura hierárquica eficiente na escolha do fornecedor mais adequado. A pesquisa sugere futuras aplicações do SAPEVO-M em diferentes cenários econômicos, além do aumento de alternativas e critérios para aprimorar a robustez do processo decisório.

3. Caso de Estudo

Neste estudo de caso, é examinada a decisão de internalizar o processo de fabricação de engradados em uma indústria de motores elétricos, utilizando uma abordagem baseada em AMD. São destacados os antecedentes, o contexto da indústria e os critérios utilizados na avaliação.

3.1. Enquadramento da empresa

O estudo de caso foi realizado na empresa WEGeuro, empresa pertencente do grupo WEG S.A., que possui como gama de produtos soluções globais relacionadas a indústria de componentes elétricos. Este trabalho foi desenvolvido em uma filial do grupo, localizada em Santo Tirso, Portugal. A filial possui uma área total de 45000m² com mais de 800 funcionários. A fim de facilitar a divisão de trabalho esta filial é dividida em duas fábricas separadas com gama de produtos diferentes, sendo uma identificada como ST1, responsável pela fabricação de motores de baixa tensão de forma seriada em linhas de produção, além de motores antiexplosão de baixa tensão. Já a fábrica denominada ST2 fica dedicada a motores de média e alta tensão, motores a prova de explosão, painéis elétricos, soluções de automação e uma área dedicada a serviços de assistência técnica e reparos para motores da Europa, Oriente Médio e norte da África. Na Figura 8 é possível visualizar a fábrica ST1, localizada na direita logo atrás do estacionamento, e a fábrica ST2, localizada na esquerda, ao lado do estacionamento.



Figura 8 - Vista das duas fábricas WEG de Santo Tirso, Portugal. (fonte: WEG)

3.1.1. Mercado

A empresa criada na década de 60, possui sua matriz localizada em Jaraguá do Sul no Brasil e possui filiais em 37 países diferentes, sendo 47 parques fabris, 59 filiais comerciais e 08 centros de distribuição. Desta forma a empresa possui uma consolidação global, criando uma rede de exportação de produtos que atendam diferentes mercados consumidores.

Estando presente em 05 continentes diferentes. O grupo WEG S.A. teve uma faturação anual em 2022 de €5,3 mil milhões, (R\$29,9 bilhões), e possui uma ampla gama de produtos, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 - Linha de produtos da WEG

Setores de atuação	Linhas de produtos	
Motores elétricos	Motores IEC baixa tensão	Motores especiais
	Motores NEMA baixa tensão	Motores de indução
	Motores para áreas classificadas	Motores síncronos
Redutores	Redutores industriais	Motorreductores
	WG20	Acoplamento flexível
Geração, Transmissão e Distribuição	Geradores	Transformadores com reator a óleo
	Turbinas hidráulicas	Transformadores a seco
	Turbinas a vapor	Seccionadores
	Substrações	Compensadores síncronos
Drives	Inversores de frequência	Conversores CA/CC
	Soft-startes	Software
	Servoacionamentos	Infraestrutura mobilidade elétrica
Controlos	Capacitores	Relés eletrônicos
	Contatores	Fusíveis
	Disjuntores	Chaves seccionadoras
	Partida e proteção de motores	Comando e sinalização
	Medidores e controladores	Bornes, plugues e tomadas
Segurança de máquinas, sensores e fontes de alimentação	Segurança de máquinas	Fontes de alimentação
	Sensores industriais	

Setores de atuação	Linhas de produtos	
Automação industrial	Controladores programáveis	Unidades remotas
	Interfaces	Sistemas de automação
	Acessório para controlo de processos	
Painéis	Painéis elétricos	Eletrocentros
Tintas e vernizes	Tinta líquida	Tintas de repintura e frota
	Tinta em pó	Diluentes
	Vernizes de impregnação	
Digital Solutions	Monitoramento de equipamentos	Dispositivos para conectividade e monitoramento

3.1.2. Estrutura organizacional

A nível de direção, o trabalho se encontra sob a alçada da Direção Industrial da empresa, que está encarregue de coordenar e otimizar todas as operações relacionadas à produção da sede da WEG de Santo Tirso. Dentro dessa estrutura, este estudo está especificamente alocado no Departamento de Engenharia Industrial, uma divisão estratégica responsável por analisar, planejar e aprimorar os processos industriais da organização. Mais precisamente, está vinculado à Seção Processos Industriais Montadoras, onde são desenvolvidas e implementadas as estratégias para aprimorar a eficiência e a qualidade das linhas de montagem e embalagem dos motores elétricos.

3.2. Enquadramento do processo

Inicialmente, uma compreensão completa do processo fabril foi empreendida para compreender as correlações entre diversas áreas e seu impacto no produto final. O fabrico de motores elétricos trata-se de um processo complexo devido à tecnologia envolvida e à necessidade de precisão. Além da complexidade natural, a flexibilidade exigida para atender às procura variáveis dos clientes resulta em um fluxo de processo com múltiplos subprocessos ou etapas intercaladas. Apesar das alterações necessárias para atender às procura específicas dos clientes, como variações dimensionais e requisitos especiais (por exemplo, motores anti explosão ou resistentes à corrosão), o processo de fabricação dos motores elétricos segue uma sequência de etapas, desde o corte inicial do metal até o acabamento final, incluindo processos como maquinagem, bobinagem, testes elétricos, aplicação de resina, controlo de peso e montagem completa do motor, culminando na embalagem e envio ao cliente, processo que será detalhado no subcapítulo seguinte.

3.2.1. Embalagens de motores

O propósito desta etapa é realizar uma análise geral de como se apresenta o atual processo da embalagem. Todos os dados utilizados para esta análise levaram em conta um levantamento realizado através da plataforma de gerenciamento de dados System Applications and Products in Data Processing (SAP), utilizando um recorte anualizado, considerando o período de 01/11/2022 e 31/10/2023. Nesta análise foi descoberto que a empresa utiliza 03 tipos de embalagens para motores elétricos: caixas, estrados e engradados.

As caixas são embalagens utilizadas majoritariamente para envio de motores em traslado marítimo. A principal característica deste tipo de embalagem é possuir uma estrutura fechada, a fim de proteger o produto em seu percurso. Este tipo de embalagem utiliza um estrado com preparo especial em sua base, ao qual não possui espaçamento entre tábuas (reduzindo exposição do motor), e placas de Oriented Strand Board (OSB) em suas laterais e topo.

Os estrados podem ser definidos como uma estrutura construída a fim de formar um piso mais elevado que suporte o motor a ser carregado. Esta estrutura assemelha-se muito a uma paleta, porém com dimensões especiais, de forma que possua capacidade mecânica para realização do transporte do material com o menor custo possível. Os estrados podem ser de madeira, metal ou plástico, dependendo das dimensões, peso e especificações do cliente.

Os engradados são estruturas de madeira compostas por um estrado, laterais, cabeceiras e um topo, de forma que formem uma caixa retangular capaz de realizar de forma segura o transporte dos motores. Estas estruturas são formadas por grades, cruzetas e travessas, conforme a Figura 9.

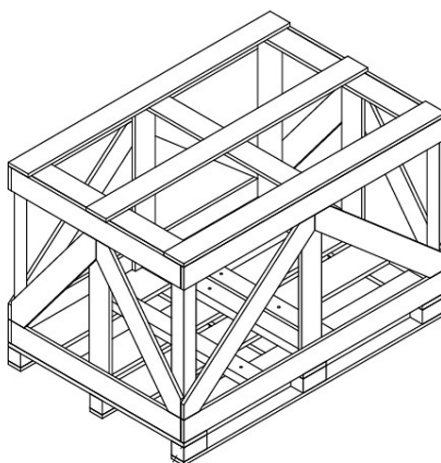


Figura 9 - Desenho engradado (Fonte: WEG)

O processo de embalagem do motor está intimamente ligado ao acabamento final e à montagem dos periféricos, ocorrendo na mesma área designada para tal. Após a conclusão da pintura, a equipa de embalagem seleciona o engradado designado na Ordem de Produção (OP)

e transporta-o para receber o motor pintado. Após a transferência do motor para a área de armazenamento intermediário, onde a tinta seca, ele é levado para a área de embalagem. Lá, os periféricos e as caixas de ligação são montadas, os reparos de pintura são feitos e o motor é fixado na base do engradado. Simultaneamente, o engradado é preparado com plástico na área de montagem do engradado. Após a conclusão do processo, o motor embalado passa por uma inspeção final antes de ser enviado ao armazém, pronto para despacho ao cliente.

Na área de embalagem, a gestão de estoque dos componentes para montagem do engradado é realizada por um sistema KANBAN. Engradados com procura variável são geridos por um sistema puxado, onde OP's acionam pedidos ao fornecedor A, com entrega em um dia útil, o que é possível devido à proximidade geográfica. Engradados com alta procura anual, representados por cinco códigos SAP, são geridos por um sistema (s,Q), onde s é o ponto de encomenda, e Q é a quantidade padrão a ser encomendada. Materiais consumíveis possuem previsibilidade de consumo maior e baixo custo de posse, simplificando a gestão de estoque com base em estoque de segurança para evitar rupturas ou atrasos na produção.

Atualmente, a WEGeuro estipula requisitos mínimos de qualidade para aceitação dos produtos de madeira dos fornecedores. Estes requisitos englobam aspectos físicos e dimensionais da madeira, como a limitação do tamanho dos nós e da casca, ausência de rachaduras e empenamentos, humidade inferior a 18% para evitar fungos, entre outros critérios. Falhas na montagem dos componentes também são avaliadas. O não cumprimento dessas normas resulta na recusa do material, seu retorno ao fabricante e a solicitação de um novo produto.

Um levantamento em parceria com o setor de qualidade revelou um índice de qualidade de 98,03%, porém, para se destacar como uma empresa de classe mundial, segundo os padrões da *World Class Manufacturing (WCM)*, é necessário atingir 99,9%. Esta disparidade indica uma oportunidade de melhoria nos processos de fabricação, visando reduzir o desperdício de matéria-prima e melhorar a eficiência operacional em toda a cadeia de produção.

Além dos requisitos de qualidade, o cumprimento das regulamentações logísticas europeias, como a ISPM15, é crucial. Esta norma exige controlo fitossanitário para eliminar o nemátodo *Bursaphelenchus xylophilus* encontrado na madeira de embalagem com espessura superior a 6mm. O tratamento mais comum é o Heat Treatment (HT), aquecendo a madeira para eliminar o nemátodo. A empresa que realiza esse tratamento deve ser autorizada e preencher a Ficha de Registro de Tratamento Térmico, assumindo a responsabilidade pelo processo. Após a montagem da embalagem, é necessário preencher a Ficha de Registro de Fabrico, podendo ser feita pela empresa de tratamento ou pela empresa final de montagem, ambas sujeitas à regulamentação e auditorias do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). Essas medidas visam garantir a conformidade com as normas fitossanitárias e de segurança da União Europeia (UE).

Já para a análise de custos, estratificou-se em ST1 e ST2, separando custos em três categorias: matéria-prima, consumíveis e mão-de-obra. Os custos de matéria-prima incluem engradados adquiridos do fornecedor. Consumíveis englobam plásticos e pregos, além de energia do compressor. Mão-de-obra refere-se à equipa de montagem dos engradados. Os consumíveis representam 3,31% dos custos totais de embalagem, enquanto a mão de obra equivale a 3,30%.

Destaca-se que 93,39% são atribuídos à compra de engradados. Essa análise sugere a viabilidade de internalização de processos para otimização de custos, já que o custo majoritário está associado ao custo de material.

3.2.2. Estratificação de dados

Após a consolidação dos dados, foi realizada uma estratificação e decomposição dos custos a fim de identificar onde os maiores gastos estão concentrados.

Com base nessas premissas, o gráfico apresentado na Figura 10 ilustra, no eixo horizontal, os diferentes tamanhos de eixos fabricados nas duas fábricas distintas. Na vertical, o gráfico de barras representa o montante total gasto por ano.

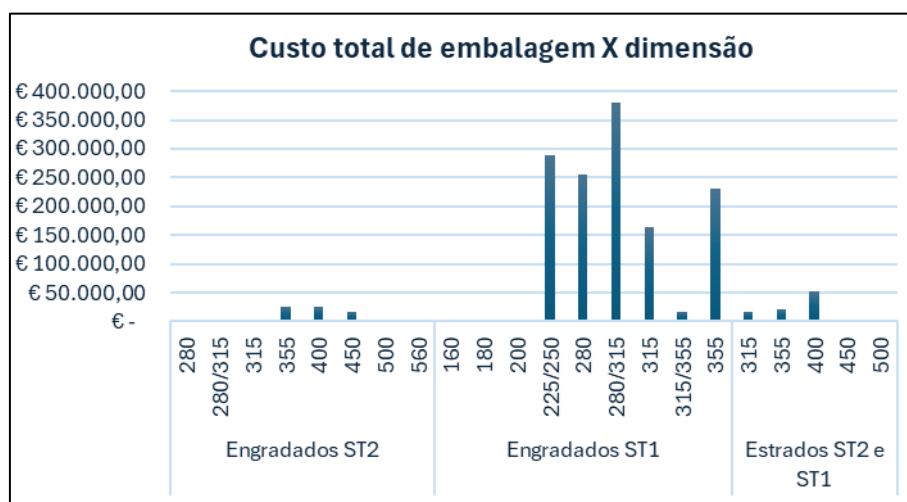


Figura 10 - Gráfico de custo total X altura do eixo do motor. Valores modificados por informação confidencial, mantendo a proporção com o cenário real (elaboração própria).

A análise desse gráfico revela que:

- Os maiores gastos estão concentrados na ST1, que, apesar de possuir um custo médio unitário inferior, a cadência de produção origina um montante maior;
- Os custos dos estrados podem ser excluídos por representarem um montante inferior em relação aos engradados e por serem mais complexos devido às suas dimensões;

Com isso, a análise central do estudo se concentra nos engradados de ST1, já que representam o maior percentual de custo, e uma necessidade de know-how baixa, se comparada a fabricação de caixas de placa de OSB e estrados.

Após identificar que os principais custos estavam associados aos engradados da ST1, realizou-se uma análise de variabilidade das embalagens usadas nas duas fábricas. Foram identificados 419 embalagens diferentes, responsáveis por 93,3% do custo total de embalagem (os demais custos são mão de obra e consumíveis). Com isso, o foco inicial foi nos engradados da ST1 com

alturas de eixo entre 225mm e 355mm, representando 78,36% dos custos de matéria-prima, devido à concentração de custos e ao know-how acessível, já que a fábrica matriz já produz estes engradados. Estratificando esses dados, foram identificados 86 modelos específicos associados a essas alturas de eixo (entre 225mm e 355mm), dos quais oito se destacaram, representando 56,86% dos custos individuais e 73,11% do consumo anual de engradados. Decidiu-se, então, focar nesses oito engradados para padronização de fabricação, mantendo os demais engradados sendo fabricados por fornecedores terceirizados especializados. Essa abordagem permitirá uma redução da variabilidade de produtos e uma maior eficiência na produção de embalagens de madeira.

3.3. Idealização de alternativas

A idealização de alternativas visa explorar as possibilidades de solução para uma determinada problemática, propondo saídas potenciais para o problema inicialmente identificado. Durante o processo de compreensão do problema e coleta de dados, surgem as soluções, garantindo que todas as opções identificadas sejam viáveis. Essa questão é crucial na avaliação, pois na fase de operacionalização do modelo AMD, é imprescindível que a solução melhor avaliada possa ser implementada posteriormente.

Assim, ao longo do estudo, foram inicialmente concebidas sete propostas de resolução, das quais três foram posteriormente descartadas e duas sofreram modificações. Essas propostas são:

01 – Manter o processo atual: Na avaliação de alternativas, é imperativo considerar e utilizar como ponto de partida a manutenção do cenário atual. Essa hipótese é crucial, pois ao término do estudo, pode-se concluir que nenhuma alteração é desejável em relação ao estado atual, indicando que, se as circunstâncias permanecerem inalteradas, *ceteris paribus*, o processo já está otimizado.

02 – Troca de fornecedores: A tentativa de internalização de processos sugere que há níveis de insatisfação com o processo atual. Essa problemática pode ser resultado de uma escolha inadequada de fornecedor. Portanto, é necessário avaliar um cenário no qual ocorre a troca de fornecedores. Esse processo exige uma avaliação criteriosa dos impactos causados e do grau de confiança depositado em novos parceiros comerciais na cadeia de valor. Vale ressaltar que neste cenário não é necessário a extinção dos fornecedores anteriores, mas sim uma adição de novos fornecedores de forma que gere uma competitividade para este fornecimento.

03 – Internalização da montagem: Nesta hipótese, a empresa receberia as tábuas já recortadas e seria responsável pelo processo de montagem dos estrados, cabeceiras, topos e laterais. Os processos seguintes permaneceriam inalterados, ou seja, o engradado continuaria a ser montado finalizado na linha de embalagem, em conjunto com o motor. Esta hipótese passou por uma modificação ao longo dos estudos. Inicialmente, havia a intenção de internalizar a montagem de todos os pré-engradados. No entanto, devido à alta variação de dimensões e à necessidade de manter grandes variações de tábuas em estoque, esse cenário foi reavaliado e direcionado apenas para a montagem dos oito engradados majoritários.

04 – Internalização da montagem e ISPM15: Nesta hipótese, todo o processo descrito 03 seria realizado, contudo, após a montagem, ainda seria conduzido o tratamento fitossanitário ISPM15. No entanto, a empresa considerou essa alternativa como não interessante do ponto de vista jurídico, devido a necessidade da autorização para a realização do tratamento e a necessidade de possuir estufas específicas para este processo, devido a isso, essa possibilidade foi descartada.

05 – Internalização da serragem de tábuas: Nesta hipótese, ocorreria o recebimento das tábuas em sarrafos, seguido pelos cortes nas dimensões adequadas, a montagem do engradado e, posteriormente, o envio para realizar a embalagem final em linha. No entanto, esta hipótese passou por alterações. Inicialmente, considerava-se realizar o corte para todos os engradados. No entanto, assim como na hipótese da montagem, a alta variação de dimensões da tábua e os níveis de stock foram argumentos que levaram a essa ideia a sofrer alterações. Sendo considerada apenas a obtenção das 12 tábuas para serragem necessárias para fabrico dos oito engradados mais consumidos.

06 – Internalização de toda a serraria: Nesta hipótese, considerou-se um cenário mais otimista, no qual seria montado todo o processo de uma serraria, desde o recebimento das toras de madeira até o corte em tábuas, serragem, montagem do pré-engradado e montagem em linha. No entanto, este cenário foi descartado devido à procura não justificar esse nível de internalização, o que geraria custos de investimento muito elevados.

07 – Internalização de toda a cadeia produtiva: A hipótese máxima a ser considerada seria a internalização completa da cadeia produtiva, o que envolveria possuir o local para plantação do Pinus, o manejo de florestas, seguido de todas as etapas de serraria e montagem. Contudo, este cenário foi descartado devido ao alto nível de investimento procurado, o qual não seria justificado pela procura da fábrica.

Com isso, após a exclusão da possibilidade de realizar o HT de forma interna, assim como a exclusão de trabalhar com manejo florestal e recebimento de toras, restaram 04 possíveis alternativas, os quais serão descritos em detalhe nos próximos subcapítulos.

3.3.1. Cenário 01: Manter o processo atual

No cenário atual, a empresa de motores elétricos opera com um sistema de recebimento de engradados pré-montados para embalar seus produtos. Este método envolve a aquisição de engradados pré-fabricados de fornecedores externos, que são posteriormente montados na linha de embalagem da empresa. Atualmente, esse processo tem sido funcional, permitindo que a empresa atenda às suas necessidades de embalagem com relativa eficiência. No entanto, algumas limitações têm sido identificadas, incluindo custos elevados e dependência excessiva dos fornecedores externos.

Apesar das desvantagens associadas a esse modelo de negócio, a manutenção do processo atual é considerada uma opção viável se os custos adicionais incorridos pela internalização do processo ou pela troca de fornecedores não compensarem os benefícios esperados. Nesse

contexto, a confiança estabelecida com os fornecedores existentes desempenha um papel crucial na decisão de manter o status quo.

Em termos operacionais, o processo consiste em receber os engradados pré-montados, que chegam à linha de embalagem prontos para a montagem final. Isso implica que a empresa não precisa investir em instalações adicionais ou capacitação de pessoal para a fabricação de engradados. No entanto, a dependência excessiva dos fornecedores pode expor a empresa a riscos de interrupção no fornecimento ou aumento de preços no futuro.

Um dos pontos destacados que foi motivador para o estudo é a insatisfação com os gastos gerados com embalagens. A Tabela 7 representa os principais custos associados a este processo. Para uma compreensão mais detalhada é possível verificar o apêndice A, pontuando que todos os custos detalhados neste estudo estão modificados devido a exposição de dados da indústria, contudo os valores expostos mantêm a proporcionalidade com o cenário real.

Tabela 7 - Resumo de custos cenário atual

Descrição	Valor monetário
Engradados	€ 1.250.481,62
Estrados e caixas	€ 320.155,88
Mão de obra	€ 69.473,70
Consumíveis	€ 70.417,70

Em resumo, o cenário de manter o processo atual reflete uma abordagem conservadora que prioriza a estabilidade e a continuidade das operações existentes. Esta opção será mais apropriada se os benefícios potenciais da internalização do processo ou da troca de fornecedores não puderem ser claramente justificados em termos de redução de custos ou aumento da flexibilidade operacional.

3.3.2. Cenário 02: Troca fornecedores

A viabilidade de aprimorar um processo por meio da troca de fornecedores é uma consideração necessária para empresas que buscam otimizar um processo ou produto. Antes de optar pela internalização de atividades ou pela implementação de mudanças significativas no processo produtivo, é essencial realizar uma análise detalhada da possibilidade de substituir ou adicionar novos fornecedores. Esta análise não só envolve avaliar a qualidade dos produtos ou serviços fornecidos, mas também considerar aspectos como custo, confiabilidade, prazos de entrega e flexibilidade. Ao realizar um estudo completo da viabilidade de troca ou adição de fornecedores, as empresas podem identificar oportunidades para reduzir custos, melhorar a qualidade do produto e aumentar a eficiência.

Após um processo de seleção, foram identificados novos fornecedores potenciais, levando em consideração critérios como qualidade, capacidade de entrega, custos e localização geográfica.

Embora a busca para novos fornecedores tenha sido uma medida estratégica para reduzir a dependência de um único fornecedor e diversificar as fontes de suprimento, os benefícios em termos de custos não foram alcançados como esperado. Os custos permaneceram semelhantes aos do fornecedor anterior, o que representa um desafio para a empresa em sua busca por redução de despesas. A alta variabilidade de fabrico e volume relativamente baixo de fabrico não atrai os principais players do mercado, estes que seriam capazes de ter um preço mais atrativo devido aos volumes de fabrico que possuem.

Portanto um dos principais benefícios dessa mudança é a criação de um sistema mais robusto. A introdução de novos fornecedores ajuda a reduzir os riscos associados à dependência de um único fornecedor, proporcionando à empresa uma maior flexibilidade e resiliência em sua cadeia de suprimentos. Contudo um aspecto crítico a ser considerado é a localização geográfica dos novos fornecedores. Enquanto o fornecedor atual desfruta de uma vantagem significativa por estar próximo à unidade fabril da empresa, os novos fornecedores selecionados estão localizados a uma distância maior.

Essa mudança geográfica resulta em um aumento no tempo de trânsito e na logística e custo de entrega. Como consequência, os prazos de atendimento, que anteriormente eram de apenas um dia útil com o fornecedor local, não podem mais ser mantidos. A empresa será obrigada a reformular sua metodologia de stock e gestão de produção para acomodar os novos prazos de entrega, o que terá um impacto direto no gerenciamento de stock e nas operações diárias.

Em resumo, embora a busca por novos fornecedores possa gerar à empresa uma maior robustez em sua cadeia de suprimentos, os desafios relacionados aos custos, à logística e aos prazos de entrega destacam a complexidade envolvida na tomada de decisões estratégicas de internalização ou externalização na fabricação de engradados para a linha de embalagem de motores elétricos.

3.3.3. Cenário 03: Internalizar linha de montagem

Neste cenário, a empresa opta por internalizar apenas a montagem dos engradados, recebendo as tábuas cortadas e realizando a montagem em linhas de montagem, equipadas com moldes e pregadeiras. Este processo elimina a dependência de fornecedores para a montagem final dos engradados, proporcionando maior controle sobre o processo produtivo.

Ao receber as tábuas cortadas, a empresa inicia o processo de montagem em suas linhas. As tábuas são encaixadas e pregadas de acordo com os moldes pré-estabelecidos, garantindo a uniformidade e dimensão dos engradados. Esta etapa é crucial, pois determina a integridade estrutural dos engradados, que serão posteriormente utilizados na embalagem dos motores elétricos.

Após a montagem, os engradados são encaminhados para a área de embalagem, onde são finalizados em conjunto com os motores. Este processo integrado otimiza a logística interna e

reduz os tempos de produção, uma vez que mantém os engradados que serão embalados na zona de montagem adequada.

No entanto, a internalização da montagem de engradados requer considerações adicionais. O processo de montagem gera uma quantidade significativa de poeira de madeira, o que pode representar um risco de saúde ocupacional e para os motores elétricos se realizado dentro das instalações fabris. Para mitigar esse risco, o cenário considera por alugar um pavilhão externo para alocar a zona de montagem de engradados. Isso não apenas protege os motores da contaminação por poeira, mas também abre maiores possibilidades de áreas disponíveis, já que a fábrica possui um nível elevado de ocupação. O layout do pavilhão, e o diagrama de fluxo do processo encontram-se no Apêndice B e Apêndice C, respetivamente.

Neste contexto o tratamento HT é realizado pelo fornecedor, sendo a fábrica responsável somente por realizar a montagem, contudo, um fator importante é ressaltar que a internalização da montagem também procura a regularização e obtenção do selo necessário para a realização da montagem de embalagens conforme as diretrizes estabelecidas pela ISPM15. Este selo é fundamental para garantir a conformidade com os requisitos internacionais de tratamento térmico, visando a prevenção da disseminação de pragas e doenças através do comércio internacional de produtos embalados em madeira.

Além disso, a transição para a internalização da montagem de engradados implica em uma mudança no gerenciamento de stock. O stock de engradados montados é substituído pelo stock de tábuas cortadas, procurando uma revisão dos processos de armazenamento e controlo de materiais.

Um aspeto crítico a ser considerado é a avaliação do impacto na mão de obra. A introdução de uma linha de montagem especializada exige a contratação de mais funcionários ou o realocamento dos recursos humanos existentes. É essencial garantir que a equipa esteja adequadamente treinada e dimensionada para atender às procuras do novo processo produtivo. Para realização deste cálculo foi utilizado um método de cronometragem para recolha de dados em área. Devido a ser um cenário idealizado, não há possibilidade de cronometrar a própria atividade, ou seja, foram cronometradas atividades semelhantes e utilizados como parâmetro para cálculo da mão-de-obra necessária, conforme descrito no Apêndice D.

É importante ressaltar que a complexidade dimensional de fabrico dos engradados influenciou na decisão de limitar a linha de montagem a apenas oito tipos específicos de engradados, conforme discutido no capítulo anterior, estes engradados foram selecionados por possuir um custo total de mais de 50% de todo o custo de embalagens. Isso permite uma abordagem mais focada e eficiente na implementação do novo processo. Desta forma os principais custos para implementação e seu potencial retorno fica conforme descrito na Tabela 8. Para um maior detalhamento dos moldes que foram projetados e os custos de forma estratificada consultar no Apêndice E, Apêndice F, Apêndice G e Apêndice H, respetivamente.

Tabela 8 – Resumo de custos cenário montagem

Descrição	Valor monetário
Investimento necessário	€ 39.203,30
Economia gerada anual	€ 139.982,13
Custos adicionais anuais	-€ 78.045,50
Resultado financeiro	€ 61.936,62
<i>Payback</i> (anos)	0,63

Em resumo, a internalização da montagem de engradados representa uma estratégia que visa melhorar a autonomia da empresa, reduzir custos e otimizar a eficiência operacional. Contudo para a conclusão deve ser guiada por uma abordagem detalhada e criteriosa.

3.3.4. Cenário 04: Internalizar serraria e linha de montagem

No cenário de internalização proposto, a empresa opta por integrar o processo de corte de madeira e uma linha de montagem em suas instalações. Inicialmente, o processo inicia com o recebimento de tábuas de madeira, que serão submetidas a cortes tanto angulares quanto retos. Essa etapa visa garantir a conformidade das peças para a montagem dos engradados. Posteriormente, as tábuas cortadas são separadas e encaminhadas para a área de montagem, onde serão utilizadas na construção dos engradados. É importante ressaltar que o detalhamento da montagem dos engradados foi descrito em capítulo anterior, para fornecer uma visão abrangente do processo produtivo.

Devido à natureza do processo de corte de madeira, é crucial considerar os potenciais impactos ambientais e de saúde ocupacional dos trabalhadores. A poeira resultante da manipulação da madeira pode também representar um risco à qualidade dos motores elétricos, portanto, medidas de controlo e prevenção devem ser implementadas. Para mitigar esse problema, o cenário foi concebido em um pavilhão separado, com aspiração automática nas áreas de corte, isolando o ambiente de corte de madeira e minimizando o risco para os trabalhadores porbun lado e por outro de contaminação dos motores. Assim, foi contemplado o uso de dois exaustores de ar para controlo de poeira no ar. O layout e diagrama de fluxo com operações está detalhado dessas instalações está disponível no Apêndice I e Apêndice J, respetivamente, fornecendo uma referência visual para a organização do espaço e fluxo de trabalho.

Essas tábuas devem vir com HT, de acordo com as regulamentações de segurança e qualidade. A empresa, portanto, precisa garantir que possua as certificações necessárias e adequações em suas instalações para realizar somente a montagem e aplicar o selo de conformidade nos engradados resultantes.

Com a adoção desse procedimento, o modelo de estoque será impactado. Desta forma o estoque não consistirá mais em engradados prontos ou tábuas já cortadas, como discutido nos capítulos anteriores. Em vez disso, o estoque será composto por tábuas de madeira inteiriças,

prontas para serem processadas conforme necessário para atender à procura de produção. Essa mudança no modelo de estoque tem implicações significativas na logística, nomeadamente na gestão de inventário da empresa, de forma que o Material Requirements Planning (MRP) precisa alinhar o consumo de engradados em linha e com o modelo de produção em lotes, que serão realizados nas oficinas corte e montagem de engradados. Isso exige abordagem mais dinâmica e flexível para garantir a disponibilidade contínua de matérias-primas por parte do Planeamento, Programação e Controlo da Produção (PPCP).

Com a integração do processo de corte de madeira e montagem dos engradados, será necessário fazer a avaliação referente a mão-de-obra necessária para atendimento do processo. Para o cálculo da mão-de-obra foi realizado novamente o processo de cronometragem de processos semelhantes e análise de dados, data sheet, a fim de estimar os tempos dos equipamentos orçamentados pelo fornecedor. O detalhamento dos cálculos de tempos e de mão-de-obra necessária estão detalhados no Apêndice K.

Apesar da criação da linha de serraria e montagem, um desafio significativo associado à variabilidade de dimensão das tábuas de madeira foi identificado. Para mitigar esse desafio e garantir a eficiência operacional, a empresa considerou neste cenário por internalizar apenas os oito modelos de engradados previamente descritos nos capítulos anteriores desta dissertação. Ao limitar a variedade de modelos de engradados a serem produzidos internamente, a empresa simplifica o planeamento da produção, reduzindo a complexidade associada à gestão da gama de tábuas iniciais e minimizando a necessidade de know-how específico.

Esta abordagem visa aprofundar a internalização, ampliando o controlo sobre os processos de obtenção do engradado e reduzindo os riscos ligados ao fornecimento de produtos com defeitos. Contudo, é fundamental avaliar os custos e considerar a viabilidade de estabelecer uma nova zona de fabricação da fábrica. Os principais custos são descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo de custos cenário serraria

Descrição	Valor monetário
Investimento necessário	€ 128.147,30
Economia gerada anual	€ 163.546,21
Custos adicionais anuais	-€ 105.658,40
Resultado financeiro	€ 57.887,81
<i>Payback (anos)</i>	2,21

Desta forma, após a descrição das 04 alternativas idealizados, é possível conceber a Tabela 10 onde possui o resumo das avaliações de payback e pontos qualitativos relevantes para avaliação no processo de tomada de decisão.

Tabela 10 - Resumo das alternativas

Alternativas	Pontos fortes	Pontos fracos
Manter atual	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidade no processo; • Estabilidade em um sistema já em operação; • Custos conhecidos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de controlo do processo; • Dependência de fornecedores; • Custos potencialmente elevados; • Problemas de qualidade • Sistema sem margem de melhoria; • Sistema pouco flexível;
Trocar Fornecedor	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de risco associado a um único fornecedor; • Cadeia de suprimentos aumentada; • Contato com novas empresas; • Potencial melhoria de qualidade gerado pela competitividade entre fornecedores; 	<ul style="list-style-type: none"> • Custos incertos; • Prazos de entrega aumentados; • Necessidade de aumento de stock • Distância geográfica do fornecedor
Montagem	<ul style="list-style-type: none"> • Maior controlo do processo; • Redução de custos; • Otimização da logística interna; • <i>Know how</i> de linha de montagem; • Menor dependência da cadeia de fornecedores; • <i>Payback</i> de 0,63; 	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento inicial em equipamentos; • Necessidade de pavilhão externo; • Certificação ISPM15; • Custo de investimento de € 39.203,30
Serraria	<ul style="list-style-type: none"> • Controlo quase completo do processo; • Redução de custos; • Redução de dependência de fornecedores; • <i>Payback</i> de 2,21; 	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento inicial elevado; • Riscos associados a falta de <i>know-how</i> do processo; • Necessidade de pavilhão externo; • Geração de resíduos de madeira na fábrica; • Certificação ISPM15; • Risco de troca de fornecedores devido a troca do produto a ser fornecido; • Custo de investimento de € 128.147,30

3.4. Implementação do Método SAPEVO-M

O objetivo deste subcapítulo é descrever e detalhar todo o processo de aplicação do AMD para a tomada de decisão. Conforme descrito no capítulo 2.4 o modelo AMD possui uma série de etapas a serem seguidas para a execução do processo de tomada de decisão final. As etapas são descritas nas sessões seguintes.

3.4.1. Seleção de critérios

A etapa de seleção de critérios é um dos pontos fundamentais para encontro de quais os vieses que vão guiar a tomada de decisão do problema proposto. Em análise multicritério o excesso de critérios por vezes gera uma sobreposição e contradição na tomada de uma decisão. Assim, a definição de uma família abrangente e consistente de critérios para o contexto decisional por parte dos decisores é fulcral. Assim, foi realizado um brainstorming envolvendo os decisores em busca de estipular os critérios a serem utilizados. Após isso foi realizado um filtro de quais critérios atendiam às propriedades de ser Inequívocos; Inteligíveis; Operacionais; Mensuráveis; Homogêneos e com Disponibilidade de acesso a informações, conforme descrito na sessão 2.4.1. Com isso foram definidos sete critérios para aplicação do AMD, sendo eles:

01 - Custo: Este critério refere-se aos custos associados a cada alternativa. Isso inclui os custos de internalização da serralha e montagem, custos de mudança de fornecedores e custos contínuos de operação. Avaliar os custos envolvidos é essencial para determinar a viabilidade financeira de cada opção.

02 - Qualidade: A qualidade diz respeito à excelência dos engradados produzidos ou fornecidos. Isso inclui a durabilidade, resistência, segurança e conformidade com normas e padrões de qualidade estabelecidos. Este requisito é importante pensar sobre a melhoria da qualidade do produto com ou sem internalização.

03 - Flexibilidade: A flexibilidade refere-se à capacidade de cada alternativa para se adaptar a mudanças nas procuras do mercado e nos requisitos dos clientes. A pergunta que deve ser feita é se internalizar o fabrico pode oferecer maior flexibilidade no que diz respeito a prazos de entrega, personalização de produtos e resposta a procuras sazonais.

04 - Riscos de Fornecimento: Este critério envolve a avaliação dos riscos associados à dependência de fornecedores externos. Isso inclui riscos de atrasos na entrega, interrupções no fornecimento e variações de qualidade.

05 - Impacto Ambiental: O impacto ambiental refere-se aos efeitos que cada alternativa pode ter no meio ambiente. Isso inclui o uso de recursos naturais, emissões de carbono, geração de resíduos e poluição.

06 - Impacto Social: O impacto social diz respeito aos efeitos que cada alternativa pode ter nas comunidades locais e nos trabalhadores envolvidos no processo. Isso inclui questões como emprego local, condições de trabalho, relações com a comunidade e imagem da empresa.

07 - Capacidade de melhoria: Este critério refere-se à capacidade de cada alternativa para promover a inovação e o desenvolvimento de novos processos ou melhoria dos produtos. Internalizar o fabrico pode proporcionar mais oportunidades para inovação e redução de custos futuros? Este pode ser um ponto fundamental na tomada de decisão para o médio e longo prazo.

3.4.2. Caracterização dos decisores

Após o processo de seleção de critérios e consolidação dos alternativas, é necessário definir os decisores. Este processo envolve uma análise de pessoas que tenham responsabilidade e estejam diretamente envolvidos no processo produtivo, e tenham competência de avaliar as diferentes alternativas possíveis impactos ligados a uma alteração na cadeia de produção.

Outro fator determinante para a determinação dos decisores, foi a competência dos mesmos para análise de diferentes perspectivas correlatas ao processo, ou seja, a fim de tomar uma decisão balizada em diferentes pontos de vista, e com uma ponderação entre as áreas da cadeia de valor. A empresa considerou relevante o envolvimento no processo decisional de decisores atuantes nos diferentes departamentos envolvidos com a cadeia de valor.

Considerando os critérios descritos anteriormente para a análise das alternativas possíveis, sendo eles, custo, qualidade, flexibilidade, riscos de fornecimento, impacto ambiental, impacto social e capacidade de melhoria, a empresa identificou pessoas com capacidade decisional de quatro diferentes departamentos. Os decisores vão participar do processo decisional, e a sua respetiva função nos departamentos são descritas nos tópicos;

- **Produção:** O setor da produção tem como função coordenar e supervisionar todas as atividades relacionadas ao fabrico de produtos da empresa. Isso inclui gerir os recursos humanos envolvidos nas atividades, os materiais de fabrico e máquinas necessárias para produção. Além disso é responsável por garantir que as atividades estão sendo seguidas conforme o planeado em termos de prazos e roteiros.
- **Qualidade:** O setor de controlo de qualidade é responsável por garantir que todos os produtos que são fabricados atendam os padrões estabelecidos. Isso envolve a definição e implementação de procedimentos e controlos de qualidade em todas as etapas do processo produtivo, desde a matéria-prima até o produto final. Além disso, este departamento é responsável por realizar os testes e análises para corrigir possíveis falhas do processo.
- **Compras:** A compra tem como principal função adquirir os produtos, matérias-primas, componentes e serviços necessários para o funcionamento da empresa. Este departamento tem também a atividade de identificação de fornecedores, negociação de contratos e condições comerciais. Enquadra-se também a este departamento avaliar constantemente oportunidades de redução de custo e melhoria de processos de logística.
- **Engenharia Industrial:** A Engenharia Industrial tem o papel de otimização de processos produtivos e melhoria contínua na eficiência operacional da empresa. A principal tarefa deste departamento é avaliar a implementação de métodos produtivos mais eficientes, otimização de layout fabril, redução de perdas, automação de processos e melhoria de equipamentos. A Engenharia Industrial também possui a característica de propor planos estratégicos de curto e médio prazo, realizando investimentos que gerem retornos futuros.

Desta forma, com o envolvimento dos responsáveis de estes quatro departamentos, é-se capaz de englobar diferentes perspetivas que afetam diretamente o processo de internalização de engradados, o que gera uma visão integral do todo. Por fim, além da decisão de cada decisor chave pertencente aos departamentos, também foi recolhida a ponderação de preferências do chefe do setor de Engenharia Industrial, ao qual o estudo está enquadrado, resultando ao todo em cinco decisores para aplicação do AMD.

Sendo assim, a figura abaixo representa a construção do modelo decisional, representando os cinco decisores envolvidos, os sete critérios e os quatro alternativas considerados.

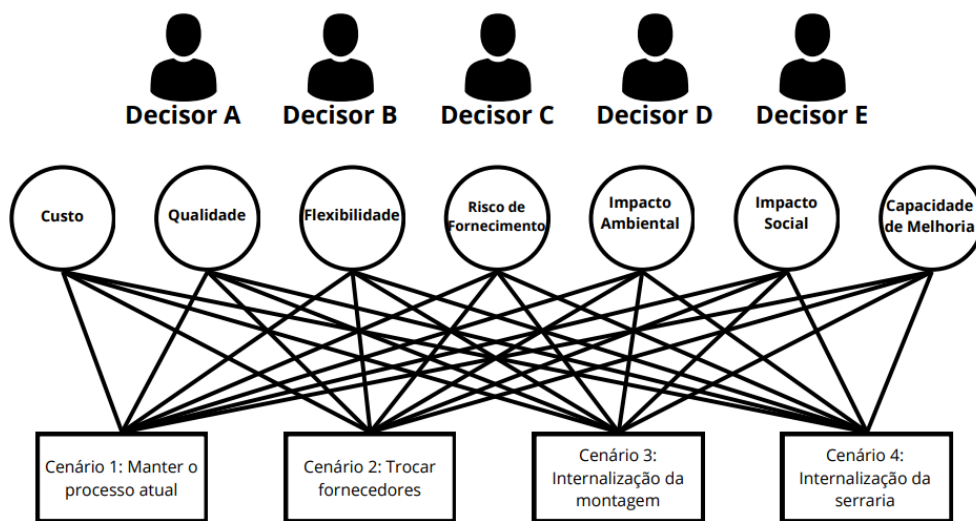


Figura 11 - Representação do modelo decisional (elaboração própria)

3.4.3. Seleção do método

A seleção do AMD ideal a ser utilizado trata-se de uma etapa que deve se adaptar ao cenário no qual a tomada de decisão está inserida. Fatores que devem ser levados em conta incluem:

- **Objetivo Final da Decisão:** O objetivo final da decisão influenciará o tipo de critérios que são mais importantes e como esses critérios devem ser ponderados. Alguns métodos AMD são melhores para lidar com objetivos quantitativos, como maximização de lucros, enquanto outros são mais adequados para objetivos qualitativos, como a maximização da satisfação do cliente.
- **Contexto da Decisão:** O contexto em que a decisão está sendo tomada pode afetar as restrições e preferências dos decisores, bem como a disponibilidade de dados. Por exemplo, em um contexto de urgência na tomada de decisão, a praticabilidade para a execução de um modelo pode se tornar o fator determinante para a seleção do método.

- Número de Critérios versus Alternativas: Se houver um grande número de critérios ou alternativas a serem considerados, pode ser necessário usar um método AMD que seja capaz de lidar com essa complexidade. Alguns métodos são mais escaláveis do que outros e podem lidar melhor com grandes conjuntos de critérios e alternativas.
- Quantidade de Decisores: O número de decisores envolvidos na tomada de decisão também é importante. Alguns métodos AMD apenas suportam decisões individuais, enquanto outros são projetados para facilitar a colaboração e o consenso entre múltiplos decisores.
- Suporte da implementação do método por software: O suporte à compreensão do método e sua implementação bem como análise de sensibilidade das soluções é um dos fatores de utilização do método na literatura e conseqüentemente sua popularidade.

Considerando esses fatores, o método selecionado que se enquadra no cenário desta tomada de decisão foi o SAPEVO-M. Este método permite a utilização e normalização de fatores qualitativos, através de suas sentenças os decisores conseguem realizar a transformação de opiniões qualitativas em valores numéricos de uma forma compreensível pelos mesmos. Além disso, o método demonstra ser favorável para esta aplicação, pela ferramenta de suporte, sendo um modelo prático para ser aplicado no ambiente fabril, o que é importante já que os decisores envolvidos frequentemente têm tempo limitado devido à grande quantidade de tarefas com as quais estão envolvidos. Por fim, este modelo foi idealizado para sistemas envolvendo múltiplos decisores e comporta a quantidade de critérios e alternativas sem se tornar cansativo ou disperso.

Além dos fatores determinantes para a decisão, outro fator de auxílio para a aplicação do método é, como referido, o facto de possuir uma plataforma digital para aplicação. Esta plataforma permite uma fácil visualização dos resultados, tornando transparente e de fácil entendimento a parte axiomática do modelo. Este ponto possui grande valia em ambientes industriais, já que desta forma é possível justificar os resultados às partes interessadas.

3.4.4. Método de aplicação

A avaliação pelo método AMD começa pela ponderação dos critérios. Somente após essa etapa e a definição dos pontos de avaliação mais importantes é que se inicia a ponderação das alternativas. Em situações de tomada de decisão em grupo, onde um mediador aplica o método e constrói alternativas sem participar diretamente das decisões, é crucial que ele retrate com precisão e administre a metodologia com eficácia. Isso garante que os participantes entendam com clareza o processo de ponderação.

Para a aplicação do método SAPEVO-M e a eliciação das preferências dos decisores, desenvolveu-se um processo dividido em duas etapas. Na primeira etapa, promoveu-se uma reunião conjunta com os decisores por meio de uma plataforma digital. O propósito principal dessa reunião consistiu na apresentação do conceito de modelo AMD, explicação do método a usar e respetivas fases, bem como na exposição das alternativas elaborados como potenciais

soluções alternativas e dados e informação necessária para completar e suportar a quantificação das alternativas.

Após a exposição do modelo AMD, definição por consenso da família consistente e relevante de critérios para o contexto decisional, e das alternativas concebidos para análise, ambos já explanados, procedeu-se ao agendamento de reuniões individuais subsequentes com cada decisor, com objetivo de identificação de suas preferências. Essas reuniões foram conduzidas de forma individualizada e presencial, com a intenção de reduzir quaisquer influências de efeito de influência de grupo na tomada de decisão, estabelecendo, assim, um ambiente propício para a expressão de opiniões com menor suscetibilidade a enviesamentos e julgamentos prévios. Mediante as reuniões foram registradas as preferências no modelo SAPEVO-M, estruturado na plataforma digital no site sapevo-m.com (M. Â. L. C. I. P. de A. S. M. dos; G. C. F. Simões. Moreira, 2022).

O intervalo entre a primeira reunião, na qual a família consistente de critérios e as alternativas foram contextualizados, e a segunda reunião, na qual foram realizadas as devidas ponderações, foi cuidadosamente considerado. O objetivo foi realizar as reuniões com o menor intervalo possível, dada a alta procura por diversos assuntos na indústria, um espaçamento excessivo poderia resultar na perda de informações ao longo do tempo, reduzindo assim o nível de informação retida pelos decisores no processo de AMD já realizado.

Durante as reuniões individuais, é comum observar uma dificuldade em dissociar critérios e alternativas. Muitas vezes, os decisores tendem a associar os critérios diretamente às alternativas durante a ponderação, o que pode levar a saltar etapas no processo de avaliação. Isso representa um problema, pois pode influenciar o tomador de decisão de forma inadequada.

Portanto, é crucial destacar e reiterar a importância da avaliação em duas etapas. Primeiramente, os decisores devem concentrar-se exclusivamente nos critérios, e apenas numa segunda fase, considerar como esses critérios se relacionam com as alternativas, ponderando sobre suas vantagens e desvantagens em comparação direta das alternativas. Esse comportamento é natural em pessoas habituadas à tomada de decisões, que buscam antecipar as consequências futuras de suas escolhas presentes.

Assim, cabe ao mediador, o autor, garantir que os pensamentos sejam construídos e expressos de maneira metodológica, seguindo etapas definidas. Isso assegura uma concordância mais sólida no processo de escolha.

Mediante entrevistas, foram elaboradas as matrizes de comparação par a par, as quais estão detalhadas e discutidas na sessão subsequente.

3.4.5. Resultados Numéricos

A primeira matriz de decisão formada é a matriz de ponderação de critérios. Nesta matriz, são apresentadas as ponderações dos decisores em relação aos diferentes critérios relevantes para o contexto de decisão, destacando e justificando aqueles que possuem maior importância e

reduzindo o grau de relevância dos critérios menos significativos, embora relevantes para a decisão.

Na Figura 12, observa-se que decisor A atribui maior peso ao impacto social, com uma ponderação de 28,6% evidenciando sua preocupação com a manutenção de um bom relacionamento com a comunidade, equipa de trabalho e imagem da empresa. Além disso, destaca o custo como um pilar fundamental a ser avaliado em situações de internalização de processos, indicando sua preocupação com a eficiência operacional.

Decisor A	Custo	Qualidade	Flex.	Fornec.	Ambiental	Social	Melhoria	0% (Consistente) Normalização
Custo	0	1	2	3	3	-1	2	0,262
Qualidade	-1	0	1	2	2	-1	1	0,191
Flex.	-2	-1	0	1	1	-2	0	0,107
Fornec.	-3	-2	-1	0	-1	-3	-2	0,001
Ambiental	-3	-2	-1	1	0	-3	-1	0,036
Social	1	1	2	3	3	0	2	0,286
Melhoria	-2	-1	0	2	1	-2	0	0,119

Figura 12 – Ponderação de critérios Decisor A.

Em contraste com os valores de custo e impacto social, atribuiu baixa importância ao risco de fornecimento, considerando o ponto de menor importância na avaliação para uma internalização, julgando que apesar de existir uma perturbação associado a troca de fornecedores, não seria um problema que deveria evitar internalizar um processo.

Decisor B	Custo	Qualidade	Flex.	Fornec.	Ambiental	Social	Melhoria	0% (Consistente) Normalização
Custo	0	2	1	2	3	3	2	0,298
Qualidade	-2	0	-1	1	2	2	1	0,179
Flex.	-1	1	0	1	2	2	1	0,214
Fornec.	-2	-1	-1	0	2	2	-1	0,131
Ambiental	-3	-2	-2	-2	0	1	-2	0,024
Social	-3	-2	-2	-2	-1	0	-2	0
Melhoria	-2	-1	-1	1	2	2	0	0,155

Figura 13 - Ponderação de critérios Decisor B

O decisor B, conforme demonstra a Figura 13, destaca os custos sendo o principal critério para ser avaliado em uma decisão de internalizar um processo. O decisor também enfatiza a necessidade de flexibilidade, e uma preocupação com o risco de fornecimento, divergindo do decisor A. Outro ponto que chama a atenção é a baixa importância ao impacto ambiental, que segundo o decisor já possui regulamentações que fazem o controle, e o impacto social, justificando que uma possível internalização não altera de forma significativa a imagem da empresa devido a não impactar diretamente o produto final (motor elétrico). Essa abordagem demonstra uma preocupação mais pragmática e orientada para resultados quando comparada com o decisor A.

Decisor C	Custo	Qualidade	Flex.	Fornec.	Ambiental	Social	Melhoria	4,76% (Consistente) Normalização
Custo	0	2	2	2	3	3	3	0,321
Qualidade	-2	0	0	0	1	2	1	0,167
Flex.	-2	0	0	0	1	2	1	0,167
Fornec.	-2	0	0	0	1	2	1	0,167
Ambiental	-3	-1	-1	-1	0	1	-1	0,071
Social	-3	-2	-2	-2	-1	0	-2	0,001
Melhoria	-3	-1	-1	-1	1	2	0	0,107

Figura 14 - Ponderação de critérios Decisor C

Na Figura 14 o decisor C destaca, assim como os decisores anteriores, a importância do critério custo. O decisor destaca que os critérios qualidade, flexibilidade e risco de fornecimento são equivalentes em processos de internalização, possuindo uma alta importância na tomada de decisão. Assim como o decisor B, destaca a baixa importância ao impacto social.

Decisor D	Custo	Qualidade	Flex.	Fornec.	Ambiental	Social	Melhoria	4,76% (Consistente) Normalização
Custo	0	1	1	1	3	3	2	0,241
Qualidade	-1	0	1	1	3	3	2	0,223
Flex.	-1	-1	0	1	3	3	2	0,205
Fornec.	-1	-1	-1	0	3	2	2	0,179
Ambiental	-3	-3	-3	-3	0	-1	-3	0
Social	-3	-3	-3	-2	1	0	-2	0,036
Melhoria	-2	-2	-2	-2	3	2	0	0,116

Figura 15 - Ponderação de critérios Decisor D

O decisor D demonstra uma visão mais ponderada, conforme vê-se na Figura 15, ainda que coloque custo como sendo o critério mais importante, mantém bastante próximo na avaliação os critérios qualidade, flexibilidade e risco de fornecimento.

O decisor destaca que impacto ambiental seria o menos relevante para esta avaliação, uma vez que o consumo de matéria-prima independente da internalização não sofreria grandes alterações, ou seja, não sendo relevante durante a tomada de decisão.

Na Figura 16 percebe-se que o decisor E evidencia uma clara prioridade para o critério de custo, em sintonia com os outros decisores. Assim como o decisor C, ele ressalta a importância igual dos critérios de qualidade, flexibilidade e risco de fornecimento, considerando-os de alta relevância, logo abaixo do custo. Além disso, ele enfatiza a pouca importância do impacto social, argumentando que não percebe um impacto significativo neste aspecto ao considerar a internalização de processos.

Decisor E	Custo	Qualidade	Flex.	Fornec.	Ambiental	Social	Melhoria	0% (Consistente) Normalização
Custo	0	2	2	2	3	3	3	0,338
Qualidade	-2	0	0	0	2	2	1	0,182
Flex.	-2	0	0	0	2	2	1	0,182
Fornec.	-2	0	0	0	2	2	1	0,182
Ambiental	-3	-2	-2	-2	0	1	-1	0,026
Social	-3	-2	-2	-2	-1	0	-1	0
Melhoria	-3	-1	-1	-1	1	1	0	0,091

Figura 16 - Ponderação de critérios Decisor E

Uma vez desenvolvidas as matrizes de preferências com base nas contribuições dos decisores, tornou-se importante garantir a consistência destes processos para garantir a fiabilidade dos resultados. Utilizando o modelo SAPEVO-M foi possível avaliar de forma sistemática e rigorosa a consistência das matrizes geradas. Os resultados revelaram convergência significativa, indicando que as preferências dos decisores são coerentes e robustas. Este estudo forneceu informações valiosas, centrando-se na estabilidade e fiabilidade das preferências ao longo do processo de tomada de decisão, o que é fundamental para identificar e selecionar as alternativas mais adequadas.

Realizando a agregação dos dados, é possível perceber o panorama geral das opiniões dos decisores, conforme demonstra a Figura 17. Desta forma, destaca-se o custo como sendo o critério mais fundamental nas avaliações para o processo de internalização, representando um peso de 29,20% no momento da tomada de decisão. Em seguida, com um distanciamento relevante em relação ao critério custo, destacam-se a qualidade e a flexibilidade, critérios que demonstram uma preocupação direta com o produto que será alvo da internalização. Por fim,

como critérios menos relevantes para avaliação, temos o impacto ambiental e o impacto social. O impacto ambiental foi destacado como de menor importância, representando 3,14%, devido aos decisores argumentarem que não é necessário se preocupar muito com este ponto, uma vez que a empresa já possui um regulamento firme que garante o mínimo impacto ambiental das atividades realizadas internamente. Quanto ao aspecto do impacto social, os decisores, com exceção do decisor A, que julgou como critério de maior relevância, destacaram que haveria pouco impacto na comunidade e na imagem da empresa, não sendo de avaliação fundamental.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Custo	0,262	0,298	0,321	0,241	0,338	0,2920
Qualidade	0,191	0,179	0,167	0,223	0,182	0,1884
Flex.	0,107	0,214	0,167	0,205	0,182	0,1750
Fornec.	0,001	0,131	0,167	0,179	0,182	0,1318
Ambiental	0,036	0,024	0,071	0,001	0,026	0,0314
Social	0,286	0,001	0,001	0,036	0,001	0,0646
Melhoria	0,119	0,155	0,107	0,116	0,091	0,1176

Figura 17 - Agregação de ponderações de critérios

Desta forma, após a avaliação e ponderação de critérios, inicia-se a segunda etapa de avaliação dos resultados no método SAPEVO-M, a avaliação das alternativas em função dos critérios.

Realizando uma avaliação intracritério considerando custo em função das alternativas, obteve-se a Figura 18.

Nesse sentido, no que diz respeito ao critério de custo, nota-se uma convergência entre os decisores em relação ao cenário de montagem. Com exceção do decisor B, que considerou o cenário da serraria como o mais promissor, os demais optam pelo cenário de montagem devido ao retorno mais atrativo, destacando o payback associado a esse cenário como bastante promissor (Apêndice H) . O decisor B mencionou que, apesar do payback menor no cenário de montagem, o cenário da serraria oferece um ganho anual interessante (Apêndice L). Ele justificou que, ao internalizar mais processos, a empresa retira a margem de lucro das empresas fornecedoras, o que permite à WEG obter uma maior margem de lucro no médio prazo. Portanto, ele enxerga um potencial significativo no aspecto de custo para o cenário da serraria.

Por outro lado, os decisores C e D argumentam que o cenário de substituição de fornecedores seria mais vantajoso do ponto de vista de custo. Eles justificam que o baixo retorno financeiro do cenário da serraria torna o ganho anual pouco atraente e traz consigo incertezas para o futuro. Nesse sentido, consideram que a troca de fornecedores, que poderia incluir a adição de novos fornecedores, estimula uma concorrência mais acirrada pelo material. Apesar da incerteza ainda presente devido à falta de informações sobre a quantidade de entregas e o

impacto nos estoques, os decisores afirmam que, a longo prazo, essa maior competição poderia resultar em economia de custos pela competitividade. Por outro lado, o decisor E adota uma abordagem mais imediatista e argumenta que o impacto nos estoques decorrente da distância dos novos fornecedores poderia aumentar consideravelmente os custos devido ao capital alocado parado, considerando este cenário como o pior neste requisito.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	-3	-1	0
Fornecedor	1	0	-3	-1	0,1
Montagem	3	3	0	2	0,65
Serraria	1	1	-2	0	0,25

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-2	-2	0
Fornecedor	0	0	-2	-2	0
Montagem	2	2	0	-1	0,438
Serraria	2	2	1	0	0,563

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	16,67% (Média consistência) Normalização
Manter atual	0	-3	-3	-2	0
Fornecedor	3	0	-2	1	0,313
Montagem	3	2	0	2	0,469
Serraria	2	-1	-2	0	0,219

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	-2	1	0,125
Fornecedor	1	0	-2	1	0,250
Montagem	2	2	0	2	0,625
Serraria	-1	-1	-2	0	0

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	1	-3	-1	0,1
Fornecedor	-1	0	-3	-1	0
Montagem	3	3	0	3	0,7
Serraria	1	1	-3	0	0,2

Figura 18 - Ponderação de alternativas em função de Custos

A análise AMD é essencial não apenas para identificarmos a melhor alternativa, mas também para compreendermos a pior alternativa. Nesse contexto, é importante analisarmos a insatisfação dos decisores em relação aos custos atuais dentro do critério de custo. Ao estratificar essa análise, observamos que o cenário atual foi avaliado de forma menos favorável, recebendo uma pontuação nula dos decisores A, B e C, e pontuações baixas dos decisores D e E, sendo 12,5% e 10%, respectivamente.

Dessa forma, a matriz agregada das ponderações das alternativas em função do critério custo ficou conforme demonstra a abaixo.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0	0	0	0,125	0,1	0,0450
Fornecedor	0,1	0	0,313	0,25	0	0,1326
Montagem	0,65	0,438	0,469	0,625	0,7	0,5764
Serraria	0,25	0,563	0,219	0	0,2	0,2464

Figura 19 - Agregação das alternativas em função de Custo

É crucial ressaltar que devido à significativa importância atribuída ao critério de custo durante a fase de avaliação dos critérios, o peso de 57,64% alcançado pelo cenário três, 03, exerce um impacto considerável sobre o resultado da análise.

O próximo critério avaliado foi a qualidade, que obteve o segundo maior grau de relevância, representando 18,84% do peso total da decisão. As matrizes de avaliação das alternativas estão representadas na Figura 20.

Neste critério, é possível observar um comportamento diferente em comparação ao critério de custo. Nota-se que as avaliações dos decisores não seguem um padrão definido. O critério de qualidade é principalmente baseado nos requisitos mínimos necessários para atender ao padrão de qualidade das embalagens. Esses critérios, como descritos anteriormente na seção 3.2.1, estipulam quais embalagens podem ser aceitas para utilização e quais devem ser devolvidas ao fornecedor ou reparadas. Considerando esses fatores e analisando a figura, é possível identificar três opiniões diferentes, cada uma delas devidamente justificada pelos decisores.

Há um grupo de decisores que acredita que a internalização resulta em uma melhoria na qualidade dos engradados, incluindo o decisor A e o decisor E, que são adeptos dessa ideia. Ambos argumentam que, ao internalizar, a empresa ganha maior controle sobre o processo produtivo, o que conseqüentemente eleva o nível de qualidade do produto. Além disso, afirmam que se torna mais fácil corrigir possíveis falhas de não conformidade.

Por outro lado, o decisor B adota uma perspectiva fundamentada no know-how e argumenta que, embora o processo de montagem e corte seja relativamente simples, o fornecedor detém

curva de aprendizagem e as melhores técnicas para esse tipo de fabricação, devido à sua especialização em trabalhar com madeira. Portanto, ele considera que a internalização poderia resultar na perda de qualidade do produto.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-1	-2	0
Fornecedor	0	0	-1	-2	0
Montagem	1	1	0	-1	0,333
Serraria	2	2	1	0	0,667

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	2	3	3	0,65
Fornecedor	-2	0	2	2	0,35
Montagem	-3	-2	0	0	0
Serraria	-3	-2	0	0	0

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	0	0	0,25
Fornecedor	0	0	0	0	0,25
Montagem	0	0	0	0	0,25
Serraria	0	0	0	0	0,25

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-1	1	0,25
Fornecedor	0	0	-1	1	0,25
Montagem	1	1	0	2	0,50
Serraria	-1	-1	-2	0	0

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-2	-2	0
Fornecedor	0	0	-2	-2	0
Montagem	2	2	0	-1	0,438
Serraria	2	2	1	0	0,563

Figura 20 – Ponderação de alternativas em função de Qualidade

Com base nessas duas perspectivas, temos ainda a opinião do decisor C, que expressa dúvidas sobre a capacidade de ganho ou perda de qualidade no processo de internalização. Devido a essa incerteza, ele considera todas as alternativas como equivalentes.

Outra posição intermediária é identificada no decisor D, que reconhece que a internalização da serraria seria excessiva em termos de know-how e poderia resultar em perda de qualidade. No entanto, ele acredita que a internalização apenas da montagem poderia significativamente reduzir as falhas de fixação, diminuindo as não conformidades.

Outro ponto fundamental a ser destacado é a consideração sobre manter o fornecedor atual ou realizar uma adição/troca de fornecedores. Com exceção do decisor B, os demais demonstram certa insegurança ou indiferença em relação a essa mudança. É importante salientar que, para essa avaliação, foram recebidos protótipos dos novos fornecedores, o que possibilitou uma prévia do trabalho oferecido.

O decisor B é especialmente enfático nesse ponto e argumenta que, apesar dos problemas de qualidade com o fornecedor atual, uma troca ou adição de novos fornecedores resultaria em ainda mais defeitos, uma vez que o fornecedor atual já possui o know-how necessário para a fabricação.

Essa análise destaca a complexidade envolvida na redução de incertezas durante o processo de tomada de decisão. Apesar dos esforços para informatizar as alternativas, obtendo amostras de novos fornecedores e conduzindo extensivas pesquisas sobre os métodos de fabricação de engradados, inclusive por meio de reuniões com a empresa matriz, que já possui a fabricação internalizada, os tomadores de decisão apresentam perspectivas divergentes em relação ao critério de qualidade. Como resultado, a Figura 21 com os dados unificados reflete uma leve preferência pelo cenário da montagem e um certo nível de desinteresse na troca de fornecedores.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0	0,65	0,25	0,25	0	0,230
Fornecedor	0	0,35	0,25	0,25	0	0,170
Montagem	0,333	0	0,25	0,5	0,438	0,304
Serraria	0,667	0	0,25	0	0,563	0,296

Figura 21 - Agregação das alternativas em função de Qualidade

O terceiro critério avaliado foi a flexibilidade, que, com uma pontuação de 17,50% em termos de relevância, fica atrás apenas dos dois critérios anteriormente apresentados, custo e qualidade, conforme demonstra a Figura 22.

Na matriz referente a este critério, é possível identificar uma clara inclinação dos decisores para o cenário da serraria. Com exceção do decisor C, os demais justificaram que ter uma linha de corte de madeira tornaria o processo mais flexível devido à praticidade de fazer alterações

em algum produto. Além disso, em caso de defeito ou avaria, bastaria fazer um novo corte em uma tábua e realizar a substituição na própria planta fabril.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	-2	-3	0
Fornecedor	1	0	-1	-2	0,167
Montagem	2	1	0	-2	0,292
Serraria	3	2	2	0	0,542

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	-1	-2	0
Fornecedor	1	0	-1	-1	0,188
Montagem	1	1	0	-1	0,313
Serraria	2	1	1	0	0,500

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	-3	-1	0
Fornecedor	1	0	-2	-1	0,15
Montagem	3	2	0	2	0,60
Serraria	1	1	-2	0	0,25

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	2	-1	-2	0,219
Fornecedor	-2	0	-3	-3	0
Montagem	1	3	0	-1	0,344
Serraria	2	3	1	0	0,438

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	1	-1	-2	0,125
Fornecedor	-1	0	-1	-2	0
Montagem	1	1	0	-1	0,313
Serraria	2	2	1	0	0,563

Figura 22 - Ponderação de alternativas em função de Flexibilidade

Além disso, todos os decisores avaliaram positivamente o cenário da montagem, argumentando que com um carpinteiro na planta fabril, seria mais prático e, portanto, mais flexível realizar alterações na embalagem.

A discordância entre os decisores surge na questão de manter o fornecedor atual versus trocar de fornecedores. Por um lado, os decisores A, B e C argumentam que manter apenas um fornecedor resulta em flexibilidade mínima, já que isso implica depender de um número reduzido de fornecedores. Eles observam que fazer alterações em um produto pode ser uma tarefa difícil devido à resistência à mudança e à alta capacidade de decisão atribuída ao fornecedor.

Por outro lado, o decisor D e E discordam desse ponto de vista. O decisor D argumenta que ter vários fornecedores torna a atividade de alteração de produto muito custosa. Em um processo de alteração de produto, notificar todos os fornecedores e esperar uma resposta adequada de cada um pode ser demorado e complexo. Por sua vez, o decisor E defende que ter fornecedores distantes e com menos frequência de fornecimento reduz a flexibilidade, preferindo um cenário com um número menor de fornecedores neste critério.

Desta forma, a matriz Agregação de ponderação dos decisores fica conforme a Figura 23.

Avaliando a matriz percebe-se a discrepância entre as alternativas de internalização versus as alternativas que não contemplam internalização. Desta forma fica ainda mais claro perceber a clara preferência dos decisores em internalizar no contexto de flexibilidade, critério fundamental em indústrias de manufatura que possuem alta variabilidade de produtos.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0	0	0	0,219	0,125	0,0688
Fornecedor	0,167	0,188	0,15	0	0	0,1010
Montagem	0,292	0,313	0,6	0,344	0,313	0,3724
Serraria	0,542	0,5	0,25	0,438	0,563	0,4586

Figura 23 -Agregação das alternativas em função de Flexibilidade

O critério de risco de fornecimento apresenta uma questão que requer uma avaliação detalhada, diferentemente dos demais critérios. Um aspecto crucial neste critério é a observação de que a mudança nas alternativas implica em alteração do produto a ser fornecido. Enquanto o cenário atual e a troca de fornecedores envolvem o fornecimento de engradados, o cenário da montagem requer tábuas cortadas, e o cenário da serraria procura tábuas e barrotes inteiros. É fundamental destacar este ponto de avaliação, uma vez que a alteração do produto a ser fornecido naturalmente implica em mudança de fornecedor conforme o cenário.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-2	3	3	0,393
Fornecedor	2	0	3	3	0,536
Montagem	-3	-3	0	1	0,071
Serraria	-3	-3	-1	0	0

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-3	-3	-3	0
Fornecedor	3	0	-1	-1	0,278
Montagem	3	1	0	-1	0,333
Serraria	3	1	1	0	0,389

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-2	-3	0
Fornecedor	0	0	-2	-3	0
Montagem	2	2	0	-2	0,35
Serraria	3	3	2	0	0,65

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-2	-1	2	0,214
Fornecedor	2	0	2	3	0,500
Montagem	1	-2	0	2	0,286
Serraria	-2	-3	-2	0	0

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-3	1	2	0,250
Fornecedor	3	0	2	3	0,583
Montagem	-1	-2	0	1	0,167
Serraria	-2	-3	-1	0	0

Figura 24 - Ponderação de alternativas em função de Risco de Fornecimento

Neste contexto, os decisores possuem pontos de vista divergentes, como demonstrado na Figura 24. Os decisores B e C consideram que o cenário da serraria oferece a maior segurança e menor dependência do fornecedor. De acordo com estes decisores, ao retroceder na cadeia de fornecimento, ou seja, da busca por engradados para tábuas e barrotes, torna-se mais fácil encontrar fornecedores menos suscetíveis a crises de desabastecimento. Ambos argumentam que, caso ocorra um aumento repentino de preço devido ao ciclo de preços do material, isso

seria refletido de forma menos abrupta ao buscar o fornecedor no início da cadeia de abastecimento.

No entanto, os decisores A, D e E discordam desse ponto de vista. Eles argumentam que, embora haja uma cadeia de fornecimento, os fornecedores de engradados já são clientes consolidados dos fornecedores de tábuas e barrotes. Assim, se a empresa buscar o fornecimento de madeira para engradados, haveria um alto risco, pois a empresa estaria totalmente exposta a novos fornecedores, com os quais não possui experiência em negociação. Portanto, esses decisores consideram que a melhor opção seria adicionar novos fornecedores, mantendo o fornecimento do produto ao qual a empresa já está acostumada, mas com uma base de fornecedores mais diversificada, tornando o sistema mais robusto e menos dependente de um único fornecedor.

Um ponto em comum observado entre os decisores é que nenhum considera o cenário da montagem como sendo o menos favorável. Isso ocorre porque os decisores que concordam que a serraria possui o melhor sistema de fornecimento mantêm a coerência ao afirmar que, como tábuas representam um avanço em relação ao fornecimento de engradados, esse cenário seria favorável. Por outro lado, os decisores que defendem a troca de fornecedores acreditam que seria viável usar os mesmos fornecedores de engradados para o fornecimento de tábuas, o que também tornaria esse cenário interessante.

Outro ponto relevante é que todos os decisores reconhecem uma fragilidade relacionada ao atual sistema de fornecimento de tábuas, devido à dependência de poucos fornecedores. Portanto, todos concordam que o cenário da troca de fornecedores, interpretada como a adição de fornecedores, seria favorável em comparação com o momento atual.

Assim, na Figura 25 agregada, observa-se uma clara preferência pelo cenário de troca de fornecedor. Também se percebe que não há uma distância significativa de preferência entre as demais alternativas, embora o cenário atual seja considerado pela agregação das respostas dos decisores como o mais arriscado em termos de crises de desabastecimento ou suscetibilidade a aumentos repentinos de preço por parte do fornecedor.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0,393	0	0	0,214	0,25	0,1714
Fornecedor	0,536	0,278	0	0,5	0,583	0,3794
Montagem	0,071	0,333	0,35	0,286	0,167	0,2414
Serraria	0	0,389	0,65	0	0	0,2078

Figura 25 - Agregação das alternativas em função de Risco de Fornecimento

Já sobre impacto ambiental cada decisor apresentou perspectivas distintas, conforme vê-se na Figura 26, refletindo uma variedade de preocupações e prioridades relacionadas à sustentabilidade ambiental das alternativas propostos.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	0	3	0,333
Fornecedor	0	0	0	3	0,333
Montagem	0	0	0	3	0,333
Serraria	-3	-3	-3	0	0

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	2	0	-1	0,286
Fornecedor	-2	0	-2	-3	0
Montagem	0	2	0	-1	0,286
Serraria	1	3	1	0	0,429

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-1	1	3	0,344
Fornecedor	1	0	2	3	0,438
Montagem	-1	-2	0	2	0,219
Serraria	-3	-3	-2	0	0

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-1	1	0,25
Fornecedor	0	0	-1	1	0,25
Montagem	1	1	0	2	0,50
Serraria	-1	-1	-2	0	0

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	1	1	2	0,417
Fornecedor	-1	0	-1	2	0,250
Montagem	-1	1	0	2	0,333
Serraria	-2	-2	-2	0	0

Figura 26 - Ponderação de alternativas em função de Impacto Ambiental

O Decisor A considerou os três primeiras alternativas (manter como está, trocar fornecedor e montagem) como igualmente favoráveis em termos de impacto ambiental. No entanto, destacou o cenário da serraria como o pior, devido à sua percepção de que geraria muito resíduo e desperdício interno, evidenciando uma sensibilidade significativa em relação à eficiência dos processos e à minimização de resíduos.

Por outro lado, o Decisor B apontou que trocar de fornecedor seria o pior cenário em termos de impacto ambiental, principalmente devido à distância dos fornecedores. Em contrapartida,

considerou o cenário da serraria como o melhor, argumentando que reduziria o transporte e melhoraria a taxa de emissão de carbono, ressaltando a importância da redução da pegada de carbono e da otimização da logística.

Já o Decisor C manifestou preferência por ter vários fornecedores como o melhor cenário, enquanto considerou a serraria como a pior opção devido aos resíduos de madeira gerados.

No caso do Decisor D, percebeu-se uma percepção de que manter o fornecedor atual ou trocar de fornecedores teria impactos ambientais semelhantes. No entanto, considerou que internalizar apenas a montagem seria a melhor opção, pois reduziria o transporte. Além disso, identificou o cenário da serraria como o pior devido ao resíduo de madeira, alinhando-se com a preocupação com a minimização de resíduos observada em outros decisores.

O Decisor E compartilhou a percepção de que o cenário da serraria é o pior devido ao resíduo de madeira. Sua preferência pelo cenário atual, onde o fornecedor está próximo, sugere uma valorização da proximidade geográfica como um fator-chave na avaliação do impacto ambiental, possivelmente associada a preocupações com emissões de carbono relacionadas ao transporte.

Em resumo, a análise das opiniões dos decisores ressalta a complexidade das considerações ambientais envolvidas na tomada de decisão sobre a internalização do fabrico de engradados. Há um consenso em relação à desvantagem do cenário da serraria devido à geração de resíduos de madeira, mas a diversidade de perspectivas destaca a importância de uma abordagem holística e ponderada na avaliação dos impactos ambientais das diferentes alternativas propostas.

Portanto, ao agregar as opiniões dos decisores na Figura 27, percebe-se uma leve preferência pelo cenário da montagem, seguido pelo cenário atual. No entanto, o destaque principal é para uma clara não preferência pelo cenário da serraria.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0,333	0,286	0,344	0,25	0,417	0,326
Fornecedor	0,333	0	0,438	0,25	0,25	0,2542
Montagem	0,333	0,286	0,219	0,5	0,333	0,3342
Serraria	0	0,429	0	0	0	0,0858

Figura 27 - Agregação das alternativas em função de Impacto Ambiental

Ao analisar as perspectivas dos decisores sobre o impacto social da internalização do fabrico de engradados na indústria de motores elétricos, é possível identificar algumas tendências comuns entre suas opiniões, conforme Figura 28.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-2	-3	-3	0
Fornecedor	2	0	-1	-2	0,219
Montagem	3	1	0	-1	0,344
Serraria	3	2	1	0	0,438

Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-2	-2	0
Fornecedor	0	0	-2	-2	0
Montagem	2	2	0	-1	0,438
Serraria	2	2	1	0	0,563

Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	-2	0	3	0,281
Fornecedor	2	0	2	3	0,469
Montagem	0	-2	0	2	0,250
Serraria	-3	-3	-2	0	0

Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	-1	1	0,25
Fornecedor	0	0	-1	1	0,25
Montagem	1	1	0	3	0,50
Serraria	-1	-1	-3	0	0

Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0% (Consistente) Normalização
Manter atual	0	0	0	0	0,25
Fornecedor	0	0	0	0	0,25
Montagem	0	0	0	0	0,25
Serraria	0	0	0	0	0,25

Figura 28 - Ponderação de alternativas em função de Impacto Social

A maioria dos decisores expressou preocupação com a imagem da empresa e sua relação com a comunidade. Eles reconhecem a importância de gerar mão de obra e fortalecer os laços com a comunidade como aspectos-chave para melhorar a reputação da empresa e promover uma imagem positiva.

Por exemplo, tanto o Decisor A quanto o Decisor B enfatizam a necessidade de considerar alternativas que aumentem a mão de obra e melhorem a relação com a comunidade. Ambos destacam que as alternativas de montagem e, em particular, o melhor cenário da serraria podem contribuir positivamente para esses aspectos.

Por outro lado, o Decisor C adota uma abordagem mais conservadora, priorizando a preservação da imagem da empresa e evitando alternativas que possam gerar resíduos internos. Ele prefere o cenário de troca de fornecedor como uma medida para evitar possíveis impactos negativos na reputação da empresa.

Já o Decisor D destaca a importância de evitar o excesso de resíduos, considerando que isso pode afetar negativamente a imagem da empresa. No entanto, ele vê a internalização da montagem como uma alternativa viável, pois pode gerar empregos sem gerar tantos resíduos quanto o cenário da serraria.

Por fim, o Decisor E demonstra uma posição neutra em relação às alternativas propostas, indicando uma falta de preferência clara em termos de impacto social.

Portanto, ao realizar a agregação dos dados e calcular o somatório na Figura 29, observa-se que, em média, o cenário que se destaca pelo melhor impacto social é o da montagem. Isso se deve ao aumento do número de colaboradores, à inclusão de uma nova função na fábrica e evitar a geração de resíduos associada ao cenário da serraria. Por outro lado, o cenário atual recebe a avaliação mais baixa, sendo considerado pelos decisores como pouco atrativo para este critério.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0	0	0,281	0,25	0,25	0,1562
Trocar Fornecedor	0,219	0	0,469	0,25	0,25	0,2376
Montagem	0,344	0,438	0,25	0,5	0,25	0,3564
Serraria	0,438	0,563	0	0	0,25	0,2502

Figura 29 - Agregação das alternativas em função de Impacto Social

Com base nas opiniões dos decisores sobre a capacidade de melhoria das diferentes alternativas de internalização, representados na Figura 30, podemos observar algumas tendências comuns e divergentes:

Tanto o Decisor A quanto o Decisor B coincidem ao destacar a serraria como o cenário com a maior capacidade de melhoria, seguido pela montagem e troca de fornecedor. A opção de manter como está é considerada por ambos a menos favorável para melhorias.

Decisor A	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	33,33%
					(inconsistente)
					Normalização
Manter atual	0	-3	-3	-3	0
Fornecedor	3	0	-2	-3	0,194
Montagem	3	2	0	-1	0,361
Serraria	3	3	1	0	0,444
Decisor B	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0%
					(Consistente)
					Normalização
Manter atual	0	-2	-2	-3	0
Fornecedor	2	0	-1	-1	0,250
Montagem	2	1	0	-1	0,321
Serraria	3	1	1	0	0,429
Decisor C	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0%
					(Consistente)
					Normalização
Manter atual	0	-1	-3	-1	0
Fornecedor	1	0	-2	-1	0,15
Montagem	3	2	0	2	0,60
Serraria	1	1	-2	0	0,25
Decisor D	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0%
					(Consistente)
					Normalização
Manter atual	0	0	-3	-1	0
Fornecedor	0	0	-3	-1	0
Montagem	3	3	0	2	0,75
Serraria	1	1	-2	0	0,25
Decisor E	Atual	Fornecedor	Montagem	Serraria	0%
					(Consistente)
					Normalização
Manter atual	0	-1	-3	-1	0
Fornecedor	1	0	-2	1	0,25
Montagem	3	2	0	3	0,65
Serraria	1	-1	-3	0	0,10

Figura 30 - Ponderação de alternativas em função de Capacidade de Melhoria

O Decisor C compartilha uma opinião semelhante ao considerar a montagem como o cenário com maior potencial de melhoria, argumentando que melhorar uma serraria por falta de know-how seria complicado. Ele classifica o cenário atual como o pior em termos de capacidade de melhoria.

Por outro lado, o Decisor D adota uma abordagem mais radical ao pontuar o cenário da montagem como o de maior destaque em termos de capacidade de melhoria, seguido pela serraria, enquanto as outras duas alternativas são considerados os piores, com 0 pontos.

O Decisor E concorda com a visão do Decisor C de que a montagem é o cenário com mais capacidade de melhoria. No entanto, ele prefere a troca de fornecedor em vez da serraria como o próximo melhor cenário, mantendo os dois com baixos pontos, e considerando o cenário de manter como está como o menos favorável para melhorias.

A análise consolidada dos dados, conforme Figura 31, revela uma preferência notável dos decisores pelo cenário da montagem, seguido pela serraria e, por último, o cenário atual. Essa avaliação reflete a confiança da equipa na capacidade da empresa de avançar com os processos, graças à sua engenharia interna e aos planos de melhoria contínua. No entanto, alguns decisores ainda têm dúvidas sobre a eficiência de um processo tão diferente do convencional, como o corte de madeira. Devido a essa incerteza, o cenário mais bem posicionado acaba sendo o da montagem.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0	0	0	0	0	0
Fornecedor	0,194	0,25	0,15	0	0,25	0,1688
Montagem	0,361	0,321	0,6	0,75	0,65	0,5364
Serraria	0,444	0,429	0,25	0,25	0,1	0,2946

Figura 31 - Agregação das alternativas em função de Capacidade de Melhoria

Desta forma, a fim de uma melhor compreensão visual dos resultados, pode-se visualizar na Figura 32 o gráfico polar que representa as preferências das alternativas resultantes em função de cada critério.

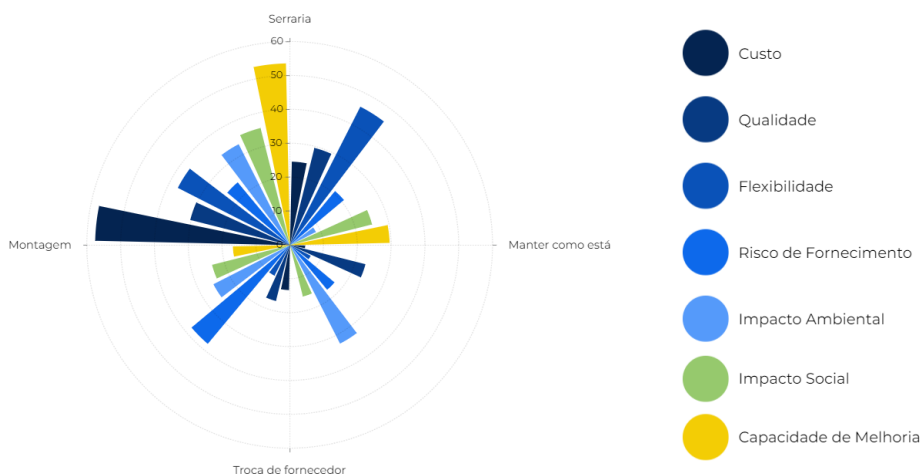


Figura 32 - Gráfico Polar das Matrizes (elaboração própria)

Por fim, após compreender as preferências dos decisores intracritério, e depois realizar uma comparação de cada critério em função das alternativas, é possível obter a Figura 33 resultante, denominada como Matriz de Decisão. Nesta, é possível observar qual a preferência de cada decisor, e com isso obter o resultado final das ponderações.

Agregação	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Resultante
Manter atual	0,0120	0,1230	0,0247	0,1780	0,1127	0,0900
Fornecedor	0,1416	0,1778	0,1979	0,2145	0,1352	0,1734
Montagem	0,4180	0,2973	0,4887	0,4887	0,4708	0,4327
Serraria	0,4285	0,4019	0,2887	0,1188	0,2812	0,3038

Figura 33 – Matriz de Decisão

Dessa forma, os resultados obtidos permitem concluir que a opção mais favorável é a internalização de uma área de montagem. Sob esta abordagem, a empresa concentraria seus esforços na montagem dos engradados de maior cadência de consumo, enquanto manteria a produção dos demais engradados e tábuas de forma terceirizada.

3.4.6. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade tem um papel fundamental no AMD, especialmente em ambientes que possuem um caráter dinâmico e complexo, como é o caso da indústria. Esse método permite realizar uma avaliação do impacto da variação nos critérios na seleção da melhor alternativa. Neste ponto será conduzido uma análise de sensibilidade a fim de investigar se possui uma solidez nas decisões tomadas em relação às variações nos dados de entrada.

O objetivo é avaliar a influência de cada critério na decisão final, bem como a estabilidade da decisão em uma eventual mudança nas preferências dos decisores envolvidos. Além disso, essa avaliação pode destacar alternativas e critérios que possuem fragilidades, as quais podem requerer uma investigação adicional.

Para isso foram feitas as variações dos parâmetros, identificadas com o código S1 ao S9. Em função disso na Figura 34 foram atribuídos novos pesos para os critérios.

A fim de manter uma lógica análise de sensibilidade, foi realizado da seguinte forma:

S1: Foi utilizado os valores reais obtidos durante o AMD a fim de servir como parâmetro para os demais valores;

S2: Foi simulado um cenário onde todos os critérios possuem o mesmo peso;

S3 à S9: Foi atribuído 40% do peso a um dos critérios. e 10% do peso aos demais seis critérios, a fim de avaliar a predominância de algum critério frente aos demais.

Critérios	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Custo	0,292	0,143	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Qualidade	0,188	0,143	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Flexibilidade	0,175	0,143	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Risco de Fornec.	0,132	0,143	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1
Imp. Ambiental	0,031	0,143	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1
Imp. Social	0,065	0,143	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
Capac. de melhoria	0,118	0,143	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4

Figura 34 - Simulação de pesos em critérios

Com isso, o gráfico que representa visualmente as variações dos pesos está identificado na Figura 35.

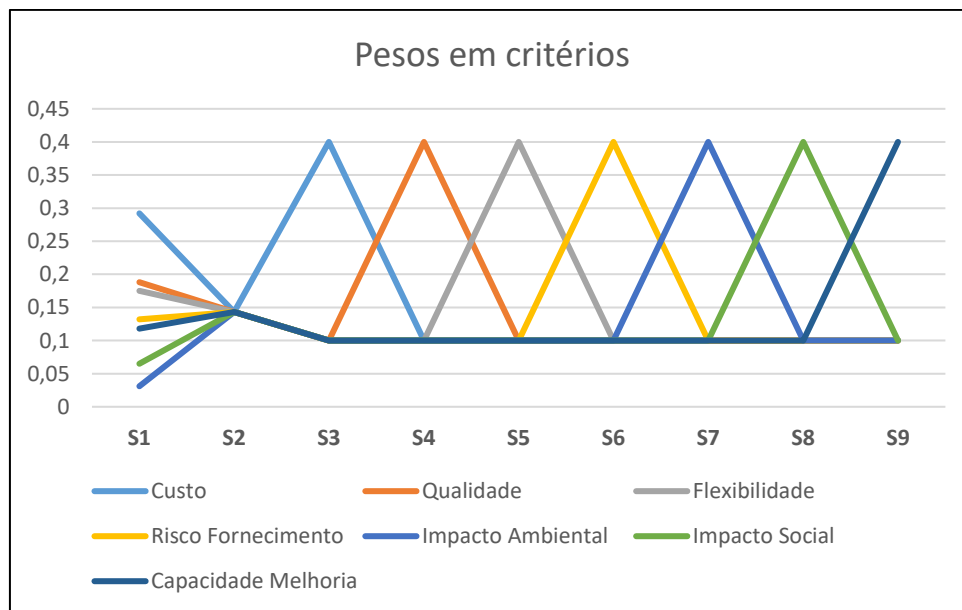


Figura 35 - Pesos em critérios (elaboração própria)

Após atribuição dos novos pesos aos critérios, foi recalculado as preferências finais dos decisores, em função das preferências de alternativas já estabelecidas. Os resultados de cada alternativa podem ser visualizados na Figura 36.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Manter atual	0,090	0,143	0,113	0,169	0,120	0,151	0,198	0,147	0,100
Fornecedor	0,173	0,206	0,184	0,195	0,175	0,258	0,221	0,216	0,195
Montagem	0,433	0,389	0,445	0,363	0,384	0,345	0,372	0,379	0,433
Serraria	0,304	0,263	0,258	0,273	0,322	0,246	0,210	0,259	0,272

Figura 36 - Pontuações das alternativas em simulação

Com isso foi gerado o gráfico da Figura 37 que demonstra de forma visual a interação de cada uma das alternativas em função das novas simulações.

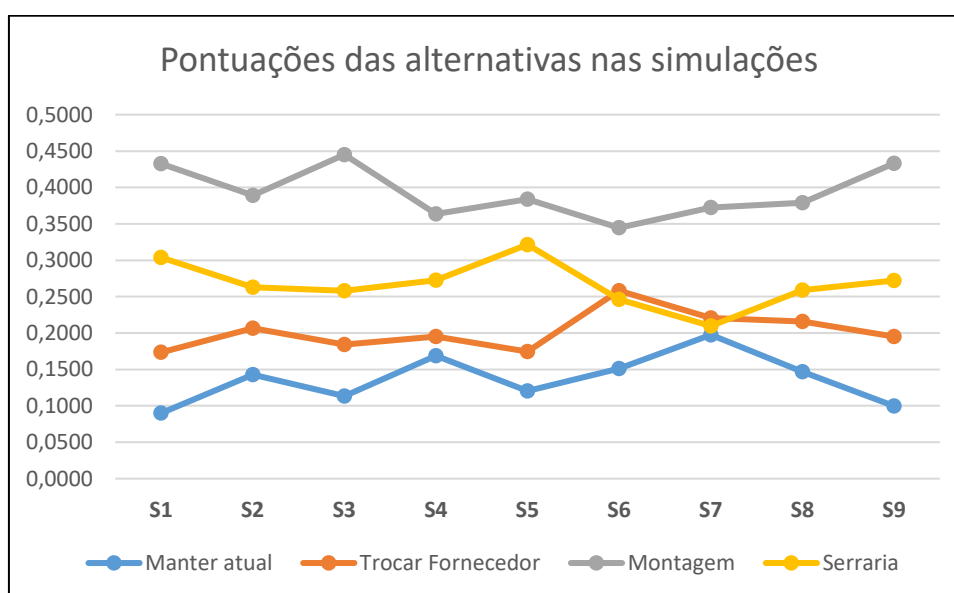


Figura 37 - Pontuações das alternativas nas simulações (elaboração própria)

Os resultados do gráfico na Figura 37 demonstraram que o cenário da montagem manteve consistentemente a sua posição dominante, como a melhor alternativa, em todas as variações realizadas, evidenciando sua solidez e adequação como escolha preferencial. Esta consistência ressalta a confiabilidade da decisão tomada neste cenário em face de diferentes alternativas e condições.

Por outro lado, o cenário da serraria, considerado inicialmente como a segunda melhor opção, revelou uma sensibilidade significativa às variações nos critérios de avaliação. Em alguns momentos, a posição relativa deste cenário foi alterada, podendo não mais se manter como a segunda melhor opção, dependendo do critério predominante.

Consequentemente, o cenário da troca de fornecedores, que também apresentou uma certa sensibilidade, surgiu como uma alternativa competitiva para ocupar a posição de segunda

melhor opção. Esta mudança na classificação destaca a importância de considerar a sensibilidade das alternativas ao tomar decisões, especialmente em ambientes de incerteza.

É relevante observar que, em todas as variações realizadas, a alternativa de manter como está foi consistentemente classificada como a última opção. No entanto, a distância entre a alternativa de manter como está e as alternativas de terceiro e segundo lugar foi mínima. Isso indica que alterações nos critérios de avaliação podem gerar uma reorganização das alternativas não selecionados, resultando em uma competição mais acirrada entre as alternativas.

Estes resultados demonstram a importância de realizar uma análise de sensibilidade em AMD, a fim de compreender a estabilidade da tomada de decisão. Desta forma, reconhecendo as interações, os decisores podem tomar decisões mais informadas e compreender as alterações que são geradas diante de mudanças de preferências.

4. Resultados e discussão

Neste capítulo, o objetivo principal é fazer uma análise rigorosa dos resultados. O foco desta investigação é duplo: avaliar o impacto das decisões tomadas neste contexto e esclarecer as motivações subjacentes dos decisores que orientaram as suas deliberações.

4.1. Análise de resultados

Após a construção da matriz de resultados e realização da análise de resultados, é necessário avaliar a resultante e refletir sobre o impacto gerado por esta tomada de decisão.

Portanto é possível verificar através do gráfico da Figura 38 gerado a partir da **Error! Reference source not found.**, que existe uma clara preferência por parte dos decisores na internalização da montagem de engradados. Neste cenário é previsto a criação de uma linha de montagem de engradados em série, abrangendo os engradados mais utilizados, gerando uma internalização de aproximadamente 73% de todo o consumo de engradados da fábrica, mantendo somente o restante 27% de forma terceirizada para os fornecedores.

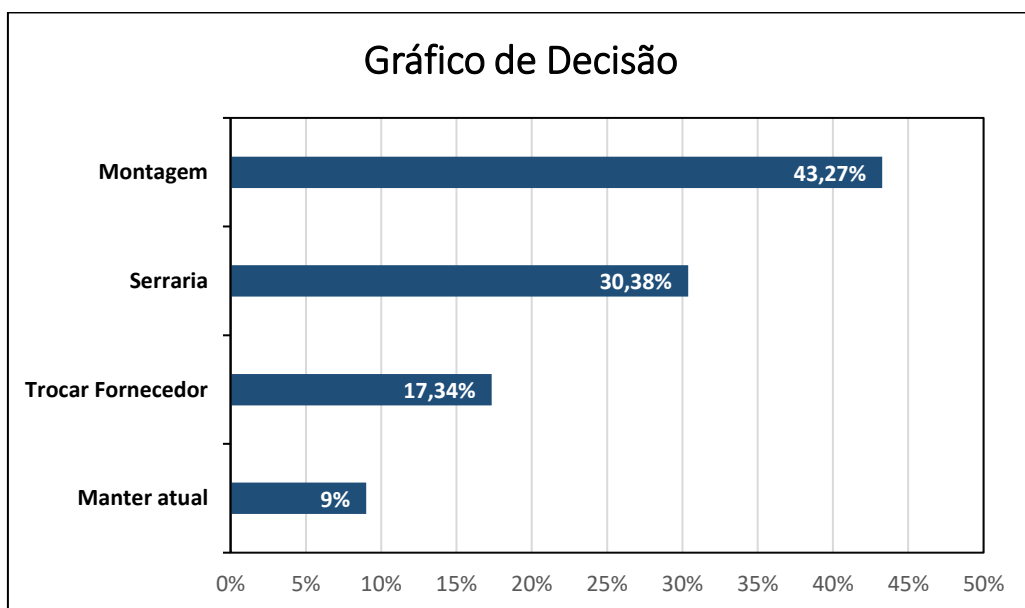


Figura 38 - Gráfico de Decisão

O motivo principal para o desempenho elevado da montagem em relação aos demais critérios é o custo. Este foi avaliado como o critério mais importante para a tomada de decisão, demonstrando a melhor performance entre os demais critérios e correspondendo 57,64% da distribuição de decisão. Tal facto deve-se aos valores apresentados no Apêndice H, que indicam um payback de 0,63 ano, representando uma capacidade de retorno de valor a curto prazo. Além do custo, observa-se que, quando comparado ao atual cenário, a linha de montagem proporciona uma flexibilidade maior na linha de produção. Desta forma, torna-se possível alterar com maior facilidade as prioridades, realizar ajustes em embalagens que apresentem defeitos e modificar o produto conforme as alterações de procura.

O cenário também proporciona uma melhoria na qualidade, uma vez que, neste contexto, o know-how associado ao trabalho com madeira é bastante reduzido, sendo mais um conhecimento associado às linhas de produção, especialidade da fábrica onde o estudo foi desenvolvido. Isso justifica claramente a vantagem no requisito de capacidade de melhoria, uma vez que, a médio prazo, seria possível utilizar os engenheiros da empresa para gerar melhorias na linha de produção, possibilitando a redução de custos e o aumento da eficiência.

O impacto social gerado foi avaliado como positivo, pois com a internalização aumenta o número de empregos internos e demonstra a capacidade da empresa de agregar valor em todas as etapas do produto. Do ponto de vista do impacto ambiental, também foi positivo, pois dessa forma aumentaria a capacidade de transporte de madeira em m³ dos fornecedores, reduzindo as emissões de carbono por unidade transportada, e não aumentaria os níveis de perda de material, já que não envolveria processos de corte de madeira.

O ponto de preocupação dos decisores está mais relacionado ao fornecimento de matéria-prima. Apesar de apresentar uma ponderação mediana, o cenário apresenta um certo risco devido à necessidade de alteração dos produtos a serem fornecidos. Com a implementação do cenário de montagem, seria necessário entrar em contato com os fornecedores atuais para realizar a mudança do produto para tábuas, o que poderia reduzir parte da margem do fornecedor e não ser bem recebido. É evidente que este ponto poderia ter sido avaliado antes da implementação. No entanto, devido às dinâmicas de mercado, poderia gerar uma situação de impasse com os fornecedores, demonstrando que a empresa possui níveis de insatisfação com o produto atual e gerando uma situação desfavorável com o parceiro comercial.

A solução neste caso seria buscar novos fornecedores, o que traz todos os riscos de estabelecer novas relações comerciais para uma determinada matéria-prima. Além deste fator, um ponto levantado pelo setor de compras é que, ao reduzir a quantidade de engradados encomendados, é plausível que os fornecedores não tenham mais interesse em fazer negócio, pois em geral as empresas que prestam esse serviço preferem trabalhar com produção em escala, o que é compreensível devido à capacidade de reduzir custos de produção e ganhar margem.

Por fim, um último ponto que precisa de uma avaliação mais profunda, e que não foi definido no estudo, é quem seria o responsável pelas alterações no controlo de tratamento fitossanitário das tábuas. Conforme descrito no estudo, foi informado o procedimento estabelecido pelo ICNF, foram recolhidos os documentos necessários e as limitações para o correto atendimento

do Decreto-Lei n.º 95/2011. Esta lei prevê, para empresas que trabalham com a montagem final dos engradados, a compra das tábuas com fumigamento, sendo necessário somente realizar o correto armazenamento e posterior demarcação com selo. No entanto, durante a implementação, seria necessário designar um responsável técnico interno para o controlo de auditorias e adequação do processo, sendo o principal papel garantir os corretos armazenamentos dos lotes comprados com fumigamento das empresas parceiras.

Analisando individualmente, percebe-se que a escolha pelo cenário da montagem não foi algo trivial. Ao analisar o cenário da serraria, foram identificados pontos positivos, além de uma avaliação intermediária em critérios como custo, qualidade e capacidade de melhoria, que possuem um alto valor na decisão final. O cenário da serraria apresentou a melhor pontuação para flexibilidade de fabrico, o que é altamente explicativo. A criação de uma área de serraria e montagem permitiria à empresa ter uma flexibilidade quase completa, sendo necessário apenas alterar os planos de produção interno para a fabricação de um novo engradado.

No entanto, o cenário da serraria foi considerado negativo do ponto de vista ambiental, devido à empresa não possuir uma cadeia de produção com subprodutos de madeira, o que poderia resultar em muito desperdício de matéria-prima, uma situação que ocorre em menor escala em empresas que trabalham apenas com madeira.

Outro ponto que penalizou o cenário da serraria foi o risco de fornecimento, principalmente devido à mudança completa do produto a ser fornecido. Isso exigiria que a empresa criasse uma rede de fornecimento completamente nova, pois seria necessário buscar empresas que fornecessem madeira bruta em vez do produto acabado. A dinâmica de mercado de descontos por quantidade poderia penalizar esse fornecimento, já que, em comparação com empresas de fabricação de componentes de madeira, o consumo da empresa seria baixo, o que poderia aumentar os preços da matéria-prima.

Também é importante compreender que a aplicação de métodos AMD busca não apenas selecionar o melhor cenário, mas também compreender quais são as piores alternativas. Portanto, é evidente a insatisfação dos decisores com o cenário atual, que ficou na última posição de avaliação.

O alto custo associado à embalagem dos motores é o primeiro ponto que causa insatisfação na empresa. Essa insatisfação é aumentada ao perceber que os custos são principalmente de matéria-prima, o que limita as oportunidades de melhoria de processos internos para redução de custos, exigindo a avaliação de internalização de processos ou troca de fornecedor para reduzir custos.

Além disso, a perda de qualidade é uma preocupação dos decisores, o que, combinado com a baixa flexibilidade do cenário atual, reduz consideravelmente sua pontuação. Por fim, é consenso que manter o sistema como está não oferece nenhuma capacidade de melhoria para a empresa, o que indica uma forte disposição dos decisores para a mudança.

Ao analisar a troca de fornecedores, é possível identificar oportunidades de melhoria. No entanto, a principal penalidade aplicada a este cenário é a distância dos novos fornecedores selecionados. Apesar de oferecerem custos mais favoráveis, esses novos parceiros comerciais

exigiriam um estoque de produtos maior, resultando em um alto custo de capital imobilizado. Além disso, a flexibilidade seria comprometida, pois em caso de falhas de qualidade, o processo de correção seria demorado e custoso se comparado ao cenário atual, no qual o fornecedor está mais próximo e as falhas são rapidamente corrigidas. Conclui-se, portanto, que o cenário, conforme apresentado, não parece ser favorável. No entanto, resolver o problema específico relacionado à distância e à confiança nos novos fornecedores poderia resultar em uma melhoria significativa em sua ponderação.

Como a decisão para o cenário ideal é a convergência, este capítulo termina com uma estratégia clara para a empresa. Foi resultado de uma pesquisa criteriosa, considerando diversos critérios envolvidos no processo. Depois, escolhido o cenário, o próximo passo é implementar criteriosamente as estratégias identificadas, visando atingir os objetivos organizacionais estabelecidos.

5. Conclusão

Neste capítulo faz-se a conclusão desta dissertação, são apresentados os principais resultados da pesquisa e suas implicações. Além disso, são identificadas as limitações do estudo e sugeridas direções para pesquisas futuras. Por fim, são realizadas reflexões sobre o processo de pesquisa e suas contribuições para o avanço do conhecimento nesta área acadêmica.

5.1. Conclusão do trabalho

Esta dissertação propõe uma abordagem prática para a aplicação de um modelo AMD em um contexto industrial. Através dessa ferramenta, foi realizada uma avaliação da viabilidade da internalização do processo de fabricação de engradados em uma empresa de motores elétricos.

A contextualização e revisão bibliográfica foi conduzida de forma não extensiva, porém qualitativa, com o objetivo de compreender as metodologias, suas vantagens e limitações, relacionadas ao processo de seleção e aplicação de métodos. Além disso foi feita uma breve introdução sobre o produto de internalização, conduzindo a descrição de motores elétricos, drives e engradados, cumprindo o objetivo inicial de compreensão do processo através de busca de referencial bibliográfico.

O trabalho foi conduzido com o objetivo inicial de compreender o processo de fabricação de engradados, seguido por uma análise extensiva para a criação de alternativas viáveis para a solução. A análise técnica de cada alternativa foi realizada com base na informação recolhida e fornecida pela empresa para a elaboração da mesma. Este processo revelou-se de suma importância para a aplicação do AMD, permitindo uma compreensão dos pontos fundamentais de interesse dos decisores. A análise também identificou as fragilidades do processo e as principais dificuldades associadas à internalização. Isso contribuiu para que a modelagem de alternativas fosse mais informada, tratando incertezas e vieses.

Durante esta pesquisa, impulsionada pela busca por ferramentas aplicáveis em ambientes industriais, o método SAPEVO-M foi selecionado. O modelo demonstra ser altamente aplicável em um ambiente fabril, devido à sua elevada rastreabilidade e capacidade de lidar, além dos dados quantitativos, com dados qualitativos, que foram identificados durante a construção das alternativas.

Após a idealização das soluções, procedeu-se à definição da família coerente e consistente critérios por parte dos decisores, previamente definidos face ao objetivo e ao contexto decisional. Considerando que os critérios são os filtros pelos quais o decisor orientará sua

decisão, foi crucial estabelecê-los corretamente, pois critérios mal definidos levam a decisões que não refletem a realidade desejada. Portanto, foi necessário dedicar esforço à pesquisa e reflexão para a seleção adequada dos critérios. Por sua vez, os decisores foram identificados de forma mais natural, sendo aqueles envolvidos diretamente com o processo e que possuem capacidade de tomada de decisão.

As preferências dos decisores foram estruturalmente detalhadas, não somente de forma matemática através dos modelos matriciais, mas de forma extensiva, destacando as opiniões expressas durante a avaliação e aplicação do método AMD. Esta aplicação trouxe diferentes pontos de vista e discordâncias em questões pontuais durante o processo de tomada de decisão.

Estes diferentes pontos de vista são um processo natural na tomada de decisão, por vezes estão guiados por dados empíricos qualitativos que não são possíveis de quantificar, mas possuem um caráter importante no processo decisório. Esta é uma oportunidade para exemplificar o motivo das ferramentas AMD serem modelos de apoio a tomada de decisão, e não uma ferramenta definitiva e absoluta, já que a subjetividade da escolha esta sempre presente. É evidente que o objetivo é tratar os enviesamentos e a incerteza, transformando a tomada de decisão em algo mais racional e rastreável. Porém é ilusório dissociar a tomada de decisão da subjetividade. Conforme expresso nas ideias de Nietzsche (1886)(Friedrich Nietzsche, 1886), a realidade é complexa e multifacetada, não sendo possível alcançar uma visão objetiva e definitiva, pois o ser humano está sempre limitado por suas capacidades cognitivas e vieses das experiências pessoais.

Contudo, apesar desta perspectiva, é necessário perceber que ela não contradiz o uso de ferramentas como o AMD, pelo contrário, devido a este alto nível de subjetividade aliada ao mundo real, é que o ser humano precisa aplicar ferramentas que possam clarear e explicar suas escolhas. Dessa forma com o uso dos sete critérios selecionados, em conjunto com os cinco decisores os quais expressaram suas opiniões, foi possível selecionar o cenário da montagem com uma pontuação de 43,27%, como a melhor alternativa. Essa seleção sucedeu-se devido a sua alta capacidade de payback, o ganho em termos de qualidade e flexibilidade, além de uma alta capacidade de melhoria no médio prazo, no ponto de vista dos decisores. Com isso, por meio do uso de critérios estruturados e de um método robusto de aplicação, foi possível obter uma tomada de decisão mais informada.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

A dissertação apresentada, embora seja um caso de estudo realizado em conjunto com o chão de fábrica, escolhe a solução a implementar. Portanto, propõe-se como continuidade da pesquisa a implementação da decisão final de internalização da linha de montagem de engradados. Com essa internalização do processo seria possível validar o levantamento de dados que foi realizado, e conferir possíveis oportunidades de melhoria.

Propõe-se para trabalho futuro uma análise do critério custo separadamente dos outros critérios, uma vez que este critério é o único que possui uma escala de valores numérica,

Conclusão

poderia ser realizado uma normalização deste critério separadamente. A posterior realizaria a avaliação com uso do método SAPEVO-M do critério custo com os demais critérios.

Dando continuidade a utilização de recursos como matéria-prima e mão-de-obra no cenário implementado. Dessa forma poderia gerar uma relação de cenário teórico e cenário prático, destacando os pontos de melhoria que não foram avaliados no detalhe.

Por fim, o estudo também identificou uma oportunidade de aplicação do AMD na seleção de fornecedores. Durante a pesquisa, observou-se que a escolha dos fornecedores envolve aspectos como custo, distância, qualidade, entre outros. Dessa forma, seria viável modelar e aplicar um estudo utilizando o método AMD para selecionar os fornecedores, considerando uma ponderação adequada entre os critérios estabelecidos.

Referências

- Akram, M., Kahraman, C., & Zahid, K. (2021). Group decision-making based on complex spherical fuzzy VIKOR approach. *Knowledge-Based Systems*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.106793>
- Alvarez, P. A., Ishizaka, A., & Martínez, L. (2021). Multiple-criteria decision-making sorting methods: A survey. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 183). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115368>
- Ayan, B., Abacioğlu, S., & Basilio, M. P. (2023). A Comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi-Criteria Decision-Making. In *Information (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/info14050285>
- Ayvaz, S., & Alpay, K. (2021). Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time. *Expert Systems with Applications*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114598>
- Banihabib, M. E., Hashemi-Madani, F. S., & Forghani, A. (2017). Comparison of Compensatory and non-Compensatory Multi Criteria Decision Making Models in Water Resources Strategic Management. *Water Resources Management*, 31(12), 3745–3759. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1702-x>
- Barbosa-Póvoa, A. P., da Silva, C., & Carvalho, A. (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 268, Issue 2, pp. 399–431). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.036>
- Barratt, M., Choi, T. Y., & Li, M. (2011). Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of Operations Management*, 29(4), 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.06.002>
- Basílio, M. P., Pereira, V., Costa, H. G., Santos, M., & Ghosh, A. (2022). A Systematic Review of the Applications of Multi-Criteria Decision Aid Methods (1977–2022). In *Electronics (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/electronics11111720>
- Bastos, S. L. S. (2023). *Rendimento em madeira serrada, produtividade e custos de uma serraria automatizada*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Chai, J., Liu, J. N. K., & Ngai, E. W. T. (2013). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3872–3885. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.040>
- Chen, X., Zhou, B., Štilic, A., Stevic, Ž., & Puška, A. (2023). A Fuzzy–Rough MCDM Approach for Selecting Green Suppliers in the Furniture Manufacturing Industry: A Case Study of Eco-Friendly Material Production. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310745>
- Choudhary, A., Goyal, D., Shimi, S. L., & Akula, A. (2019). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Induction Motors: A Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 26(4), 1221–1238. <https://doi.org/10.1007/s11831-018-9286-z>
- Choudhary, A., Mishra, R. K., Fatima, S., & Panigrahi, B. K. (2023). Multi-input CNN based vibro-acoustic fusion for accurate fault diagnosis of induction motor. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105872>
- Cinelli, M., Kadziński, M., Gonzalez, M., & Słowiński, R. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. In *Omega (United Kingdom)* (Vol. 96). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102261>

Referências

- Corrente, S., Figueira, J. R., & Greco, S. (2014). The SMAA-PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 514–522. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.05.026>
- de Assis, G. S., dos Santos, M., & Basilio, M. P. (2023). Use of the WASPAS Method to Select Suitable Helicopters for Aerial Activity Carried Out by the Military Police of the State of Rio de Janeiro. *Axioms*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/axioms12010077>
- Dobner Júnior, M., Higa, A. R., & Rocha, M. P. da. (2012). Rendimento em Serraria de Toras de Pinus taeda: Sortimentos de Grandes Dimensões. *Floresta e Ambiente*, 19(3), 385–392. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.053>
- Ensslin, L., Gonçalves, A., Ensslin, S. R., Dutra, A., & Longaray, A. A. (2022). Constructivist multi-criteria model to support the management of occupational accident risks in civil construction industry. *PLoS ONE*, 17(6 6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270529>
- EPAL. (2010). ISPM15 - International Standard for Phytosanitary Measures. In *ISPM15 - International Standard for Phytosanitary Measures*. EPAL - European Pallet Association.
- Foerstl, K., Franke, H., & Cataldo, Z. (2021). What drives managers to insource production? Evidence from a behavioural experiment. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 27(4). <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2021.100715>
- Friedrich Nietzsche. (1886). *Beyond Good and Evil - Prelude to a Philosophy of the Future*.
- Gärtner Irzo Antonio Beckedorff, R. (2012). *Armazenagem e movimentação de materiais*.
- Gomes, C. F. S. ; G. L. F. A. M. (2019). *Princípios e métodos para a tomada de decisão: Enfoque multicritério* (6 ed.). Atlas .
- Gomes, C. F. S., Santos, M. Dos, Teixeira, L. F. H. de S. de B., Sanseverino, A. M., & Barcelos, M. R. D. S. (2020). Sapevo-m: A group multicriteria ordinal ranking method. *Pesquisa Operacional*, 40, 1–23. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2020.040.00226524>
- Hartman, P. L., Ogden, J. A., & Hazen, B. T. (2017). Bring it back? An examination of the insourcing decision. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 47(2–3), 198–221. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-09-2015-0220>
- Heinrich, D., & Alegre, P. (2010). *Simulação da Produção de Madeira Serrada*.
- Hughes, A., & Drury, B. (2019). *Electric Motors and Drives, fundamentals, types and applications* (5^oed). Joy Hayton.
- ISO. (2013). ISO 445:2013. In *ISO*.
- Jayant, A. (2018). *A Comprehensive Literature Review of MCDM Techniques ELECTRE, PROMETHEE, VIKOR and TOPSIS Applications in Business Competitive Environment*. <http://www.journalcra.com>
- Joseph, J., Gaba, V., Thank, W., Baumann, O., Bromiley, P., Csaszar, F., Eisenhardt, K., Greve, H., Koumakhov, R., Levinthal, D., Postrel, S., Puranam, P., & Ocasio, W. (2017). *Organizational Structure, Information Processing, and Decision Making: A retrospective and Roadmap for Research*.
- Kahneman, D. (2013). *Thinking Fast and Slow* (17^oedition). Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D., Rosenfield, A. M., Gandhi, L., & Blaser, T. (2016). *Kahneman on "Noise" DECISION MAKING Noise: How to Overcome the High, Hidden Cost of Inconsistent Decision Making*.
- Kahraman, C., Onar, S. C., & Oztaysi, B. (2015). Fuzzy Multicriteria Decision-Making: A Literature Review *. In *International Journal of Computational Intelligence Systems* (Vol. 8, Issue 4).
- Kangas, A., Kangas, J., & Pykäläinen, J. (2001). Outranking methods as tools in strategic natural resources planning. *Silva Fennica*, 35(2), 215–227. <https://doi.org/10.14214/sf.597>
- Kapliński, O., & Vilutienė, T. (2021). Creative trans-border cooperation in the field of operations research and sustainable development in civil engineering. In *Technological*

Referências

- and Economic Development of Economy* (Vol. 27, Issue 6, pp. 1613–1639). VGTU. <https://doi.org/10.3846/tede.2021.16112>
- Kaur, D., Uslu, S., Rittichier, K. J., & Duresi, A. (2023). Trustworthy Artificial Intelligence: A Review. In *ACM Computing Surveys* (Vol. 55, Issue 2). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3491209>
- Khandelwal, A., & Kumar, J. (2019). Applications of AI for Power Electronics and Drives Systems: A Review. *2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/i-PACT44901.2019.8960123>
- Kordestani, M., & Saif, M. (2021). Observer-Based Attack Detection and Mitigation for Cyberphysical Systems: A Review. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 7(2), 35–60. <https://doi.org/10.1109/msmc.2020.3049092>
- Lee, H. C., & Chang, C. Ter. (2018). Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 92, pp. 883–896). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.007>
- Lingom, P. M., Song-Manguelle, J., Doumbia, M. L., Flesch, R., & Jin, T. (2022). Electrical Submersible Pumps: A System Modeling Approach for Power Quality Analysis With Variable Frequency Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37(6), 7039–7054. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2021.3133758>
- Liu, Y., Eckert, C. M., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 161). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>
- Lopes, P. de O., Baptista, I. de S., Moreira, M. Â. L., Santos, M. dos, & Gomes, C. F. S. (2023). *Análise de Fornecedores Mediante Aplicação do Método Multicritério SAPEVO-M*.
- Macêdo-Junior, R. O., Serpa, F. S., Santos, B. L. P., Vaconcelos, C. R. de, Silva, G. F., Ruzene, D. S., & Silva, D. P. (2023). Produced water treatment and its green future in the oil and gas industry: a multi-criteria decision-making study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(2), 1369–1384. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04057-3>
- Maêda, S. M. do N., Costa, I. P. de A., Gomes, C. F. S., Santos, M. dos, Mota, I. S. da, & Teixeira, L. F. H. de S. de B. (2021). Economic and edaphoclimatic evaluation of Brazilian regions for African mahogany planting - an approach using the SAPEVO-M-NC ordinal method. *Procedia Computer Science*, 199, 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.196>
- Maghsoodi, A. I., Riahi, D., Herrera-Viedma, E., & Zavadskas, K. (2020). *An integrated parallel big data decision support tool using the W-CLUS-AMD: A multi-scenario personnel assessment* ☆. 195, 105749. <https://doi.org/10.1016/j.knosys>
- Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 263, Issue 1, pp. 1–17). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>
- Mengoni, M., Rizzoli, G., Zarri, L., Tani, A., Amerise, A., & Serra, G. (2019). Control of a Three-Phase Wound-Rotor Induction Motor Drive for Automation Applications. *2019 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*, 1267–1272. <https://doi.org/10.1109/IEMDC.2019.8785281>
- Moreira, M. Â. L. C. I. P. de A. S. M. dos; G. C. F. Simões. (2022). *SAPEVO-M Software Web (v.1)*.
- Moreira, M. Â. L., De Costa, I. P. A., Pereira, M. T., Dos Santos, M., Gomes, C. F. S., & Muradas, F. M. (2021). Promethee-sapevo-m1 a hybrid approach based on ordinal and cardinal inputs: Multi-criteria evaluation of helicopters to support Brazilian navy operations. *Algorithms*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/a14050140>

Referências

- Moreira, M. Â. L., Junior, M. A. P. D. C., De Araújo Costa, I. P., Gomes, C. F. S., Dos Santos, M., Basilio, M. P., & De Moura Pereira, D. A. (2022). Consistency Analysis Algorithm for the Multi-criteria Methods of SAPEVO Family. *Procedia Computer Science*, 214(C), 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.158>
- Moreira, M. Â. L., Silva, F. C. A., Costa, I. P. de A., Gomes, C. F. S., & Santos, M. dos. (2023). SAPEVO-H² a Multi-Criteria Systematic Based on a Hierarchical Structure: Decision-Making Analysis for Assessing Anti-RPAS Strategies in Sensing Environments. *Processes*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/pr11020352>
- Nădăban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: A General View. *Procedia Computer Science*, 91, 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088>
- Ng, N. L., Luke, D. M., & Gawronski, B. (2023). Moral judgment under uncertainty: A CNI model analysis. *European Journal of Social Psychology*, 53(6), 1055–1077. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2952>
- Nguyen, T. L., Nguyen, P. H., Pham, H. A., Nguyen, T. G., Nguyen, D. T., Tran, T. H., Le, H. C., & Phung, H. T. (2022). A Novel Integrating Data Envelopment Analysis and Spherical Fuzzy MCDM Approach for Sustainable Supplier Selection in Steel Industry. *Mathematics*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/math10111897>
- Nikolopoulos, K., Punia, S., Schäfers, A., Tsinopoulos, C., & Vasilakis, C. (2021). Forecasting and planning during a pandemic: COVID-19 growth rates, supply chain disruptions, and governmental decisions. *European Journal of Operational Research*, 290(1), 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.001>
- Nižetić, S., Djilali, N., Papadopoulos, A., & Rodrigues, J. J. P. C. (2019). Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 231, pp. 565–591). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.397>
- Odu, G. O. (2019). Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(8), 1449. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7>
- Oliveira, L. de F., Lima, L. de I., Garcia, J. N., & Florsheim, S. M. B. (2006). *Propriedades da Madeira de Pinus taeda L. em Função da Idade e da Posição Radial na Tora*.
- Pamučar, D., Stević, Ž., & Sremac, S. (2018). A new model for determining weight coefficients of criteria in MCDM models: Full Consistency Method (FUCOM). *Symmetry*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/sym10090393>
- Rajput, S., Farber, E., & Averbukh, M. (2021). Optimal selection of asynchronous motor-gearhead couple fed by vfd for electrified vehicle propulsion. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144346>
- Rönqvist, M., Martell, D., & Weintraub, A. (2023). Fifty years of operational research in forestry. In *International Transactions in Operational Research* (Vol. 30, Issue 6, pp. 3296–3328). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/itor.13316>
- Roy, D., Carrano, A. L., Pazour, J. A., & Gupta, A. (2016). Cost-effective pallet management strategies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 93, 358–371. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.06.005>
- Sařabun, W., Watróbski, J., & Shekhovtsov, A. (2020). Are AMD methods benchmarkable? A comparative study of TOPSIS, VIKOR, COPRAS, and PROMETHEE II methods. *Symmetry*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SYM12091549>
- SANTOS, M. dos; G. C. F. S. M. M. Â. L. C. I. P. de Araújo. (2023). *Ferramentas Computacionais de Apoio à Tomada de Decisão*. (1ª edição).
- Sellitto, M. A. (2018). Reverse logistics activities in three companies of the process industry. *Journal of Cleaner Production*, 187, 923–931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.262>

Referências

- Sennaroglu, B., & Varlik Celebi, G. (2018). A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.022>
- Shafique, K., Khawaja, B. A., Sabir, F., Qazi, S., & Mustaqim, M. (2020). Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT Scenarios. In *IEEE Access* (Vol. 8, pp. 23022–23040). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970118>
- Singh, M., & Pant, M. (2021). A review of selected weighing methods in MCDM with a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 12(1), 126–144. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-01033-3>
- Soltan, H., Janada, K., & Omar, M. (2023). FAQT-2: A customer-oriented method for MCDM with statistical verification applied to industrial robot selection. *Expert Systems with Applications*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120106>
- Sony, M., & Naik, S. (2020). Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in Society*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101248>
- Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., & Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018. In *Symmetry* (Vol. 11, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/sym11030350>
- Talavera, A., & Luna, A. (2020). Machine learning: A contribution to operational research. *Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 15(2), 70–75. <https://doi.org/10.1109/RITA.2020.2987700>
- Tenório, F. M., Moreira, M. Â. L., De Araújo Costa, I. P., Gomes, C. F. S., Dos Santos, M., Silva, F. C. A., Da Silva, R. F., & Basilio, M. P. (2022). SADEMON: The Computational Web Platform to the SAPEVO-M Method. *Procedia Computer Science*, 214(C), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.157>
- Usova, M. A., & Velkin, V. I. (2018). Possibility to Use Renewable Energy Sources for Increasing the Reliability of the Responsible Energy Consumers on the Enterprise. *2018 17TH International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED)*.
- Virmani, N., Sharma, S., Kurma, A., & Luthra, S. (2023). Adoption of industry 4.0 evidence in emerging economy: Behavioral reasoning theory perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122317>
- Von Neumann, J. e M. O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Wang, G. (2019). Preliminary Investigations of the Impact of Variable-Frequency Drive (VFD) Output Voltage on Motor Efficiency. *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE)*, 125(1).
- Wang, G., Wang, Z., Han, Z., & Rodriguez, R. D. (2019). Investigation of efficiency models in EnergyPlus and AMCA standard 207 for induction motors powered by variable frequency drives. *Energy and Buildings*, 196, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.045>
- Wang, H., Chau, K. T., Lee, C. H. T., Cao, L., & Lam, W. H. (2021). Design, Analysis, and Implementation of Wireless Shaded-Pole Induction Motors. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(8), 6493–6503. <https://doi.org/10.1109/TIE.2020.3007116>
- Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziembra, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). Generalised framework for multi-criteria method selection. *Omega (United Kingdom)*, 86, 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.07.004>
- Wu, Y., Zhang, J., Yuan, J., Geng, S., & Zhang, H. (2016). Study of decision framework of offshore wind power station site selection based on ELECTRE-III under intuitionistic fuzzy

Referências

- environment: A case of China. *Energy Conversion and Management*, 113, 66–81.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.020>
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: An overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397–427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>
- Zhu, W., De Gaetano, D., Chen, X., Jewell, G. W., & Hu, Y. (2022). A Review of Modeling and Mitigation Techniques for Bearing Currents in Electrical Machines With Variable-Frequency Drives. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 125279–125297). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3225119>
- Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. In *Expert Systems with Applications* (Vol. 78, pp. 158–181). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.016>

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Carlos Eduardo Loterio Matos

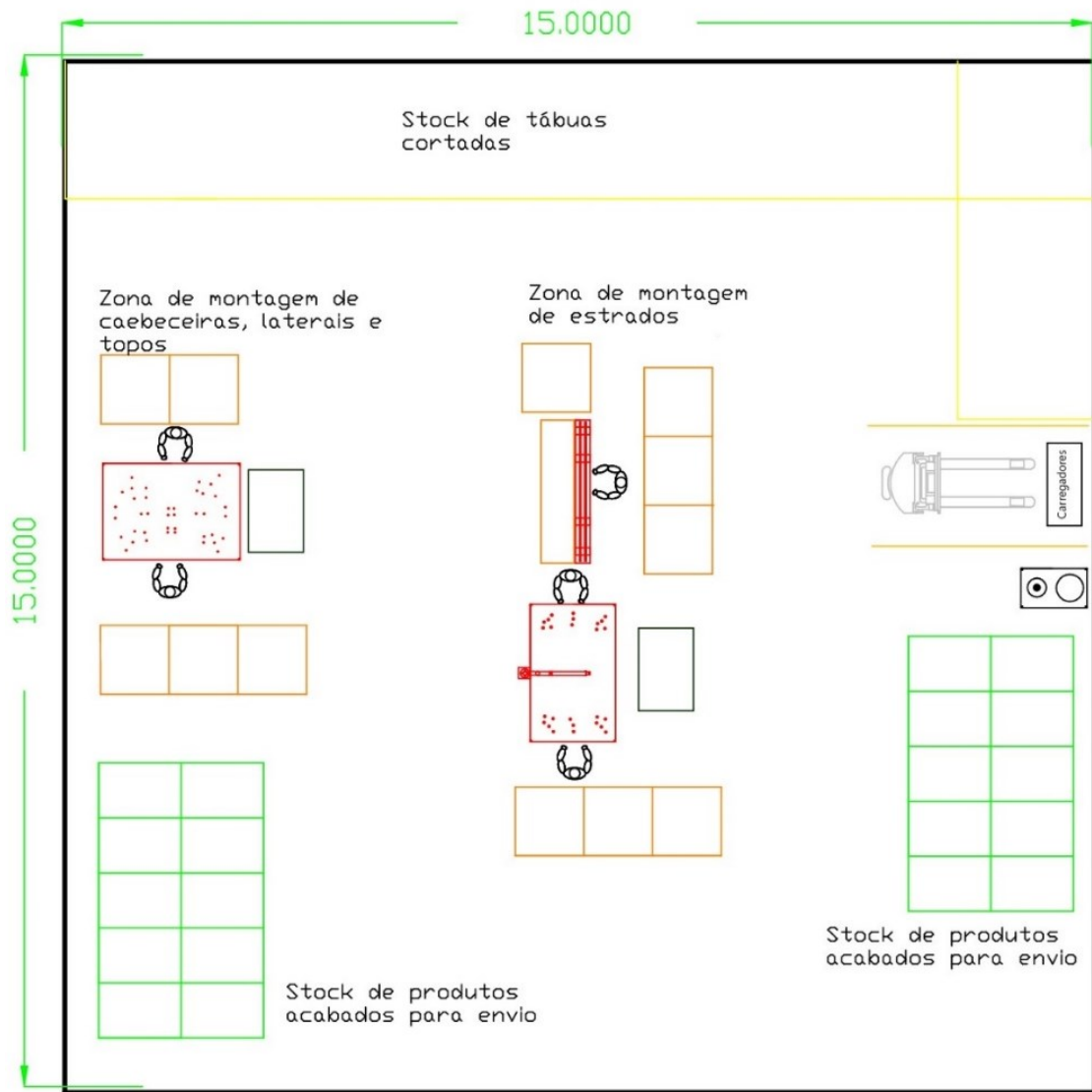
ISEP, Porto, 15 de Julho de 2024

Apêndice A – Custos do cenário atual

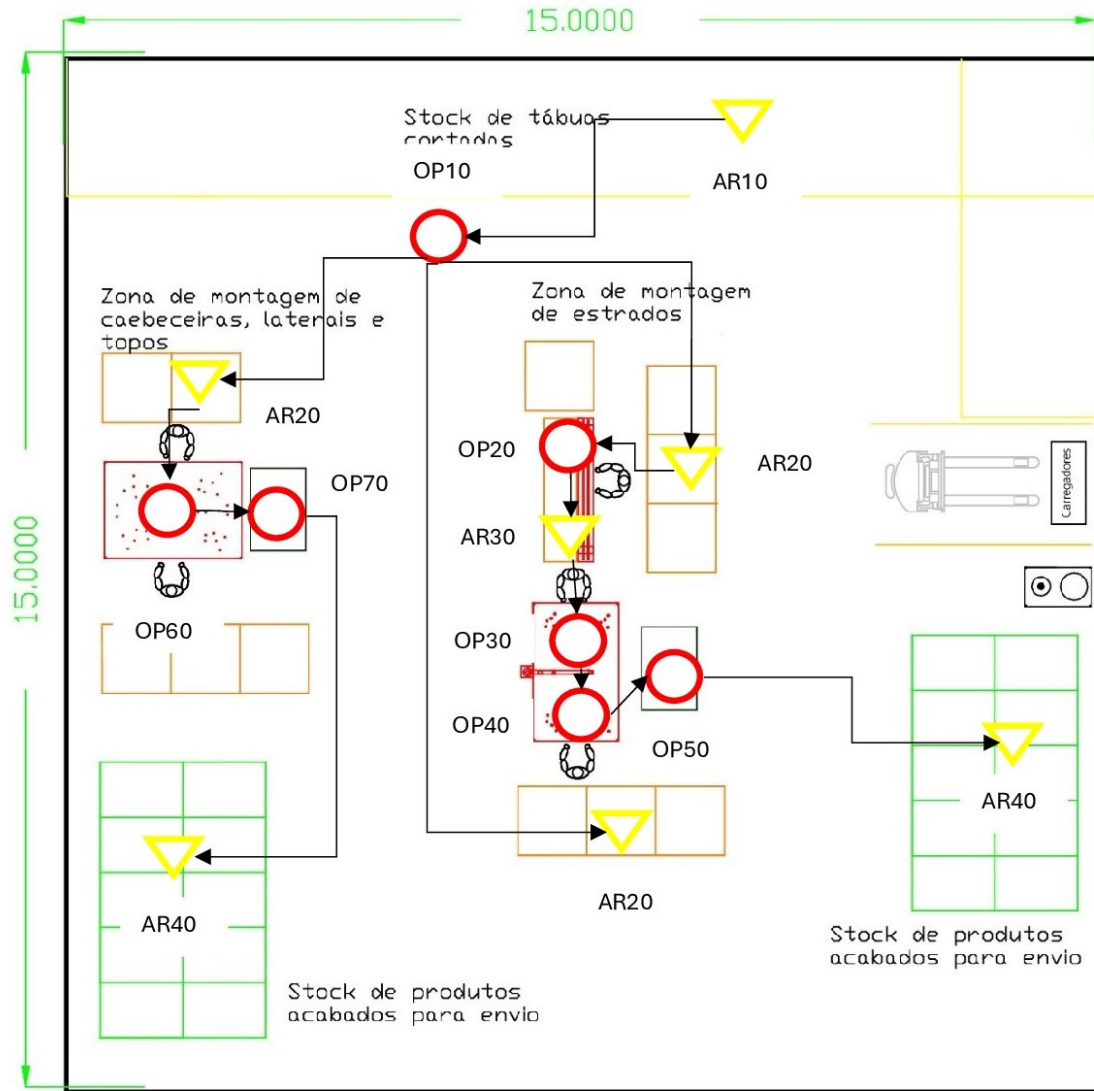
Produtos	Quantidade	Custo médio unitário	Custo total
Engradado 01	2284	€ 130,56	€ 298.199,04
Engradado 02	380	€ 139,56	€ 53.032,80
Engradado 03	1264	€ 132,20	€ 167.094,48
Engradado 04	1627	€ 138,72	€ 225.697,44
Engradado 05	463	€ 170,04	€ 78.728,52
Engradado 06	519	€ 220,32	€ 114.346,08
Engradado 07	380	€ 186,09	€ 70.714,20
Engradado 08	394	€ 212,33	€ 83.656,05
Engradado 09	3	€ 140,09	€ 420,26
Engradado 10	6	€ 214,43	€ 1.286,55
Engradado 11	137	€ 195,11	€ 26.729,39
Engradado 12	2	€ 137,04	€ 274,08
Mão de obra	3	€ 23.157,90	€ 69.473,70
Demais engradados	1620	€ 264,51	€ 428.501,77
Caixas	610	€ 294,63	€ 179.721,88
Estrados	310	€ 453,01	€ 140.434,00
Pregos	67	€ 73,93	€ 4.953,26
Energia	160	€ 0,30	€ 48,00
Plástico	8094	€ 8,08	€ 65.416,44
Somatório de custos			€ 2.008.727,93*

* Necessário esclarecer que os valores aqui inseridos não são os valores reais da empresa. Devido a questões de confidencialidade os valores foram mudados mantendo somente a proporcionalidade com o cenário real.

Apêndice B – Layout da montagem



Apêndice C – Fluxograma da montagem



Identificação	Descrição
OP10	Seleção de tábuas para montagem do estrado
OP20	Montagem do pré estrado
OP30	Montagem do estrado
OP40	Furação do estrado
OP50	Amarrar conjunto de estrados
OP60	Montagem das cabeceiras, laterais e topos

OP70	Amarrar conjunto das cabeceiras, laterais e topos
-------------	---

Tabela operações

Identificação	Descrição
AR10	Armazém das tábuas cortadas
AR20	Armazém intermediário de tábuas cortadas para montagem
AR30	Armazém intermediário de pré estrados para montagem
AR40	Armazém de componentes prontos para envio a embalagem

Tabela armazenamentos

Apêndice D – Tempos de operação e mão de obra estimada para montagem

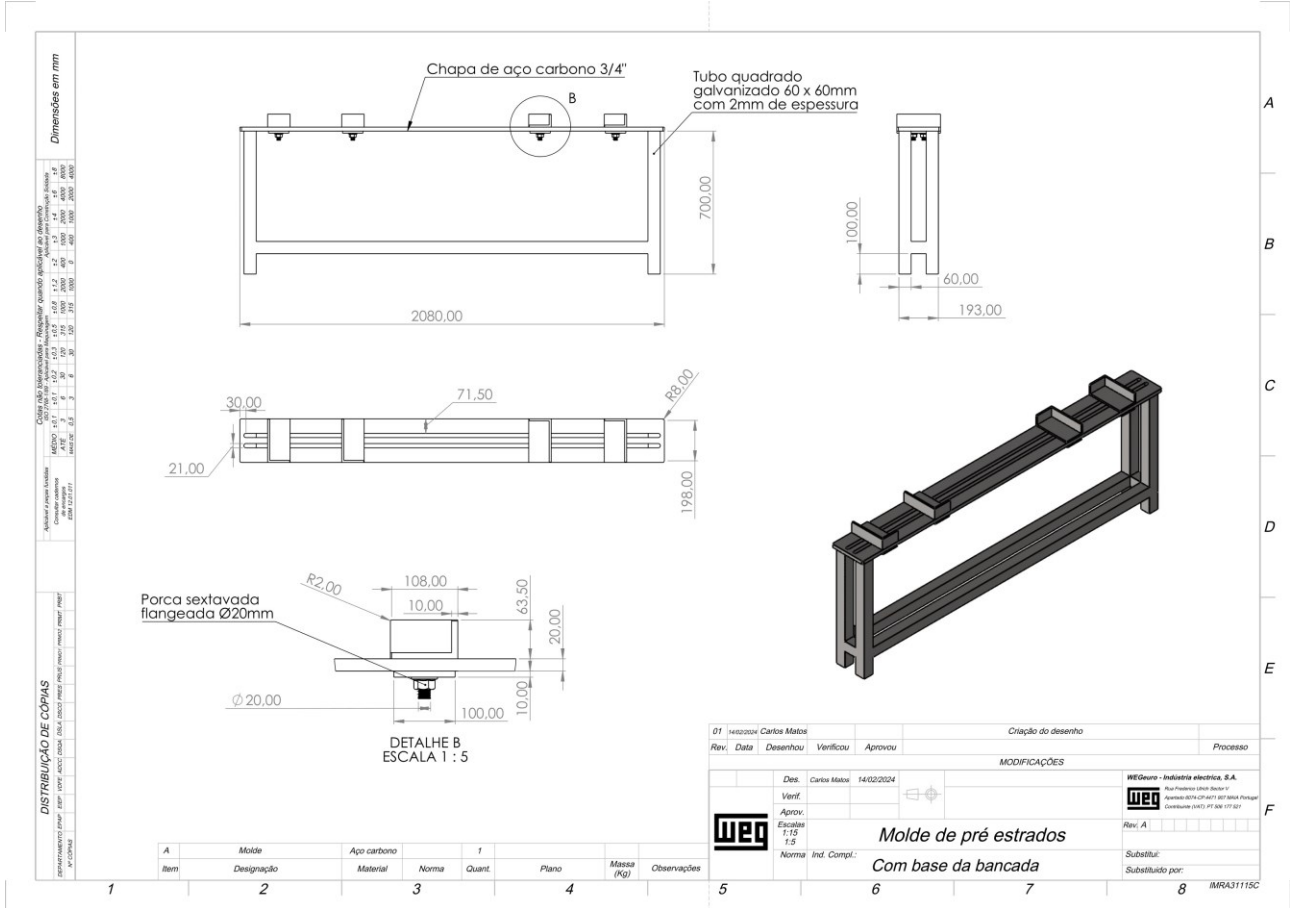
Descrição	Quantidade	Tempo médio ponderado individual [min]	Quantidade de operadores	HH na atividade (min)
Montagem estrado	30	2,082	2	124,92
Montagem cabeceiras	60	0,859	1	51,54
Montagem laterais	60	0,561	2	67,32
Montagem pré estrado	30	0,616	1	18,48
Montagem topo	30	0,561	2	33,66
Retirada de tábuas da estante	1622	0,0526	1	85,3172
Transporte de componentes prontos	36	0,8124	1	29,2464
Amarrar pilha	36	0,533	1	19,188
Setup máquina	32	1	1	32
Deslocamento de tábuas para zona de montagem	32	0,7045	1	22,544
Selecionar tábua	95	0,645	1	61,275
Levar paletes para ST1	36	2,865	1	103,14
Somatório de tempos				648,6306
Tempo total disponível por operador				432
Rendimento considerado				0,9
Mão de obra necessária				2

Custo unitário colaborador embalagem	Capacidade por colaborador/dia	Nº de motores por dia do cenário	Número de colaboradores	Custo total montagem
€ 23.157,90	21	40	3	€ 69.473,70*

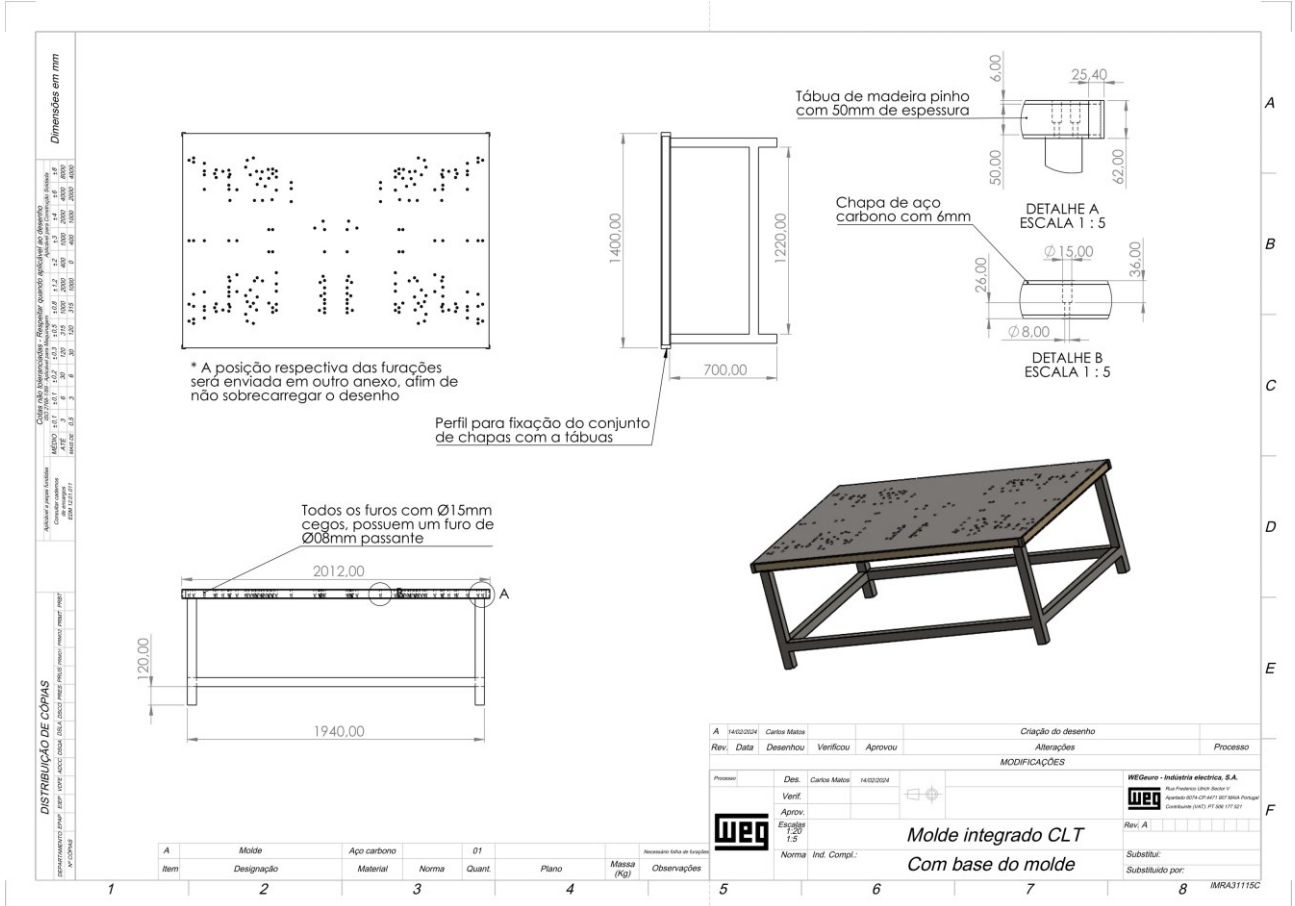
Custo unitário colaborador da montagem	Capacidade por colaborador/dia	Custo total montagem
€ 23.157,90	2	€ 43.315,80*

* Necessário esclarecer que os valores aqui inseridos não são os valores reais da empresa. Devido a questões de confidencialidade os valores foram mudados mantendo somente a proporcionalidade com o cenário real.

Apêndice E – Molde para montagem da base do estrado



Apêndice G – Molde para montagem de cabeceiras, laterais e topos

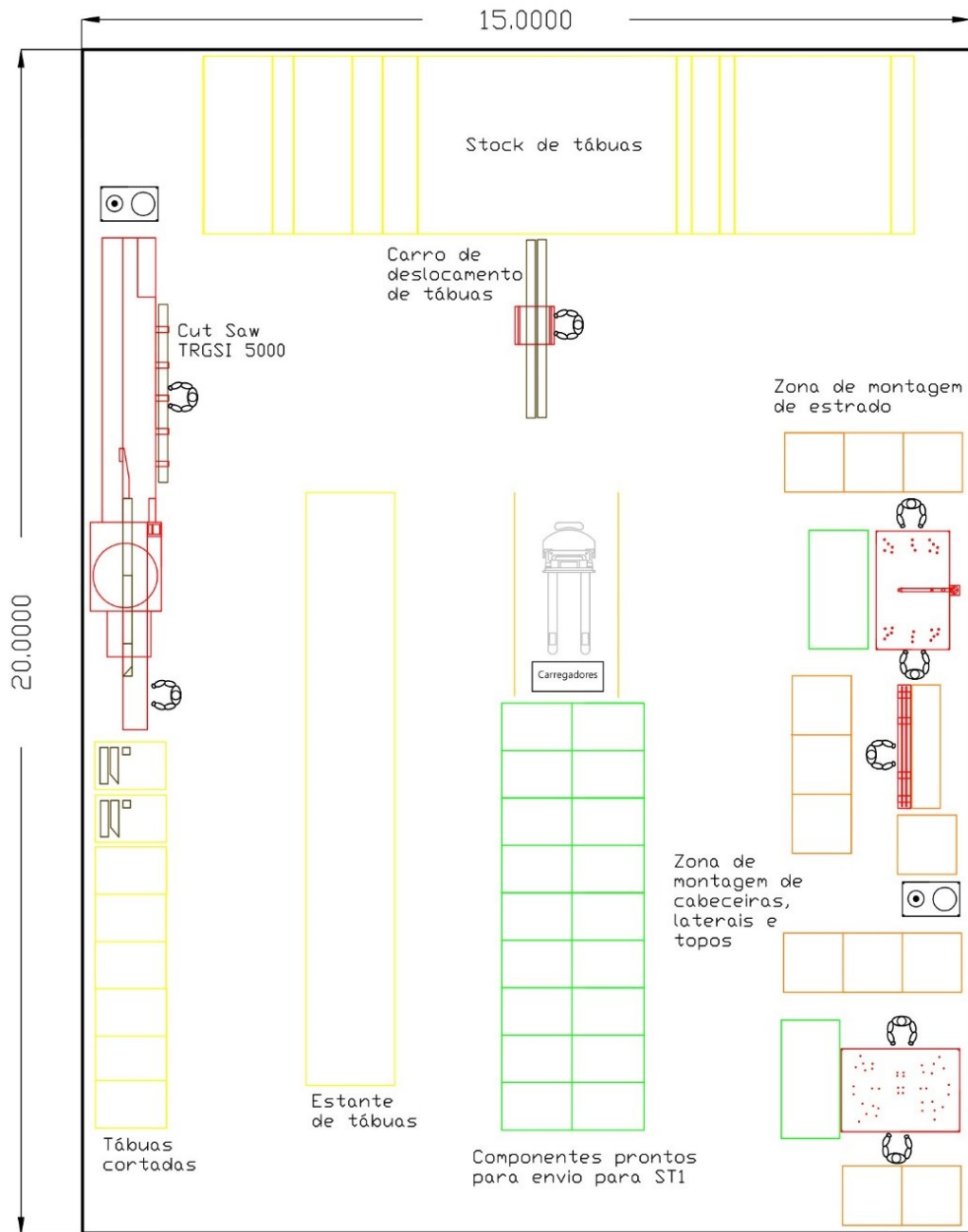


Apêndice H – Custos da montagem

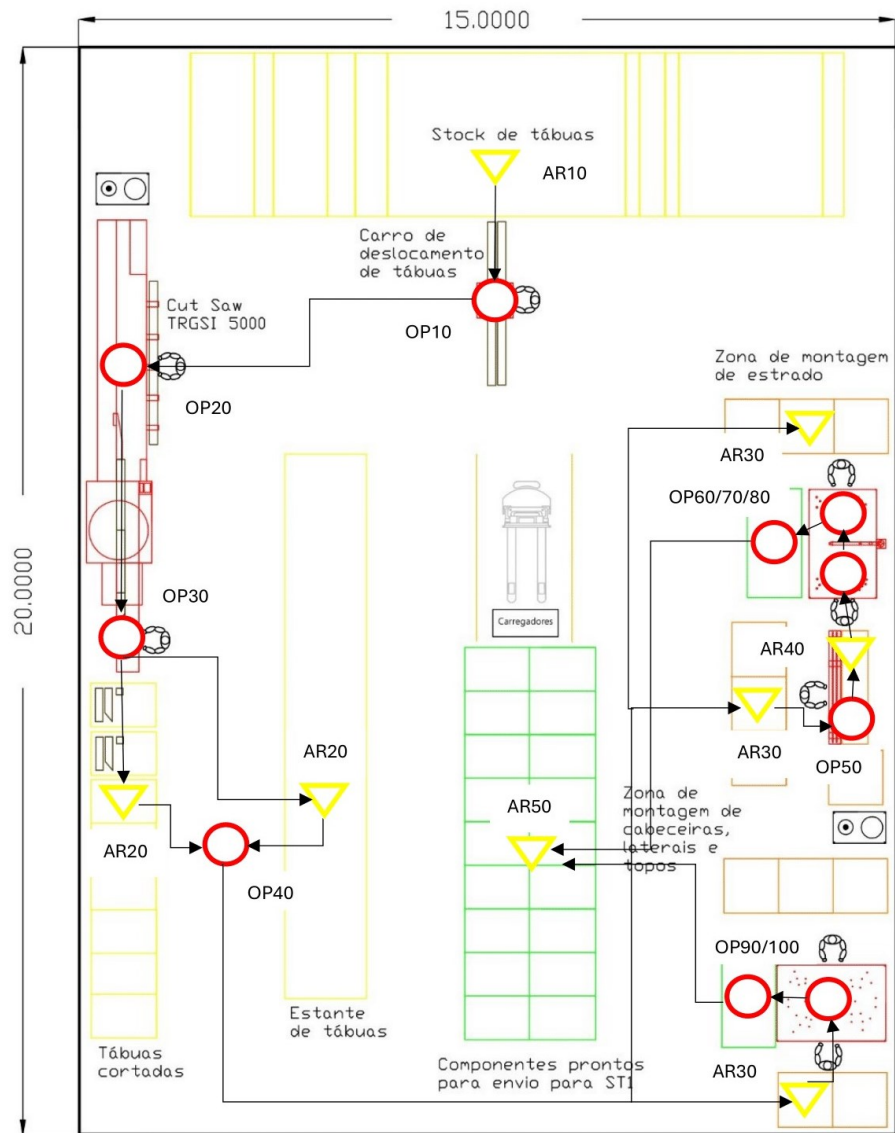
Produtos	Quantidade	Custo médio unitário	Custo total
Engradado 01	2284	€ 99,93	€ 228.240,12
Engradado 02	380	€ 123,62	€ 46.973,70
Engradado 03	1265	€ 108,51	€ 137.265,15
Engradado 04	1627	€ 129,57	€ 210.810,39
Engradado 05	463	€ 132,65	€ 61.414,64
Engradado 06	520	€ 178,13	€ 92.625,00
Engradado 07	380	€ 167,25	€ 63.555,00
Engradado 08	395	€ 169,77	€ 67.059,15
Engradado 09	4	€ 123,62	€ 494,46
Engradado 10	7	€ 132,65	€ 928,52
Engradado 11	138	€ 178,13	€ 24.581,25
Engradado 12	3	€ 167,25	€ 501,75
Mão de obra	5	€ 23.157,90	€ 115.789,50
Demais engradados	1620	€ 264,51	€ 428.501,77
Caixas	611	€ 294,63	€ 180.016,50
Estrados	311	€ 453,01	€ 140.887,01
Pregos	267	€ 73,93	€ 19.739,13
Energia	1948	€ 0,30	€ 584,40
Plástico	8095	€ 8,08	€ 65.424,52
Aluguer de pavilhão	12	€ 1.350,00	€ 16.200,00
Número de entregas adicionais (por ano)	50	€ 900,00	€ 45.000,00
Somatório de custos			€ 1.946.591,95*
Investimento necessário			€ 39.203,30
Ganho anual em relação a cenário atual			€ 61.936,62
Payback			0,63

* Necessário esclarecer que os valores aqui inseridos não são os valores reais da empresa. Devido a questões de confidencialidade os valores foram mudados mantendo somente a proporcionalidade com o cenário real.

Apêndice I – Layout da serraria e montagem



Apêndice J – Fluxograma da serraria com montagem



Identificação	Descrição
OP10	Seleção de tábuas para corte
OP20	Corte de tábuas
OP30	Separação das tábuas
OP40	Seleção de tábuas para montagem

OP50	Montagem do pré estrado
OP60	Montagem do estrado
OP70	Furação do estrado
OP80	Amarração da pilha de estrados pronta
OP90	Montagem das cabeceiras, laterais e topos
OP100	Amarração da pilha de cabeceiras, laterais e topos prontos
Tabela de operações da serraria + montagem	

Identificação	Descrição
AR10	Armazém das tábuas
AR20	Armazém de tábuas cortadas para montagem
AR30	Armazém intermediário de tábuas para montagem
AR30	Armazém intermediário de pré estrados para montagem
AR40	Armazém de componentes prontos para envio a embalagem
Tabela de armazenamentos da serraria + montagem	

Apêndice K – Tempos de operação e mão de obra estimada para montagem e serraria

Descrição	Quantidade	Tempo médio ponderado individual [min]	Quantidade de operadores	HH na atividade (min)
Montagem estrado	30	2,082	2	124,92
Montagem cabeceiras	60	0,859	1	51,54
Montagem laterais	60	0,561	2	67,32
Montagem pré estrado	30	0,616	1	18,48
Montagem topo	30	0,561	2	33,66
Retirada de tábuas da estante	1622	0,0526	1	85,3172
Transporte de componentes prontos	36	0,8124	1	29,2464
Amarrar pilha	36	0,533	1	19,188
Setup máquina	32	1	1	32
Deslocamento de tábuas para zona de montagem	32	0,7045	1	22,544
Selecionar tábua	95	0,645	1	61,275
Levar paletes para ST1	36	2,865	1	103,14
Carregar carro de deslocamento de tábuas	20	2,222	1	44,44
Deslocamento do carro para serra	20	0,812	1	16,24
Posicionar tábuas na serra	199	0,15	1	29,85
Corte da tábua (Tempo Máquina)	199	0,617	1	122,78
Separar as tábuas da saída em pallets	1750	0,117	1	204,75
Somatório de tempos				1066,6906
Tempo total disponível por operador				432
Rendimento considerado				90%
Mão de obra necessária				3
Custo unitário colaborador da embalagem	Capacidade por colaborador/dia	Nº de motores por dia do cenário	Número de colaboradores	Custo total montagem
€ 23.157,90	21	40	3	€ 69.473,70*
Custo unitário colaborador da serraria e montagem	Capacidade por colaborador/dia			Custo total montagem
€ 23.157,90		3		€ 69.473,70*

Apêndice L – Custos da serraria

Produtos	Quantidade	Custo médio unitário	Custo total
Engradado 01	2284	€ 99,46	€ 227.156,96
Engradado 02	380	€ 128,92	€ 48.989,17
Engradado 03	1265	€ 109,03	€ 137.921,57
Engradado 04	1627	€ 133,09	€ 216.535,78
Engradado 05	463	€ 136,06	€ 62.995,38
Engradado 06	520	€ 187,51	€ 97.505,38
Engradado 07	380	€ 174,56	€ 66.331,81
Engradado 08	395	€ 178,69	€ 70.580,80
Engradado 09	4	€ 128,92	€ 515,68
Engradado 10	7	€ 136,06	€ 952,41
Engradado 11	138	€ 187,51	€ 25.876,43
Engradado 12	3	€ 174,56	€ 523,67
Mão de obra	6	€ 23.157,90	€ 138.947,40
Demais engradados	1620	€ 264,51	€ 428.501,77
Caixas	611	€ 294,63	€ 180.016,50
Estrados	311	€ 453,01	€ 140.887,01
Pregos	267	€ 73,93	€ 19.739,13
Energia	3298	€ 0,30	€ 989,40
Plástico	8095	€ 8,08	€ 65.424,52
Aluguer de pavilhão	12	€ 1.687,50	€ 20.250,00
Somatório de custos			€ 1.950.640,77*
Investimento necessário			€ 128.147,30
Ganho anual em relação a cenário atual			€ 58.087,16
Payback			2,00

* Necessário esclarecer que os valores aqui inseridos não são os valores reais da empresa. Devido a questões de confidencialidade os valores foram mudados mantendo somente a proporcionalidade com o cenário real.