



**Flávio Alexandre Pésinho Ribeiro**

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

## **Estudo Sobre a Estimativa dos Custos Diretos na Orçamentação de Máquinas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Doutor António Gabriel dos Santos,  
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
da Universidade Nova de Lisboa



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2019



## **Estudo Sobre a Estimativa dos Custos Diretos na Orçamentação de Máquinas**

Copyright © Flávio Alexandre Pésinho Ribeiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Ao Professor António Gabriel dos Santos, pela ajuda e contributo na orientação desta Dissertação, pelo seu esforço para ajudar presencialmente apesar da sua agenda ocupada e pela sua disponibilidade para transmitir o seu amplo conhecimento nesta área, tornando esta experiência bastante enriquecedora, pessoal e profissionalmente.

À Introsys, e particularmente aos Engenheiros Nuno Flores e Luís Silva, pela sua enorme disponibilidade e tempo despendido para me receber e pelo importante conhecimento que me transmitiram.

Aos meus pais, ao António e aos meus Avós, pela ajuda e contributo incondicional não só na revisão do documento como ao longo de todo o meu percurso escolar, sempre presentes, disponíveis para me ajudar, aconselhar e sobretudo, pelos valores e confiança que sempre me transmitiram.

À Margarida pelo apoio ao longo deste percurso e pela sua compreensão nos meus momentos mais trabalhosos, que me impediram de estar presente algumas vezes e obrigaram a algumas alterações de planos.

Aos meus amigos, pelo apoio e presença nos bons e maus momentos e por todos os momentos de felicidade que me proporcionaram ao longo desta experiência, e que certamente levarei comigo para o resto da minha vida.

Aos meus professores, que fizeram o seu melhor para transmitir o seu conhecimento e que foram fundamentais no meu percurso e na minha formação, a todos eles o meu sincero Obrigado.

À Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa e aos seus funcionários pela maneira como fui recebido e acompanhado ao longo destes 5 anos, e que contribuíram positivamente para este capítulo da minha vida.



# Resumo

A orçamentação de projetos de engenharia é um processo de elevada complexidade, moroso e com um certo grau de subjetividade. Os orçamentistas têm a tarefa de avaliar a influência de um grande número de variáveis sobre os custos que impactam a empresa e de discretizar segundo as diversas áreas da sua atividade, de modo a observar os custos de cada elemento que faz parte da estrutura da empresa. Posteriormente, o orçamentista terá de fazer uso da sua experiência para estimar os tempos que se levará para produzir um determinado produto, tornando este um processo de elevada subjetividade, principalmente no caso de protótipos, em que a inovação poderá acrescentar uma maior dificuldade a esta tarefa.

Tendo isto em mente, desenvolveu-se uma metodologia de orçamentação com objetivo de auxiliar o orçamentista nas suas tarefas de avaliação dos custos da empresa, na realização de estimativas dos custos de novos produtos e na elaboração da proposta de fornecimento para o cliente, procurando, desta forma, agilizar as suas tarefas e reduzir o tempo despendido na realização das mesmas.

A metodologia desenvolvida procurou incluir todas as fases envolvidas na criação do orçamento até à apresentação da proposta de fornecimento ao cliente, tendo por isso, também, incluído o processo de projeto, fazendo referência aos passos que deverão ser tomados pelo projetista, por forma a criar soluções atrativas para o cliente e que satisfaçam as suas necessidades.

Por fim, foi realizada a aplicação da metodologia desenvolvida nesta dissertação a um caso de estudo com vista a verificação da mesma, através da simulação de um contacto de um cliente que apresenta a sua necessidade e em que se faz uso da metodologia para criar uma solução, elaborar o orçamento e apresentar uma proposta de fornecimento ao cliente.

**Palavras-chave:** Orçamentação; Processo de Projeto; Estimativas de custos; Estimativas de Tempos de Produção; Proposta de Fornecimento; Parâmetros de Custeio.



# Abstract

Project budgeting is a highly complex, time-consuming process with a certain degree of subjectivity. Budgetists have the task of assessing the influence of many variables on the company's costs and of discretizing these costs across different areas of business to be able to observe the costs of each element that is part of the company's structure. Subsequently, the budgetist will have to use his experience to estimate the times it will take to produce a product, making this a highly subjectivity process, especially in the case of prototypes, where innovation may add more difficulty to this task.

With this in mind, a budgeting methodology has been developed with the objective of assisting the budgetist in his business cost assessment tasks, making cost estimates for new products and preparing the supply proposal for the client, trying, in this way, to streamline his tasks and reduce the time spent on them.

The developed methodology sought to include all the phases involved in the creation of the budget until the presentation of the budget proposal to the client. Therefore, it also included the design process, making reference to the steps that should be taken by the designer in order to create solutions that are attractive to the client and address their needs.

Finally, the developed methodology was applied to a case study with a view of verifying it, by simulating a contact of a client that presents his need and, using the methodology to create a solution and submit a budget proposal to the client.

**Keywords:** Budgeting; Design process; Cost estimates; Estimates of production times; Supply Proposal; Costing Parameters.



# Índice Geral

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice Geral .....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tabelas.....</b>	<b>xv</b>
<b>Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Explicação do Tema .....	1
1.2 Motivação.....	1
Importância da Orçamentação .....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Estrutura da Dissertação .....	3
Referências Bibliográficas.....	4
Anexos.....	4
<b>2 Síntese do Conhecimento .....</b>	<b>5</b>
2.1 Elaboração do Orçamento .....	5
2.2 Estimativa de Custos .....	6
2.3 Metodologias de Estimativa de Custos.....	8
2.3.1 Estimativa por Analogia .....	9
2.3.2 Estimativa Paramétrica .....	9
2.3.3 Estimativa <i>Bottom-up</i> ou Analítica.....	10
2.3.4 Estimativa Intuitiva ou Baseada na Experiência.....	10
2.3.5 Conclusões dos Métodos de Estimativa .....	11
2.4 Ferramentas de Estimativa de Custos .....	11
2.4.1 ACCEM.....	11
2.4.2 COSTADE.....	12
2.4.3 PCAD .....	12
2.4.4 Modelo de Estimativa de Custos Genérico.....	13
2.4.5 KBE e CBR .....	13
2.4.6 Redes Neurais .....	14
2.5 Processo de Projeto.....	15
2.6 Metodologias de Projeto.....	18
2.6.1 Teoria Axiomática de Projeto .....	19
2.6.2 Engenharia Simultânea .....	23
<b>3 Metodologia Proposta de Orçamentação de Protótipos ou Novas Máquinas.....</b>	<b>27</b>
3.1 Introdução.....	27

3.2	Conhecimento da Organização .....	29
3.3	Processo de Projeto.....	30
3.3.1	Definição do Problema .....	31
3.3.2	Reunir Informação Pertinente.....	32
3.3.3	Criar Várias Soluções .....	32
3.3.4	Analisar e Selecionar uma Solução .....	33
3.3.5	Testar e Implementar a Solução .....	34
3.4	Processo de Orçamentação .....	34
3.4.1	Aplicação dos Métodos de Estimativa de Custos .....	35
3.4.2	Parâmetros de Custeio .....	36
3.5	Síntese da Metodologia .....	39
3.5.1	Contacto do Cliente .....	39
3.5.2	Realizar o Anteprojeto.....	40
3.5.3	Realizar as Estimativas de Custos e Tempos.....	42
3.5.4	Elaboração da Proposta a Ser Apresentada ao Cliente .....	43
<b>4</b>	<b>Aplicação da Metodologia Proposta a um Caso de Estudo .....</b>	<b>46</b>
4.1	Contacto do Cliente .....	46
4.2	Realizar o Anteprojeto.....	47
4.2.1	Criação de Soluções .....	47
4.2.2	Estabelecimento de Critérios .....	47
4.2.3	Anteprojeto.....	48
4.2.4	Contacto com o Cliente .....	66
4.3	Estimativa de Custos e Tempos de Produção .....	66
4.3.1	Estimativa de Custos .....	66
4.3.2	Estimativa dos Tempos de Produção .....	68
4.4	Elaboração da Proposta de Fornecimento a Ser Apresentada ao Cliente.....	75
<b>5</b>	<b>Conclusão e Desenvolvimentos Futuros .....</b>	<b>76</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>78</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>81</b>
5.1	Anexo 1 .....	81
5.2	Anexo 2 .....	82
5.3	Anexo 3 .....	84

# Índice de Figuras

Figura 1 - Diagrama representativo dos passos para a elaboração de um orçamento empresarial.	6
Figura 2 - Comprometimento dos custos ao longo do ciclo de vida de um produto.	7
Figura 3 - Visibilidade dos custos de um produto.	8
Figura 4 - Classificação comum dos diferentes métodos de estimativa de custos.	8
Figura 5 - Principais módulos da COSTADE.	12
Figura 6 - Estrutura de um produto segundo o modelo de estimativa de custos genérico.	13
Figura 7 - Processo do modelo CBR.	14
Figura 8 - Etapas do projeto conceptual.	16
Figura 9 - Criação de soluções alternativas de conceção através do método da matriz morfológica.	17
Figura 10 - Representação dos quatro domínios, dos seus elementos e das suas inter-relações.	20
Figura 11 - Ilustração do processo hierárquico.	21
Figura 12 - Representação do processo de decomposição hierárquica em Ziguezague, entre os domínios Funcional e Físico, relativos ao projeto de uma aeronave.	21
Figura 13 - Representação das três categorias básicas da matriz de projeto.	22
Figura 14 - Comparação do processo de projeto entre a Engenharia Tradicional e a Engenharia Simultânea.	24
Figura 15 - Decomposição em ziguezague entre os Domínios, numa abordagem de Engenharia Tradicional e numa abordagem de Engenharia Simultânea.	26
Figura 16 - Ciclo de Atividade de uma empresa de produção de protótipos.	28
Figura 17 - Processo de Projeto.	31
Figura 18 - Caracterização de Operações para uma empresa de confeção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial.	37
Figura 19 - Fluxograma ilustrativo da metodologia desenvolvida.	45
Figura 20 - Esboço ilustrativo do dispositivo no momento de aperto da carga.	48
Figura 21 - Diagrama de corpo livre das hastes do dispositivo.	49
Figura 22 - Configuração geométrica do dispositivo e dimensões gerais da haste.	50
Figura 23 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>CD</i> .	52
Figura 24 - Diagramas de esforços e momento fletor do troço <i>CD</i> da haste.	53
Figura 25 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>CA</i> .	53
Figura 26 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>AB</i> .	54
Figura 27 - Diagramas de esforços e momento fletor do troço <i>CB</i> da haste.	55

Figura 28 - Demonstração das Forças de Corte presentes na cavilha que resultam numa Tensão de Corte.....	56
Figura 29 - Figura ilustrativa do contacto entre uma das hastes e a cavilha. ....	57
Figura 30 - Representação ilustrativa da aplicação do teorema de Castigliano. ....	58
Figura 31 - Diagrama de corpo livre da haste quando está aplicada uma carga unitária. ....	59
Figura 32 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>CD</i> . ....	60
Figura 33 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>CA</i> .....	60
Figura 34 - Esforços aplicados à secção cortada do troço <i>AB</i> .....	61
Figura 35 -Esboço da Soldadura entre a Pega para o Operador e o Perfil tubular da haste. ....	64
Figura 36 - Esboço da soldadura entre as chapas e a haste. ....	65
Figura 37 - Esboço da montagem entre o veio e as hastes através da utilização de casquilhos. .	65
Figura 38 - Configuração final do dispositivo.....	66
Figura 39 - Representação das secções a serem cortadas do tubo.....	69
Figura 40 - Representação da deformada e da não deformada da estrutura, resultante da inserção do código APDL no programa computacional ANSYS.....	83

# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais diferenças entre os métodos tradicionais de projeto e da Engenharia Simultânea.....	25
Tabela 2 - Custos de mão-de-obra direta associados a cada operação para uma empresa de confecção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial. ....	37
Tabela 3 - Custos dos equipamentos associados a cada operação para uma empresa de confecção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial.....	38
Tabela 4 - Custos combinados da mão-de-obra direta e dos equipamentos, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial. ....	38
Tabela 5 - Custos por operação, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial. ....	39
Tabela 6 - Tabela de coeficientes de atrito entre superfícies [Anexo 1]. ....	51
Tabela 7 - Tabela de custos dos componentes. ....	67
Tabela 8 - Tabela de custos de desperdício.....	68
Tabela 9 - Tabela de caracterização de Operações.....	68
Tabela 10 - Tabela com os tempos estimados para cada operação em minutos.....	72
Tabela 11 – Parâmetros de Custeio para as operações a realizar. ....	73
Tabela 12 – Tabela de custos de operações.....	74



# Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

## Caracteres Latinos

$A$	Área da secção Transversal
$ACCEM$	<i>Advanced Composite Cost Estimating Manual</i>
$ANSYS$	<i>Swanson Analysis Systems, Inc.</i>
$APDL$	<i>Ansys Parametric Design Language</i>
$ATCAS$	<i>Advanced Technology Composite Aircraft Structures</i>
$A_x$	Reação Horizontal no ponto A
$A_{xV}$	Componente Transversal da Reação no ponto A
$A_{xN}$	Componente Normal da Reação no ponto A
$c$	Distância ao eixo neutro
$C_{Componentes}$	Custo dos Componentes
$C_{Desperdicio}$	Custo do Desperdício
$C_{Diretos}$	Custos Diretos
$C_{Final}$	Custo Final
$C_{Materiais}$	Custo dos Materiais
$C_{Mão-de-Obra}$	Custo da Mão-de-Obra
$C_{Operações}$	Custo das Operações
$CAD$	<i>Computer Aided Design</i>
$CBR$	<i>Case-based Reasoning</i>
$CERs$	<i>Cost Estimation Relations</i>
$CNC$	Comando Numérico Computadorizado
$COSTADE$	<i>Cost Optimization Software for Transport Aircraft Design Evolution</i>
$D$	Diâmetro
$EAP$	Estrutura Analítica de Projeto
$F$	Força Exterior
$F_V$	Componente Transversal da Força F
$F_N$	Componente Normal da Força F
$F_a$	Força de Atrito
$F_{aV}$	Componente Transversal da Força Fa
$F_{aN}$	Componente Normal da Força Fa
$GUI$	<i>Graphical User Interface</i>
$I$	Momento de Inércia

<i>KBE</i>	<i>Knowledge-based Engineering</i>
<i>L</i>	Comprimento
<i>M</i>	Momento Fletor
$M_1$	Momento devido à carga unitária
$M_{aV}$	Momento devido à componente transversal da reação $A_x$
$M_{FV}$	Momento devido à componente transversal da força F
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
$M_N$	Momento devido à força N
<i>N</i>	Força Normal
NCs	Necessidades do Cliente
$N_V$	Componente Transversal da Força N
$N_N$	Componente normal da Força N
$P_{BLOCO}$	Peso do bloco de cimento
$P_{CAVILHA}$	Peso da cavilha
$P_{CHAPAS}$	Peso das chapas
$P_{ESTRUTURA}$	Peso da Estrutura do Dispositivo
$P_{EXTRAS}$	Peso de componentes extra
$P_{HASTES}$	Peso das hastes
$P_{PEGAS}$	Peso das pegas
<i>PCAD</i>	<i>Process Cost Analysis Database</i>
<i>PMKB</i>	<i>Project Management Knowledge Base</i>
PPs	Parâmetros de Projeto
<i>QFD</i>	<i>Quality Function Deployment</i>
RFs	Requisitos Funcionais
<i>t</i>	espessura
TAP	Teoria Axiomática de Projeto
V	Esforço Transverso
VPs	Variáveis de Processo

### **Caracteres Gregos**

$\sigma_{adm}$	Tensão Normal Admissível
$\sigma_{ced}$	Tensão Máxima de Cedência
$\sigma_{ced}$	Tensão Normal Máxima
$\sigma_e$	Tensão de Esmagamento nas conexões
$\sigma_{flexão}$	Tensão devido aos esforços que causam flexão
$\sigma_r$	Tensão Máxima de Rotura
$\sigma_{tração}$	Tensão devido aos esforços que causam tração

$\tau_{adm}$	Tensão de Corte Admissível
$\tau_{máx}$	Tensão de Corte Máxima
$\delta$	Deslocamento devido à deformação



# 1 Introdução

## 1.1 Explicação do Tema

Na atualidade vivemos num mundo onde a palavra inovação é uma constante em tudo o que nos rodeia. Estamos constantemente a ser “bombardeados” com novos produtos, novas ideias e conceitos. Tudo isto deve-se à crescente necessidade criada pelo cliente em obter um produto diferente e com que se identifique. Em resposta a esta necessidade, as empresas começaram a abandonar a standardização dos seus produtos e a optar por meios que permitam ao cliente a personalização dos mesmos. Esta mudança está a causar, ao nível da Indústria, um aumento da necessidade de criação de protótipos e novas máquinas, para responder às novas necessidades da sociedade.

Neste contexto, com este trabalho pretende-se criar uma metodologia de orçamentação, que uma empresa possa fazer uso quando deparada com uma situação em que tenha de construir um protótipo ou máquina nova e, portanto, não tenha registos de máquinas construídas no passado a que possa recorrer para fazer uma orçamentação, ou se possível, fazer uma compilação de orientações que permitam a escolha de uma metodologia de orçamentação já existente e que seja aplicável à máquina que se pretende produzir e à unidade de produção em que será construída.

Numa primeira fase, para uma correta estimativa de custos de produção será necessário fazer o anteprojecto da máquina, ou seja, ter uma noção das suas dimensões, funcionalidades, componentes, lista de materiais a usar, lista de componentes à venda no mercado, estimativa dos processos de fabrico e de mão-de-obra direta que será utilizada. Será também necessário identificar os custos relacionados com o desenvolvimento do projecto e os fatores influenciadores dos custos, como os meios de produção disponíveis, tecnologias de produção, componentes utilizados e quantidades a produzir.

Numa segunda fase, iremos aplicar a metodologia mais adequada para obter uma estimativa de custos de uma máquina, de modo a verificá-la através da aplicação a um caso.

## 1.2 Motivação

A motivação subjacente à escolha deste tema, prende-se, primeiramente com um gosto pessoal pela área em que o tema está inserido, que é a parte das estimativas de custos e orçamentação nas empresas, pela importância que revestem nas organizações e na viabilidade dos projectos dessas mesmas organizações. Em segundo lugar, com a pertinência do tema na atualidade, com a crescente necessidade de criar novas máquinas que produzam novos produtos,

e como tal, a existência de uma metodologia de estimativa de custos aplicada à produção de máquinas será algo vantajoso para permitir uma maior facilidade na criação de estimativas. Por último, com o crescente aparecimento de novos produtos, também se verifica um aumento de empresas concorrentes, e como tal, os orçamentos precisam de ser competitivos, tornando-se importante evitar a sobre orçamentação dos projetos.

## Importância da Orçamentação

A orçamentação toma um papel fundamental no interior das empresas e na viabilidade de projetos. Uma incorreta estimação dos custos é algo que pode pôr em causa a viabilidade de um projeto ou até mesmo, em casos mais extremos, a sustentabilidade da própria empresa.

O orçamento é considerado por diversos autores como uma ferramenta fundamental para a sustentabilidade das empresas e projetos, e tem vindo a ter diferentes definições ao longo dos anos:

“O orçamento é um instrumento de gestão de apoio ao gestor no processo de alcançar os objetivos definidos para a empresa, ou seja, um instrumento de decisão e de ação.” (Jordan et al, 2011).

*“...a budget is defined as an estimate of income and expenditure, for a specified period of time.”* (Freriks et al., 2006)

Destas definições, retiramos que o orçamento é uma ferramenta que permite estimar custos e, em função desses, tomar decisões importantes para o bom rumo dos projetos.

De notar, que na fase de arranque de um projeto é impossível saber com muito detalhe todos os custos envolvidos na realização do mesmo e, como tal, torna-se importante para a empresa procurar soluções que sigam determinados parâmetros que lhes permitam obter estimativas mais aproximadas da realidade, permitindo desta forma, tornar os seus produtos mais competitivos no mercado. Estes fatores contribuem para a formação de orçamentos atrativos e equilibrados que permitam à empresa obter lucros, evitando a sobre orçamentação e ao mesmo tempo a suborçamentação de projetos que poderia pôr em causa a sustentabilidade dos mesmos.

## 1.3 Objetivos

Esta Dissertação tem como objetivo a criação de uma metodologia de orçamentação, ou a compilação de orientações que permitam a escolha correta de uma metodologia de orçamentação já existente e que seja adequada à máquina que se pretende produzir e à unidade que o irá fazer, e que permita uma estimativa válida dos custos de produção dessa mesma máquina. A metodologia apresentada terá como objetivo auxiliar na estimativa de custos de produção de máquinas novas ou protótipos e, que por isso não existam orçamentos anteriores a que a empresa possa recorrer para fazer o novo orçamento.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos que correspondem aos enumerados em seguida.

### Capítulo 1 – Introdução

O primeiro capítulo corresponde a uma explicação geral sobre o tema da dissertação, à motivação por trás da escolha do tema e aos objetivos pretendidos com a realização do presente trabalho. Ainda neste capítulo, está inserida a estrutura do presente documento.

### Capítulo 2 – Síntese do Conhecimento

O segundo capítulo é resultado de uma pesquisa bibliográfica e nele está apresentado um enquadramento do tema, onde estão presentes vários assuntos relevantes para esta dissertação, como a elaboração de um orçamento, estimativas de custos e métodos de as realizar, ferramentas já existentes para a realização de estimativas de custos.

É também analisado o processo de projeto neste capítulo e feita referência a teorias vocacionadas para o processo de projeto e concepção de solução, que são bastante úteis numa fase de orçamentação.

### Capítulo 3 – Metodologia Proposta de Orçamentação de Protótipos ou Novas Máquinas

O terceiro capítulo constitui a metodologia proposta. Inicialmente, faz-se um enquadramento de temas de elevada importância para a metodologia como o Custeio, a Orçamentação e a Contabilidade de Custos.

Em seguida refere-se a importância do Reconhecimento da Organização, que é um aspeto fundamental para o sucesso de uma empresa e permitirá obter com elevado rigor os parâmetros de custeio.

Posteriormente, resume-se o processo de projeto e o processo de orçamentação, enunciando as principais atividades que estão envolvidas nestas fases.

Por último, clarifica-se os temas abordados anteriormente e compila-se numa metodologia enunciando por ordem os passos que deverão ser seguidos.

## Capítulo 4 – Aplicação da Metodologia Proposta a um Caso de Estudo

No quarto capítulo é aplicada a metodologia apresentada anteriormente a um caso em que se simula o contacto de um cliente, que apresenta o seu problema e a sua necessidade, e se faz uso da referida metodologia para criar uma proposta válida de uma solução, que resolva a necessidade do cliente e vá de encontro às suas expectativas.

## Capítulo 5 – Conclusões

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões relativas à aplicação da metodologia ao caso de estudo e são feitas sugestões relativas a trabalhos que poderão ser desenvolvidos no futuro.

## Referências Bibliográficas

Neste tópico são expostas as referências bibliográficas que suportam a pesquisa realizada que serviu de suporte para a realização desta dissertação.

## Anexos

Neste tópico está presente um código *APDL* que foi desenvolvido para comprovar os cálculos realizados na fase de anteprojecto do caso de estudo através da utilização do programa computacional *Ansys* e ainda um exemplo de uma proposta de fornecimento para o cliente.

## 2 Síntese do Conhecimento

### 2.1 Elaboração do Orçamento

De acordo com [ANDRADE, Mariana Cruz de & CUNHA, Maria Marilene da], publicado no PMKB – Project Management Knowledge Base na elaboração do orçamento para um projeto de engenharia genérico é necessário:

1. Realizar o plano de gestão dos custos, onde se descreve a maneira como será feita a sua gestão e controlo;
2. Realizar estimativas de custos, o que consiste no levantamento quantitativo dos serviços a serem realizados e em seguida atribuir um preço a cada serviço. Os preços atribuídos são baseados em cotações, no conhecimento do mercado ou em orçamentos anteriores;
3. Criar a EAP – Estrutura Analítica do Projeto que consiste na identificação de todas as atividades relacionadas com o projeto, a sua divisão em grupos de acordo com a área com que estão relacionadas e a informação necessária para a realização dessas atividades;
4. Criar o cronograma para o projeto, onde constam as datas de início e fim de cada uma das atividades planeadas. Esta informação é muito importante para o controlo dos custos no desenvolvimento do projeto;
5. Seleção dos recursos humanos necessários à realização das atividades;
6. Identificação dos potenciais riscos. Esta fase é bastante importante para evitar imprevistos que possam causar um aumento dos custos ou até inviabilizar o projeto, e permitir a criação de planos de contingência dos riscos. Nesta fase são também criadas as reservas no orçamento que irão permitir cobrir os custos dos riscos identificados e de possíveis riscos que sejam desconhecidos na fase inicial, mas que possam surgir no desenrolar do projeto;
7. Realizar as aquisições de equipamento, material e mão de obra necessárias para o desenvolvimento do projeto;
8. Identificação de ativos de processos organizacionais, que consistem em áreas envolvidas e que possuem conhecimento da organização e experiência de outros projetos.

Na figura 1, podemos observar um diagrama com os pontos acima referidos.

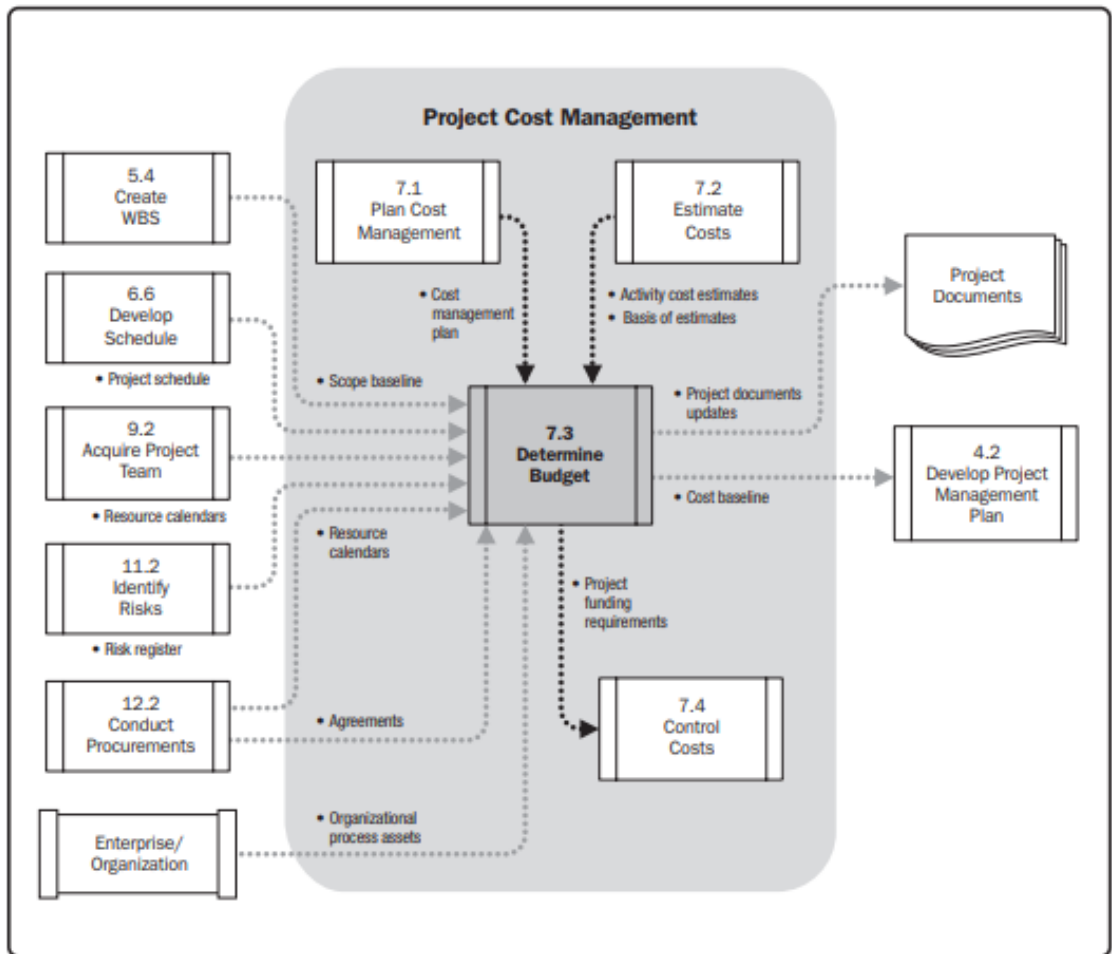


Figura 1 - Diagrama representativo dos passos para a elaboração de um orçamento empresarial [11].

## 2.2 Estimativa de Custos

As decisões tomadas em fases iniciais de um projeto, são as de maior impacto do decorrer do mesmo. Geralmente, estas decisões influenciam cerca de 80% dos custos de desenvolvimento de um produto, como se pode observar na Figura 2. Por esta razão, é importante a realização de estimativas de custos que venham auxiliar a tarefa de orçamentação.

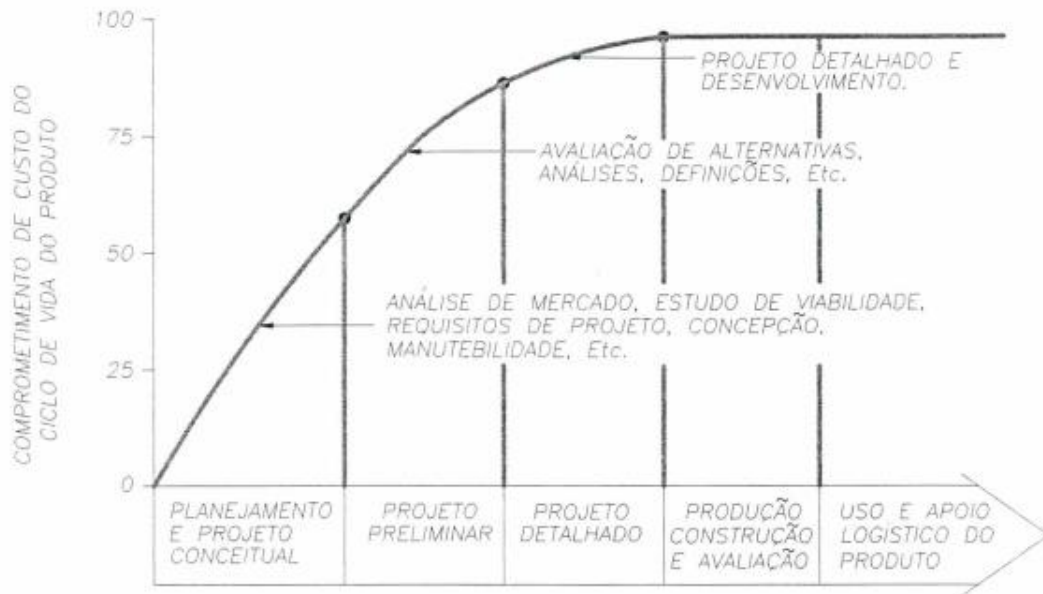


Figura 2 - Comprometimento dos custos ao longo do ciclo de vida de um produto [FERREIRA, 1997].

As estimativas de custos têm como objetivo a aferição dos custos dos recursos necessários para a execução das tarefas de um determinado projeto. Para isto é necessário identificar os fatores influenciadores dos custos, e fazer a diferenciação entre estes. Na Figura 3 podemos observar a visibilidade dos custos de um projeto.

Para diferenciar os custos, podemos dividi-los entre:

1. Custos Diretos, são custos relacionados diretamente com o trabalho de projeto e com a produção do produto. Por exemplo, custo dos materiais, custo de mão de obra, custo de equipamentos;
2. Custos Indiretos, são custos que normalmente são partilhados entre diferentes projetos e que são resultado, por exemplo, da utilização de um determinado espaço, das manutenções de equipamentos, da limpeza do local de trabalho, entre outros.

Ainda dentro destes dois tipos, podemos dividir os custos em dois:

1. Custos Variáveis, são custos que geralmente dependem das quantidades utilizadas ou a produzir, e que dependem do decorrer do projeto;
2. Custos Fixos, são custos que se mantêm ao longo do desenvolvimento do projeto, como por exemplo, a renda de um determinado espaço.

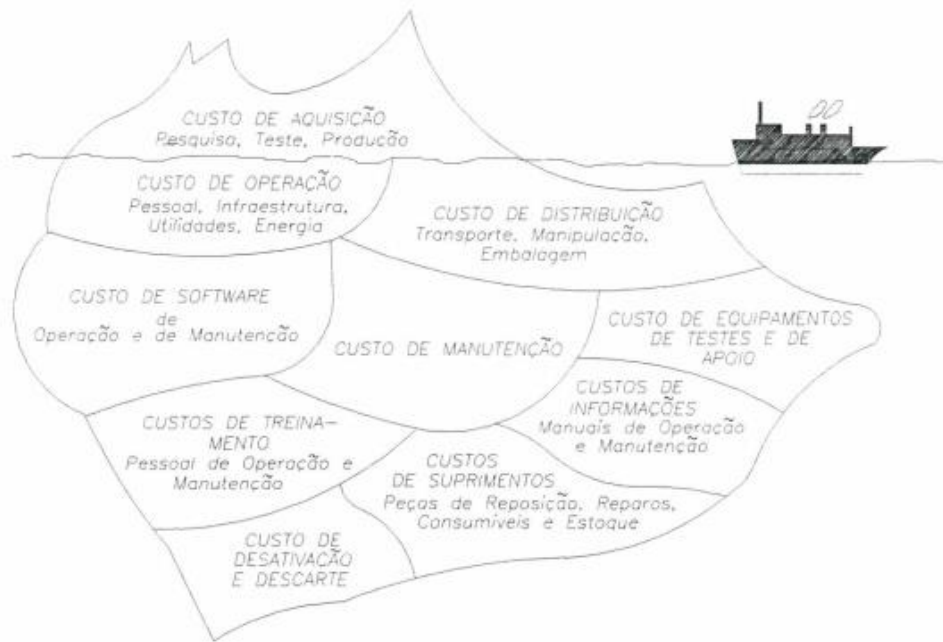


Figura 3 - Visibilidade dos custos de um produto [FERREIRA, 1997].

## 2.3 Metodologias de Estimativa de Custos

Atualmente não existe ainda uma metodologia de orçamentação aplicada à construção de uma máquina nova ou protótipo que as empresas possam seguir de modo a obter uma estimativa de custos de produção. No entanto, existem alguns métodos de estimativa de custos a que podemos recorrer, para retirar alguns fundamentos que poderão ser úteis para o processo de orçamentação de máquinas.

De acordo com a literatura, podemos encontrar diversas maneiras de diferenciar os métodos de estimativa de custos, mas na maioria dos casos encontramos estes métodos classificados em 3 tipos, como se apresenta na Figura 4.



Figura 4 - Classificação comum dos diferentes métodos de estimativa de custos [HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016].

### 2.3.1 Estimativa por Analogia

Este método é caracterizado por um ajuste dos custos de projetos similares relativamente às diferenças entre esses projetos e o projeto alvo (HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016). Baseando-se no passado, o método assume que projetos semelhantes terão custos semelhantes, e por isso estima os custos do novo projeto com base nessas semelhanças ou diferenças.

Esta técnica permite obter estimativas rápidas e com um bom nível de aproximação logo nas fases iniciais de projeto. No entanto o seu grau de aproximação diminui se as semelhanças forem poucas ou se não houver registo de componentes semelhantes entre o projeto da máquina atual e os de projetos anteriores. Outro fator que também influencia o grau de aproximação é a experiência do projetista em identificar as semelhanças e diferenças entre os projetos.

Uma vez que o objetivo desta dissertação será a criação ou adaptação de uma metodologia de orçamentação para a construção de uma máquina nova ou protótipo, este método por si só não será suficiente para uma correta estimativa dos custos, no entanto, poderá ser interligado com outros métodos de modo a obterem-se melhores estimativas.

### 2.3.2 Estimativa Paramétrica

O método paramétrico consiste no estabelecimento de relações de estimativa de custo (CERs) que são relações matemáticas mais ou menos simples entre os custos de um produto e alguns dos seus parâmetros (HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016). A título de exemplo podemos considerar como parâmetro o tamanho de um produto e como outro parâmetro o custo de fabrico desse produto, e verificar que se o parâmetro tamanho aumenta, o parâmetro custo de fabrico também aumenta e, como tal, é possível estabelecer uma relação matemática através de modelos estatísticos e estimar custos influenciados pelo parâmetro em estudo. O método produz assim estimativas através da introdução de diversos parâmetros e as suas relações com os custos.

Este método é muito útil na fase de arranque de um projeto por ser fácil e rapidamente implementável uma vez que não necessita de informação muito detalhada acerca dos componentes do projeto. No entanto é necessário que todos os parâmetros sejam corretamente introduzidos uma vez que estes serão os principais influenciadores do custo e ditarão o grau de aproximação desta estimativa. O método é também útil para verificar o impacto dos parâmetros introduzidos no custo final da peça, permitindo ao projetista optar por soluções mais económicas logo na fase de arranque de projeto, diminuindo assim os custos finais do mesmo.

As desvantagens deste método são o facto de depender de uma base de dados em que está inserido e, por isso, é perigoso utilizá-lo fora dessa base de dados e além disto não é capaz de

descrever alterações nos parâmetros inseridos ou alterações tecnológicas apenas mostrando uma estimativa diferente.

### 2.3.3 Estimativa *Bottom-up* ou Analítica

Na estimativa *Bottom-up* todas as tarefas e os custos associados a estas devem ser bem detalhados, listados e somados de modo a obter o custo do produto final (HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016).

O método pode ser aplicado para uma atividade, operação ou parâmetros básicos do produto que em qualquer dos casos os custos associados serão sempre listados e somados para o cálculo do custo do produto final.

O grau de detalhe dos custos presentes neste método, embora traga como vantagem permitir ver com clareza a causa desses custos, acarreta também uma desvantagem por provocar estimativas mais dispendiosas tanto em tempo como economicamente.

Esta estimativa obriga a um conhecimento mais profundo do projeto e dos seus componentes, o que é uma desvantagem adicional que leva normalmente a que seja mais utilizada numa fase de desenvolvimento do projeto.

### 2.3.4 Estimativa Intuitiva ou Baseada na Experiência

Este método depende somente do conhecimento e experiência do projetista, podendo não ser aplicável ou compreensível para outra pessoa, pelo que não é referido como um dos métodos elencados anteriormente (HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016). Este método é o único que pode ser utilizado com informação insuficiente, o que o torna um método valioso quando nenhum dos outros é aplicável.

Como exemplo, existem certos indivíduos que são capazes de realizar orçamentos com base no peso das estruturas metálicas. Olhando para o desenho são capazes de estimar com precisão a quantidade de mão de obra necessária para produzir uma dada quantidade de estrutura, por exemplo, em horas de mão de obra por tonelada. Esta capacidade vem com a experiência, não sendo fácil de se obter a sensibilidade necessária para esta estimativa. Os preços associados a este exemplo seguem a seguinte equação:

$$\text{Preço da Estrutura} = \left( \frac{C_{\text{Materiais}}}{kg} + \frac{C_{\text{Mão-de-obra}}}{kg} \right) \times kg$$

### 2.3.5 Conclusões dos Métodos de Estimativa

O método analítico pode ser criado e utilizado, sem precedentes ou dados históricos relativamente a outros projetos. No entanto, a estimativa por analogia e a estimativa paramétrica exigem dados históricos de outros projetos de modo a realizar uma estimativa de custos.

Os dados de projetos e de estimativas de custos anteriores devem ser utilizados por qualquer um dos métodos, mesmo no método analítico, uma vez que irá aumentar a confiança nessa estimativa e diminuir o tempo da mesma (HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016).

O âmbito desta dissertação prende-se com a criação de uma metodologia de orçamentação de máquinas novas ou protótipos e, como tal, a informação de dados históricos poderá não ser suficiente para realizar uma estimativa, sendo por isso o método analítico o mais indicado para estas situações.

## 2.4 Ferramentas de Estimativa de Custos

Existem já diferentes ferramentas e *softwares* que se baseiam nos métodos expostos anteriormente para realizar estimativas. Algumas dessas ferramentas utilizam mesmo uma combinação dos métodos de modo a melhorar as estimativas que produzem diminuindo as suas fraquezas.

### 2.4.1 ACCEM

*Advanced Composite Cost Estimating Manual (ACCEM)* é um modelo desenvolvido pela Northrop Grumman e funciona como uma estimativa analítica em que é calculada a hora padrão de trabalho para cada passo de fabrico. Assim esta ferramenta consiste num catálogo de atividades de fabrico e as correspondentes dependências do tempo.

As relações de tempo estabelecidas para cada atividade de fabrico foram obtidas através da observação de um operador qualificado a realizar essas mesmas atividades.

Devido à idade desta ferramenta, antes de se usarem as relações de tempo nela presentes deve-se ter em atenção a eventual necessidade de realizar ajustes decorrentes de possíveis alterações tecnológicas que alterem o tempo de trabalho do operador para realizar determinada operação.

## 2.4.2 COSTADE

*Cost Optimization Software for Transport Aircraft Design Evolution (COSTADE)* é uma ferramenta desenvolvida em 1996 como parte do programa da NASA / BOEING chamado *Advanced Technology Composite Aircraft Structures (ATCAS)*. Esta é uma ferramenta de otimização multidisciplinar com um modelo de custos incorporado. A figura 5 mostra os principais módulos de análise desta ferramenta.

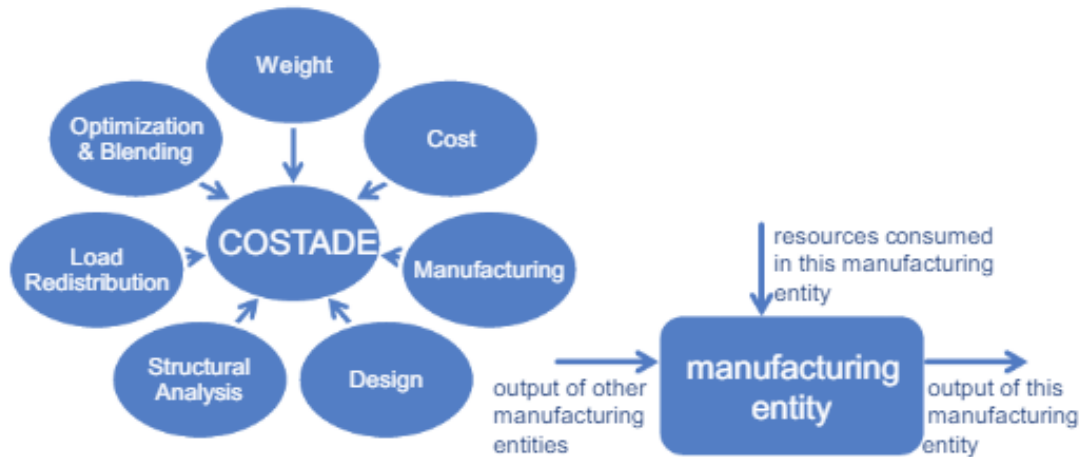


Figura 5 - Principais módulos da COSTADE [HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016].

No *COSTADE* estão incorporados vários processos de fabrico, maioritariamente relacionados com o fabrico de aeronaves. Embora este modelo seja principalmente baseado no método de estimativa analítico através da introdução de informação detalhada, podem também ser introduzidos modelos paramétricos.

São utilizados *templates* de processos para realizar um plano de trabalhos, posteriormente os custos são estimados para cada estação de fabrico e no final serão somados para se obter a estimativa de custos total.

## 2.4.3 PCAD

*Process Cost Analysis Database (PCAD)* é um modelo de estimativa de custos desenvolvido por Gutowski para o *ATCAS*, mais propriamente para o *COSTADE* com o objetivo de realizar equações de custos. O *PCAD* baseia-se no método paramétrico e oferece equações para calcular o tempo de fabrico baseadas em parâmetros geométricos e no tamanho das peças.



ou pode ser também utilizado ao nível dos elementos, fazendo a junção de diversos elementos de diferentes projetos e juntando ao novo produto.

O modelo *CBR* é uma estrutura de autoaprendizagem para o conhecimento introduzido. A figura 7 mostra-nos o processo realizado pelo modelo *CBR*.

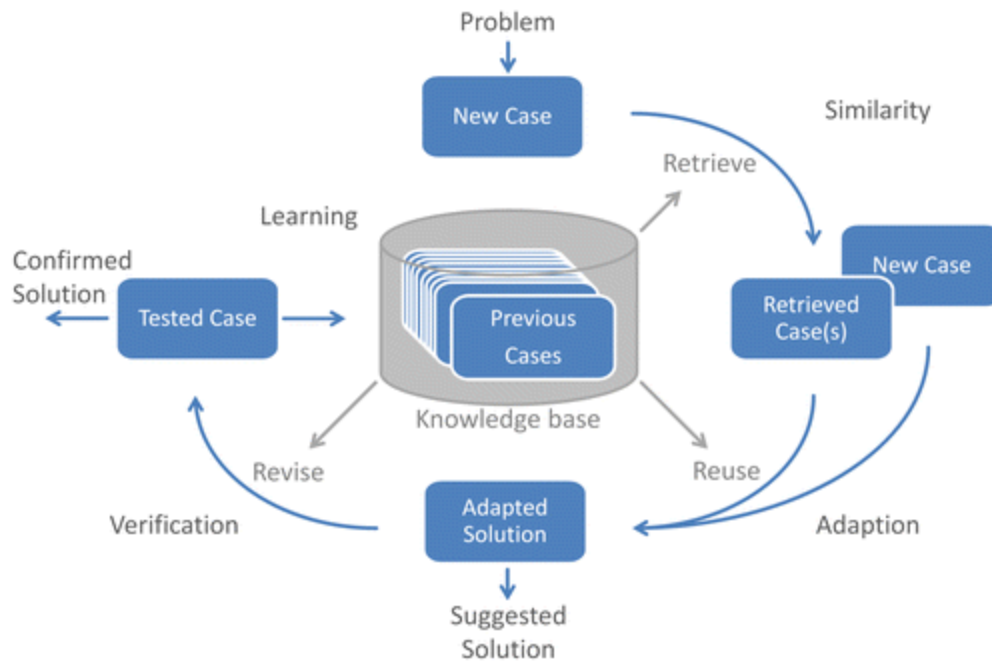


Figura 7 - Processo do modelo CBR, [HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R., 2016].

Através da figura 7 podemos compreender a maneira como o processo funciona, o modelo procura logo de início semelhanças entre casos anteriores e faz uma adaptação entre o novo caso e os anteriores e no final, depois de obtida uma solução, armazena novamente as informações concluindo assim o seu processo de autoaprendizagem.

#### 2.4.6 Redes Neurais

Este modelo pode ser considerado uma evolução do método paramétrico na medida em que os CERs são estabelecidos automaticamente por meio de uma análise computacional realizada por um sistema de inteligência artificial de autoaprendizagem. No entanto, a grande desvantagem desta ferramenta é que os CERs estabelecidos não são capazes de descrever os custos a eles associados, o que torna este modelo incapaz de prever custos para novos produtos.

## 2.5 Processo de Projeto

O projeto e as estimativas de custos de máquinas são processos complexos. A existência de metodologias que facilitem estas atividades é algo bastante útil, uma vez que através do seu uso, é possível realizar um planeamento das atividades e permite tomar as decisões certas no momento certo, facilitando a criação de soluções e diminuindo os custos de projeto.

De um modo geral, existe entre diversos autores de metodologias de projeto um consenso relativamente as fases do processo de projeto, sendo então divididas em:

- **Fase 1** – Estudo do Problema e definição da tarefa de projeto;
- **Fase 2** – Projeto Conceptual, que consiste no levantamento das necessidades do cliente, obtenção dos requisitos e especificações de projeto, estrutura funcional e criação e seleção de soluções;
- **Fase 3** – Projeto de configuração de solução;
- **Fase 4** – Projeto de Pormenor.

### **FASE 1 – Estudo do Problema e Definição da Tarefa de Projeto**

Na primeira fase do processo de projeto, estudo do problema e definição da tarefa de projeto, procura-se definir o objetivo a alcançar e devem ser consideradas diversas informações como, materiais, processos de fabrico, aplicação e uso, custos, normas, design, manutenção, confiabilidade, processo de descarte, entre outras. Nesta fase procura-se então obter uma lista com os requisitos e especificações de projeto.

Sob o ponto de vista da estimativa de custos, é importante que se defina nesta fase o custo alvo do produto.

### **FASE 2 – Projeto Conceptual**

Na segunda fase do processo de projeto, Projeto Conceptual, de acordo com (FERREIRA,1997) podemos considerar 4 etapas básicas, conforme apresentado na figura 8.

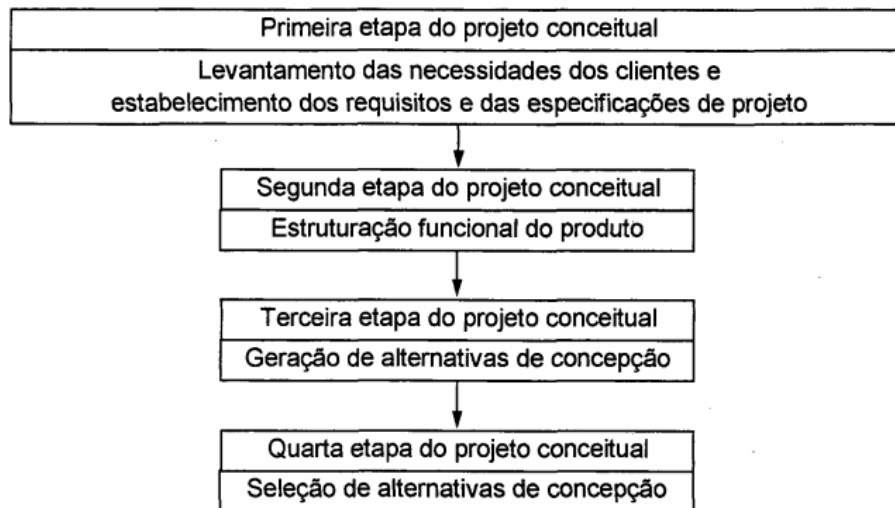


Figura 8 - Etapas do projeto conceitual [FERREIRA, 1997].

Na primeira etapa do projeto conceitual, o levantamento das necessidades deve ser realizado junto dos clientes. No entanto, muitas vezes, o cliente tem dificuldade em descrever as suas necessidades ou não possui uma ideia bem formada em relação ao que pretende. Esta falta de informação dificulta o trabalho do projetista, uma vez que este necessitará de definir as características do produto, o que irá influenciar o custo do mesmo. Nestes casos, o processo de identificação das necessidades deverá ser iterativo e o contacto com o cliente é fundamental ao longo do desenvolvimento da solução.

Em seguida, as necessidades dos clientes deverão ser transformadas em requisitos de projeto. Através de diversas técnicas, como o QFD – Quality Function Deployment, são determinados os requisitos de projeto mais importantes. O uso desta ferramenta permite identificar a maneira como cada necessidade influencia um determinado requisito.

É importante que nesta fase fiquem completamente identificadas as necessidades e os requisitos de projeto, uma vez que serão estes a base para o desenvolvimento do projeto do produto e irão influenciar o custo alvo do produto final.

Na segunda etapa do projeto conceitual, é feita a estruturação funcional do produto, ou seja, é desenvolvido um modelo de funções genérico do produto a ser projetado. É importante manter uma estrutura simples e lógica que facilite a procura de soluções e alternativas de concepção do produto. No final será selecionada a melhor estrutura funcional sob o ponto de vista técnico e económico, de modo a que o custo do produto esteja o mais próximo possível do custo alvo.

Na terceira etapa, são criadas soluções alternativas de concepção do produto. Esta etapa poderá ser dividida de duas formas de acordo com PAHL, G and BEITZ (1996):

1. Em primeiro, são procurados os princípios de solução para cada função da estrutura funcional, através de métodos convencionais, como a pesquisa na literatura, a consulta em catálogos, manuais, entre outros, ou através de métodos intuitivos como o método de

Delphi ou através de um *Brainstorm*. Estes princípios de solução poderão ser um componente ou uma parte de um sistema qualquer que seja capaz de realizar uma função do produto. Quanto maior o número de princípios de solução melhor para a tarefa seguinte uma vez que vai permitir a criação de um maior número de soluções alternativas;

2. Em segundo, é então feita a combinação dos princípios de solução de modo a obter diferentes soluções de conceção do produto. Para esta tarefa podemos fazer uso do método da Matriz Morfológica apresentado na figura 9.

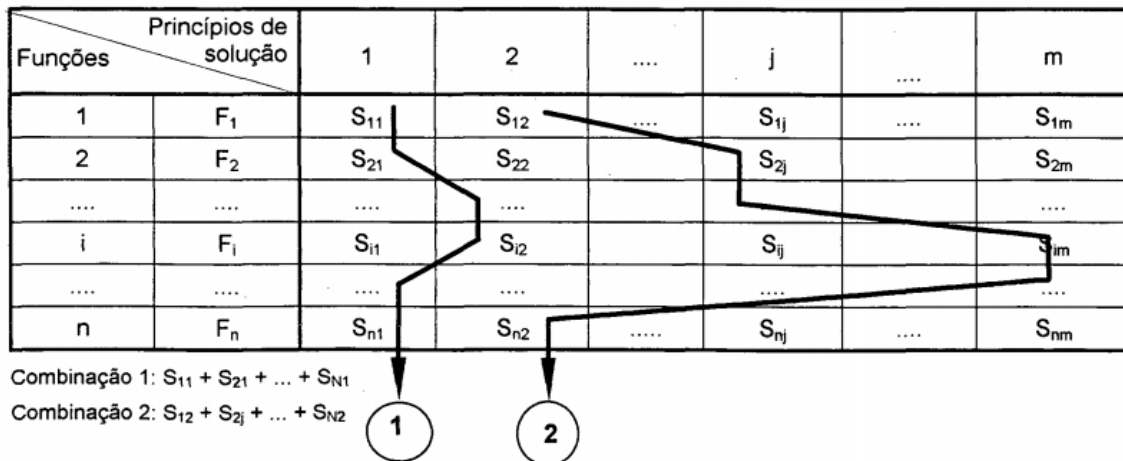


Figura 9 - Criação de soluções alternativas de conceção através do método da matriz morfológica [FERREIRA, 1997].

Neste método as alternativas obtidas devem ser compatíveis física e geometricamente, com os requisitos de projeto e com o custo alvo pretendido para o produto final.

Na quarta etapa é feita a seleção da alternativa de conceção do produto, através de uma análise das alternativas criadas anteriormente num contexto técnico e económico. Para PAHL, G and BEITZ (1996), os princípios de solução anteriormente definidos são pouco concretos e na maioria das vezes não possuem conteúdo suficiente para uma adoção de um conceito bem definido. Para eles, isto acontece uma vez que os princípios adotados anteriormente foram definidos tendo em vista apenas a realização de uma determinada função técnica. No entanto, um conceito precisa de satisfazer também os requisitos e especificações de projeto, conter informações relativamente à montagem de componentes, fabrico, necessidades dos clientes e obviamente de custos também.

Segundo estes autores, para que se possa realizar uma análise das alternativas de conceção é necessário que primeiro estas sejam aprimoradas e que sejam introduzidas as informações referidas anteriormente para que em seguida seja possível selecionar a melhor alternativa.

### **FASE 3 – Projeto de Configuração de Solução**

A terceira fase, projeto de configuração, procura dar forma e dimensões à alternativa de conceção selecionada anteriormente. Assim, o design é desenvolvido de acordo com os critérios técnicos e económicos estabelecidos anteriormente com o objetivo de criar um projeto com pormenor suficiente para que se possa posteriormente passar à produção.

De acordo com PAHL, G and BEITZ (1996), durante esta fase os projetistas deverão conseguir chegar a uma configuração final do produto, ou seja, analisar compatibilidades espaciais, formas dos componentes e materiais, bem como os processos de fabrico. No acompanhar destas atividades são realizados desenhos à escala de apoio ao processo de projeto, que são constantemente revistos e atualizados.

O objetivo desta fase é que no final da mesma tenhamos definido a configuração final do produto sob o ponto de vista dos critérios estabelecidos anteriormente, sejam eles de fabrico, montagem, uso, custos, ergonomia ou outros.

A fase de anteprojecto normalmente termina nesta fase, e é até aqui que se deve ir para proceder então à fase de estimativa de custos e tempos de produção.

### **FASE 4 – Projeto de Pormenor.**

A quarta fase, projeto de pormenor, é a fase do processo de projeto em que se completa o projeto de configuração com as informações e instruções finais relativamente à forma, dimensão, acabamentos superficiais de todos os componentes que fazem parte do projeto, a lista definitiva de materiais, dos processos de fabrico, operações e custos.

De acordo com PAHL, G and BEITZ (1996), um dos aspetos mais importantes desta fase é a elaboração dos cadernos de encargos, documentos de fabrico, desenhos técnicos de cada componente e desenhos de conjunto. Estas atividades estão cada vez mais facilitadas através do uso de softwares de CAD (Computer Aided Design) que permitem o uso direto dos desenhos criados no software para o uso em máquinas de CNC (Comando Numérico Computadorizado).

Estes autores recomendam também que dependendo do tipo de produto poderão ser necessárias informações relativamente ao processo de montagem, transporte e controlo de qualidade dos produtos.

## **2.6 Metodologias de Projeto**

No âmbito desta dissertação e particularmente relacionada com a fase de anteprojecto, achamos importante fazer referência a algumas metodologias de projeto que trazem um contributo indispensável a esta mesma fase. De entre as metodologias existentes, iremos abordar a **Teoria Axiomática de Projeto** e a **Engenharia Simultânea ou Concorrente**.

## 2.6.1 Teoria Axiomática de Projeto

### 2.6.1.1 Introdução

A Teoria Axiomática de Projeto (TAP) foi criada em 1978 no Massachusetts Institute of Technology (MIT) por Nam Pyo Suh e foi desenvolvida pelo mesmo, tendo-se tornado uma teoria bastante conhecida a partir de 1990, data em que foi publicado o seu primeiro livro nesta matéria

A TAP oferece uma abordagem sistemática ao processo de projeto, apoiada em procedimentos científicos, através da utilização de diversos conceitos como o dos Domínios, da Hierarquia, da Decomposição em Ziguezague e Axiomas, Corolários e Teoremas.

A TAP proporciona uma forma de estruturar todo o processo de projetar e oferece critérios para auxiliar as tomadas de decisão associadas a esse processo, nomeadamente através dos dois axiomas e dos corolários e teoremas derivados dos axiomas [SANTOS, 2010].

O objetivo por trás do desenvolvimento da TAP estava, para Suh, relacionado com a pesquisa e o ensino das áreas de projeto e manufatura. Suh defende a existência de princípios universais que determinam “boas práticas” de projeto e que influenciam as tomadas de decisão. Ao longo do desenvolvimento do TAP o número de hipotéticos axiomas foi sendo reduzido, existindo atualmente dois que são a base desta metodologia: o axioma da independência e o axioma da informação.

A TAP veio revolucionar a atividade de projeto, oferecendo a esta uma base teórica de acordo com os padrões da ciência moderna [SANTOS, 2010]. Esta teoria aplica-se aos mais variados projetos, sejam de que natureza forem.

### 2.6.1.2 Fundamentos e Conceitos da Teoria Axiomática de Projeto

Tal como referido anteriormente, a TAP apresenta quatro conceitos que sistematizam o processo de projeto sendo elas:

- I. Domínios
- II. Hierarquia
- III. Decomposição em Ziguezague
- IV. Axiomas, Corolários e Teoremas

- **Domínios**

Para a TAP, o processo de projeto está dividido em quatro domínios: Domínio do Cliente, Domínio Funcional, Domínio Físico e Domínio do Processo. Na figura 10 estão representados os quatro Domínios, os seus elementos e as suas inter-relações.

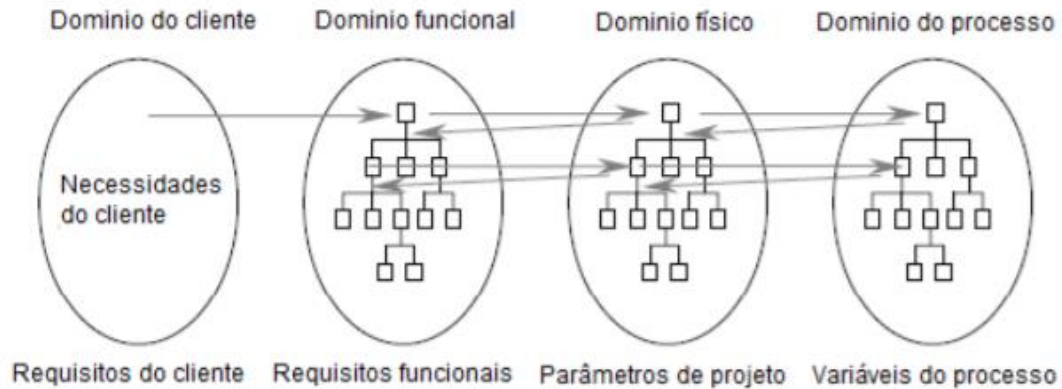


Figura 10 - Representação dos quatro domínios, dos seus elementos e das suas inter-relações [MARTINS, 2015].

O Domínio do Cliente contém as Necessidades do Cliente (NCs) e aspetos que o cliente procura que o produto tenha ou desempenhe e que serão a solução do projeto.

O Domínio Funcional contém os Requisitos Funcionais (RFs) do produto que correspondem as funções que o produto deverá realizar de modo a satisfazer as (NCs). O projeto ideal é aquele que contém o mínimo de requisitos independentes que descrevem completamente as necessidades funcionais da solução.

O Domínio Físico contém os Parâmetros de Projeto (PPs) da solução que correspondem aos elementos que incorporam a solução e que vêm satisfazer os RFs. Num projeto ideal cada PP satisfaz de forma independente um RF.

O Domínio do Processo contém as Variáveis de Processo (VPs) que caracterizam o processo de produção da solução e, como tal, vêm satisfazer os PPs.

Para cada par de domínios acima descritos, o domínio à esquerda representa “o que se pretende obter, ou seja, o objetivo” relativamente ao domínio à direita, que representa “como se pretende atingir o objetivo”. Estas relações entre os Domínios são designadas na abordagem axiomática como o mapeamento entre Domínios, que podem ser representadas através de matrizes, como a de projeto representa as relações entre RFs e PPs.

- **Hierarquia**

A abordagem axiomática oferece o conceito de hierarquia como forma de caracterizar o processo de decomposição do produto ou sistema desde o nível mais elevado da hierarquia, o nível de maior abstração, para o nível mais baixo da hierarquia, o nível de maior pormenor.

A decomposição hierárquica é aplicável aos Domínios Funcional, Físico e do Processo e uma vez completa, esta representa a estrutura do projeto.

A figura 11 ilustra o modo como é feita a decomposição hierárquica.

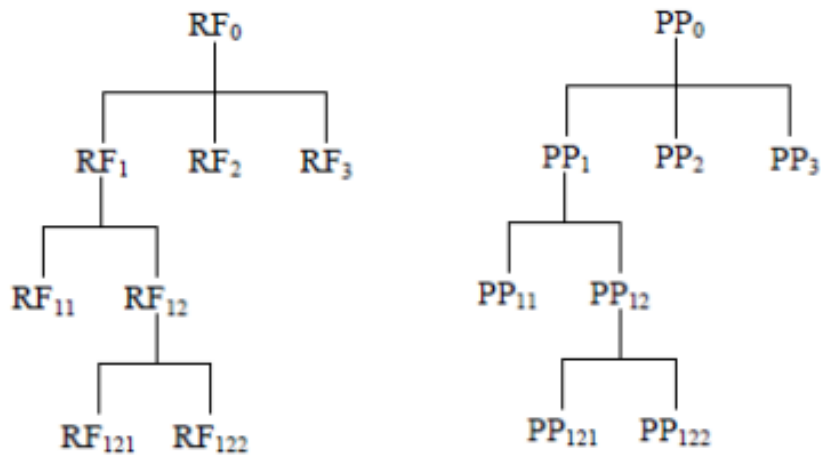


Figura 11 - Ilustração do processo hierárquico [MARTINS, 2015].

- **Ziguezague**

O conceito de Ziguezague é o responsável pelas relações entre os diferentes domínios ao longo do processo de decomposição hierárquica. Iniciando-se no domínio do “o que se pretende obter” e evoluindo até ao domínio do “como se pretende atingir o objetivo” e retornando imediatamente ao nível hierárquico inferior do “o que se pretende obter”, e assim sucessivamente até atingir o nível mais baixo da hierarquia, ou seja, o nível de maior pormenor [SANTOS, 2010].

Considerando o par de domínios Funcional e Físico, uma vez estabelecido um Requisito Funcional (RF), este deverá ser satisfeito por um Parâmetro de Projeto (PP), através de um processo de decisão. Apenas depois de satisfeito esse Requisito Funcional (RF) pelo seu correspondente Parâmetro de Projeto (PP), poderá esse RF ser decomposto para um nível hierárquico seguinte. Posteriormente, estes novos RFs terão de ser satisfeitos por novos PPs, e assim sucessivamente, até atingir o último nível hierárquico. A Figura 12 representa uma decomposição hierárquica em Ziguezague entre os domínios Funcional e Físico.

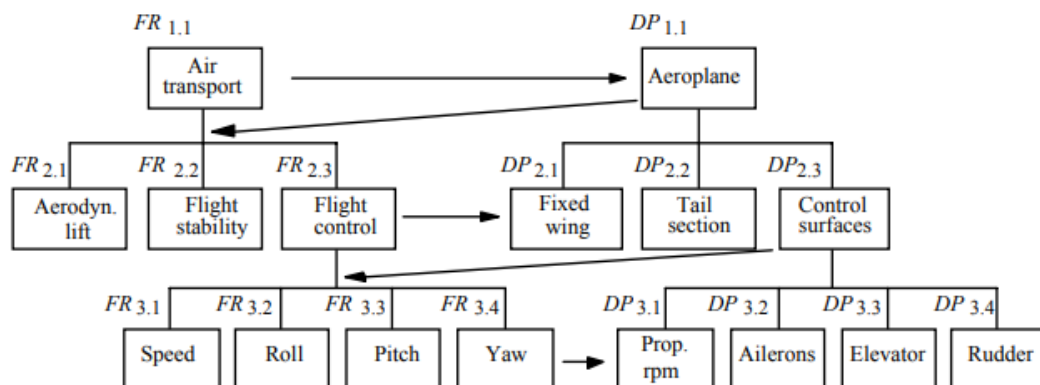


Figura 12 - Representação do processo de decomposição hierárquica em Ziguezague, entre os domínios Funcional e Físico, relativos ao projeto de uma aeronave [GONÇALVES-COELHO et al, 2004].

Este processo é de elevada importância uma vez que as decisões tomadas nos níveis superiores afetam os níveis inferiores e, como tal, qualquer alteração nos RFs provoca uma necessidade de alterar toda a solução, ou até de se criar uma nova solução.

- **Axiomas, Corolários e Teoremas**

Tal como referido anteriormente, a TAP assenta em dois princípios de projeto – os axiomas – que constituem uma poderosa ferramenta de análise e decisão relativamente a boas e más soluções de projeto, permitindo a eliminação das más soluções desde cedo.

Os dois axiomas contemplados pela TAP são:

O Axioma da Independência – Manter a independência dos Requisitos Funcionais (RFs).

Por outras palavras, o que este axioma quer dizer, é que cada Requisito Funcional (RF) deve ser satisfeito por ajuste de apenas um Parâmetro de Projeto (PP), não afetando os restantes RFs.

A abordagem axiomática considera três categorias básicas de projeto, afirmando assim que os projetos podem ser **desacoplados**, se cada Requisito Funcional (RF) for satisfeito ajustando apenas um Parâmetro de Projeto (PP), apresentando desta forma uma matriz de projeto diagonal; **desacopláveis**, se a satisfação de um Requisito Funcional (RF) depender de mais do que um Parâmetro de Projeto (PP), no entanto, com uma correta organização dos Parâmetros de Projeto (PPs) é possível manter a independência entre Requisitos Funcionais (RFs), dando assim origem a uma matriz de projeto triangular; **acoplados**, se o mesmo que no caso anterior se verificar, no entanto, a organização dos Parâmetros de Projeto (PPs) não permitir a criação de uma matriz de projeto triangular e, como tal, a independência entre os Requisitos Funcionais (RFs) não seja mantida.

A figura 13 ilustra as três categorias básicas da matriz de projeto.

Desacoplada	Desacoplável	Acoplada
$\begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X & X & X \\ X & X & X \\ X & X & X \end{bmatrix}$

Figura 13 - Representação das três categorias básicas da matriz de projeto, adaptada de [SANTOS, 2010].

O Axioma da Independência é particularmente importante, na fase de decomposição hierárquica em ziguezague, para garantir uma matriz de projeto desacoplada ou desacoplável em cada nível hierárquico da estrutura de projeto.

O Axioma da Informação – Minimizar o conteúdo de informação.

Para a maioria dos projetos existe mais que uma solução, como tal, este axioma pretende salientar qual das soluções existentes tem uma maior chance de sucesso em satisfazer independentemente os Requisitos Funcionais (RFs). Por este motivo, este axioma é utilizado numa fase de avaliação e escolha da melhor alternativa de projeto.

As alternativas de projeto são avaliadas através de uma comparação do conteúdo de informação presente em cada uma delas. Este conteúdo pode ser quantificado em termos da probabilidade que tem de satisfazer os Requisitos Funcionais (RFs). [SANTOS, 2010].

A expressão 1 traduz a quantidade de informação “I”, contida num projeto com um único Requisito Funcional (RF) e um único Parâmetro de Projeto (PP):

$$I = \log_2 \frac{1}{p} \quad (1)$$

em que  $p$  representa a probabilidade de satisfazer o RF.

No caso de um projeto desacoplado com  $n$  Requisitos Funcionais (RFs), a expressão que traduz a quantidade de informação passa a ser:

$$I_{TOTAL} = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \log_2 \frac{1}{p_i} \quad (2)$$

Para além dos dois axiomas, a TAP, enuncia também vários Corolários e Teoremas que foram derivados, por Suh, a partir dos dois axiomas. Um corolário, é uma proposição consequente de axiomas ou de outras proposições, que tenham sido provadas. Um Teorema é uma proposição que pode não ser auto-evidenciada, mas que pode ser provada através dos axiomas já aceites. Um teorema pode ser comparado a uma lei ou a um princípio [Nunes, 2015].

## 2.6.2 Engenharia Simultânea

A Engenharia Simultânea ou Engenharia Concorrente é uma abordagem sistemática, aplicada à conceção de produtos, que proporciona uma alteração ao modo como o projeto é pensado e estruturado. Esta alteração verifica-se ao nível da importância que é dada a todas as fases de desenvolvimento do produto e do seu ciclo de vida, desde a fase de conceção do mesmo [SANTOS, 2010].

Esta abordagem pode ser caracterizada por vários aspetos tais como:

- Considerar simultaneamente as várias fases de vida de um produto, logo na sua fase de conceção, compilando informações relativos a aspetos tais como a qualidade, o custo, a produção, a própria fase de projeto e as necessidades do cliente;

- Reunir colaboradores e especialistas de várias áreas da empresa, tais como a de produção, marketing, vendas, qualidade, etc., na fase de conceção, juntando-os às equipas de projeto e utilizando os seus *inputs*, retirando desta forma benefícios ao nível da redução do tempo

de produção e dos custos envolvidos na retificação de erros ou na modificação tardia de aspetos relacionados com o projeto inicial;

- Realizar tarefas em paralelo, o que permite obter soluções diferentes mais rápido, reduzindo desta forma os tempos de produção;

- O trabalho em grupo embora traga largos benefícios, exige também um cuidado redobrado na escolha das soluções, sendo por vezes necessárias pequenas alterações às mesmas de modo a agradar às várias partes envolvidas;

- A fase de conceção do produto requer um maior esforço económico e temporal nesta metodologia, quando comparada aos métodos tradicionais de projeto. No entanto, este investimento é largamente compensado nas fases posteriores. Tal como referido anteriormente os custos envolvidos na alteração de parâmetros nas fases posteriores à de conceção são bastante mais elevados do que nas fases iniciais. Desta forma, torna-se claro que compensa investir mais nas fases iniciais, evitando assim perder as margens de lucro para os custos incorridos nas fases posteriores do desenvolvimento do produto e, conseqüentemente, reduzindo o tempo de lançamento do produto.

A figura 14 demonstra uma comparação entre os processos de projeto segundo os métodos da Engenharia Tradicional e da Engenharia Simultânea.

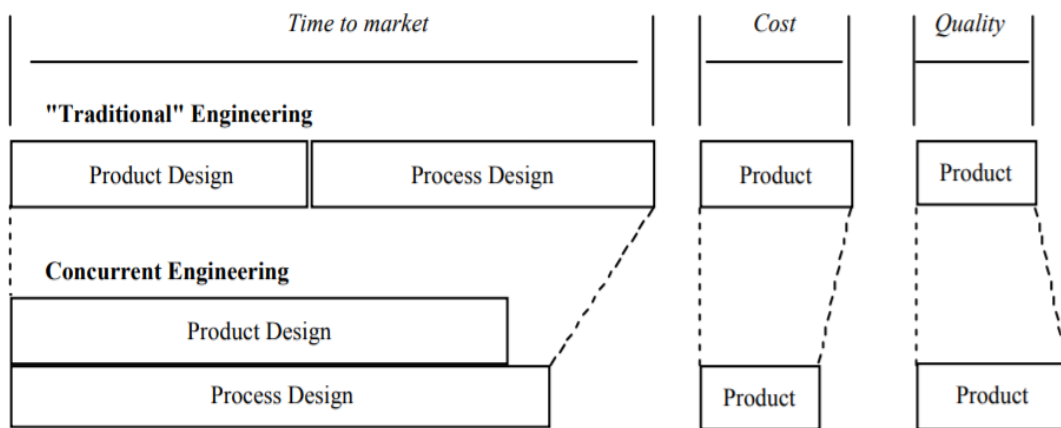


Figura 14 - Comparação do processo de projeto entre a Engenharia Tradicional e a Engenharia Simultânea [GONÇALVES-COELHO et al, 2004].

A tabela 1 indica as principais diferenças entre os métodos tradicionais de projeto e a abordagem oferecida pela Engenharia Simultânea ao processo de projetar.

Tabela 1 - Principais diferenças entre os métodos tradicionais de projeto e da Engenharia Simultânea [MARTINS, 2015].

<b>Engenharia tradicional (sequencial)</b>	<b>Engenharia Simultânea (Concorrente)</b>
Projeto sequencial	Projeto de produtos e processos desenvolvidos paralelamente
Trabalho centrado nas funções	Trabalho centrado no projeto, portanto, multifuncional
Considerações sequenciais no ciclo de vida do produto	Considerações concorrentes no ciclo de vida do produto
Ferramentas de gestão do projeto convencionais	Ferramentas de gestão do projeto apropriadas
Cliente e fornecedor não são envolvidos no projeto	Os <i>stakeholders</i> fornecem informações para o projeto

### **Aplicação da Teoria Axiomática de Projeto à Metodologia de Projeto da Engenharia Simultânea**

O processo de projetar pode beneficiar bastante através da aplicação conjunta da Teoria Axiomática de Projeto e da abordagem da Engenharia Simultânea, uma vez que esta aplicação tem como objetivo a realização simultânea das tarefas que sejam independentes.

A aplicação da Teoria Axiomática de Projeto, nomeadamente do Axioma da Independência, na busca da independência dos elementos constituintes de todos os domínios do projeto, aumenta o número de atividades de projeto que podem ser realizadas em simultâneo. Esta independência entre os elementos é crucial para que a Engenharia Simultânea possa realmente ser simultânea [SANTOS, 2010].

A figura 15 ilustra a comparação entre o processo de decomposição em ziguezague, no caso de aplicação da Teoria Axiomática de Projeto, numa abordagem de Engenharia Tradicional e numa abordagem de Engenharia Simultânea.

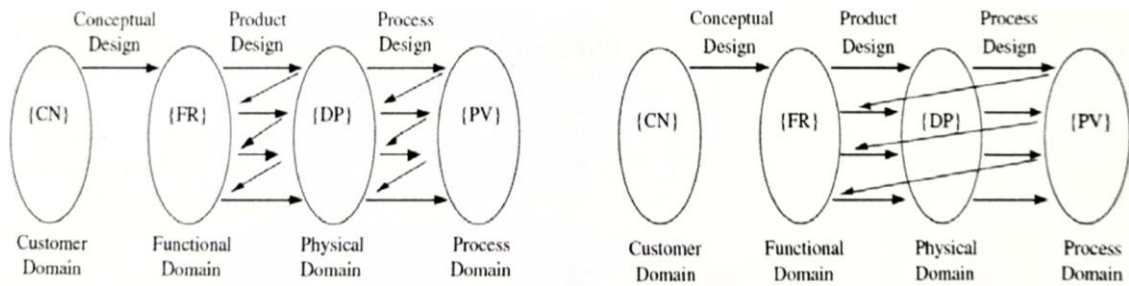


Figura 15 - Decomposição em ziguezague entre os Domínios, numa abordagem de Engenharia Tradicional e numa abordagem de Engenharia Simultânea [GONÇALVES-COELHO, 2007].

Numa abordagem de Engenharia Tradicional, o processo de decomposição em ziguezague é feito, primeiramente, entre os Domínios Funcional e Físico. Apenas depois de concluído este processo, se poderá evoluir para o seguinte par de Domínios, Físico e de Processo.

Esta forma sequencial do processo de projeto provoca com que quaisquer problemas que surjam durante a decomposição em ziguezague entre os Domínios **Físico** e de **Processo**, exijam a necessidade de rever e, possivelmente, de realizar alterações na decomposição em ziguezague entre os domínios **Funcional** e **Físico**. Isto leva a perdas de tempo e de recursos, podendo pôr em causa a viabilidade dos projetos [SANTOS, 2010].

Numa abordagem de Engenharia Simultânea, o processo de decomposição em ziguezague considera em simultâneo os diferentes domínios evitando, desta forma, as perdas de tempo e recursos causadas pela necessidade de modificações tardias.

# 3 Metodologia Proposta de Orçamentação de Protótipos ou Novas Máquinas

## 3.1 Introdução

A metodologia apresentada em seguida pretende auxiliar o projetista e o orçamentista, que na maioria das vezes serão a mesma pessoa, nas suas tarefas quando estas estiverem relacionadas com a criação de um protótipo ou de uma máquina nova. A metodologia consiste em vários passos, que serão enunciados e explicados mais à frente, e que têm como objetivo levar os projetos a satisfazer as necessidades dos clientes e a criar soluções atrativas economicamente, tanto para os clientes, como para as empresas.

Previamente à metodologia é importante fazer um enquadramento relativo a alguns fatores de elevada importância na área do **Custeio** e da **Orçamentação e Contabilidade de Custos**. De notar, desde já, que o conhecimento dos custos e o seu controlo são hoje em dia um meio indispensável para garantir a competitividade das empresas.

**Para o Custeio** podemos elencar 3 aspetos importantes:

- O conhecimento da organização em pormenor, ou seja, a sua estrutura, setores, recursos, processos e produtos;
- Dominar os limites e o potencial interno da organização, ou seja, a capacidade instalada, eficiência, produtividade e as perdas (sucatas, efluentes);
- Ter a capacidade de conhecer as causas a partir dos resultados, nomeadamente, os métodos, falhas de planeamento, erros de informação.

Como resultado do **Custeio** obtêm-se os custos de mão-de-obra, dos materiais e dos equipamentos, por serviço interno, os custos de operações e no final podemos obter o custo do produto.

Na figura 16 observamos o ciclo de atividade de uma empresa de produção de protótipos.

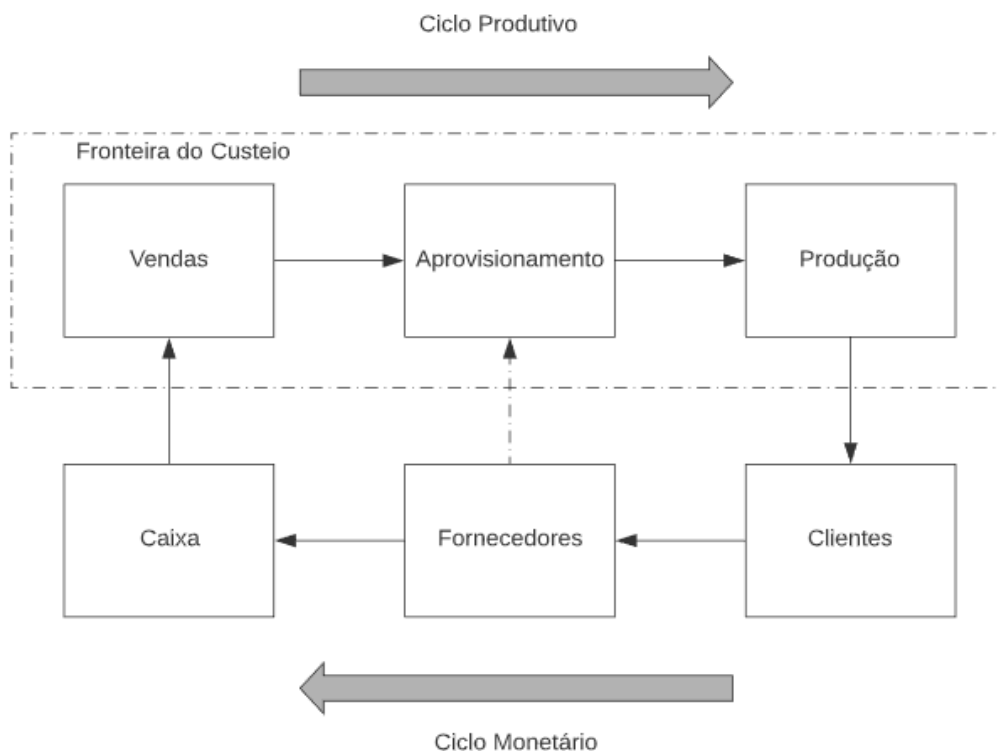


Figura 16 - Ciclo de Atividade de uma empresa de produção de protótipos.

**Para a Orçamentação** podemos estabelecer também 3 fases importantes sendo elas:

- Conhecer o passado, ou seja, conhecer o perfil de clientes, estatísticas de preços, histórico de desvios, perfil de fornecedores e conceber uma imagem do negócio;
- Controlar o presente, ou seja, conhecer os custos, monitorizar os processos, dominar as causas, conhecer os limites do negócio e dominar as margens;
- Prever o futuro, nesta fase é importante ter pessoas capazes de interpretar o mercado, antecipar os riscos, estudar as variações dos preços e utilizar como suporte dados históricos.

Como resultado do processo de **Orçamentação** pode-se definir metas internas, comprometer a empresa com clientes, aumentar e provar a sua competitividade, conhecer concorrentes, otimizar a estrutura e processos, de modo a tornar a empresa ainda mais competitiva e aumentar a produtividade.

**A Contabilidade de Custos** é a atividade da empresa que mostra o resultado da venda dos seus produtos e é de elevada importância na hora da tomada de decisões. Esta área tem como objetivos o cálculo dos custos de produção, de produtos ou serviços:

- O cálculo dos custos de produção, permite avaliar a sua evolução cronológica e constatar possíveis alterações das suas componentes como, por exemplo, as matérias-primas, mão-de-obra ou equipamento;

- O cálculo dos custos de produtos e serviços são também um elemento de avaliação da eficiência da empresa, através da análise do rendimento energético, custo de sucata e de efluentes.

O conhecimento dos custos de produção de produtos e serviços assume um papel de relevo, uma vez que serve de apoio à gestão na tomada de decisões que permitem à mesma ajustar-se com vista à maximização dos lucros, por exemplo, através da eliminação de produtos não rentáveis e ajuste de preços e margens de lucro.

O conhecimento dos custos permite, também, conhecer em pormenor o peso relativo dos fatores de produção, como o da matéria-prima, o da mão-de-obra ou o da energia consumida; avaliar as vantagens ou desvantagens da introdução de otimização na empresa, através da substituição de equipamento, alterações nos processos de produção ou até mesmo a introdução de equipamento robótico e permite, ainda, saber o custo e o valor dos produtos que estão a ser produzidos e calcular despesas adicionais do seu acabamento, como o custo de operações de revestimento, embalagem e até de limpeza.

Em suma, o conhecimento dos custos de produção de produtos ou serviços são relevantes para medir a eficiência das empresas, estabelecer estratégias e metas comerciais coerentes com os limites da empresa e elaborar orçamentos.

## 3.2 Conhecimento da Organização

O conhecimento que as empresas possuem das razões do seu sucesso tem uma enorme influência na sua competitividade no mercado.

A avaliação dos custos exige um conhecimento pormenorizado da estrutura da empresa, dos recursos de que esta dispõe e da estrutura dos produtos e serviços.

Relativamente aos recursos é importante conhecer:

- Os dados relativos aos materiais, tendo atenção a determinados aspetos na sua escolha, como por exemplo, o meio de transporte, a localização do fornecedor e se este é certificado ou não e a capacidade de armazenamento. Neste recurso deve-se ter em conta possíveis fatores de agravamento dos custos, como a necessidade de alguns materiais terem de passar por processos de preparação ou controlo. De notar que os materiais podem ser divididos em duas classes, como matéria-prima, se incorporarem o produto final ou como matéria subsidiária, caso sejam meramente auxiliares no processo de fabrico dos produtos (caso dos lubrificantes, solda);
- Dados relativos à Mão-de-Obra, que pode também ser classificada em duas classes, a Mão-de-Obra direta que corresponde ao trabalho de colaboradores que intervêm diretamente no processo produtivo, como os operários e operadores, e a Mão-de-obra indireta que corresponde ao trabalho de colaboradores que intervêm indiretamente no

processo produtivo como gestores, projetistas, orçamentistas, etc. Nesta área é importante, também, ter conhecimento e registo dos fatores de agravamento dos custos: estes podem ser fatores humanos como, o absentismo, indisciplina, qualidade da chefia ou a baixa formação dos colaboradores e podem ser fatores organizacionais, como o mau planeamento, pouca flexibilidade, falta de registos, má gestão do tempo ou métodos pouco eficientes;

- Os dados relativos aos Equipamentos, são essenciais no processo produtivo e sobre os quais o conhecimento é relevante, apesar de em muitos casos não lhes ser dada a importância que merecem, nomeadamente no que toca aos gastos energéticos dos mesmos. Alguns aspetos que devem ser analisados são o consumo de energia associado ao equipamento, as necessidades de manutenção, o seu ciclo de vida, a sua desvalorização e a taxa de ocupação efetiva dos mesmos. Existem fatores de agravamento dos custos em equipamentos, os quais se prendem com os aspetos mencionados acima, como a perda de tempo, em mudanças de *setup*, avarias e manutenção, bem como a eficiência que está associada ao consumo de energia e o rendimento da máquina.

Durante o processo de alocação dos custos a cada uma destas áreas, deparamo-nos com alguns custos que influenciam de maneira indireta o custo do produto final e que não se inserem diretamente em nenhuma das categorias acima referidas, uma vez que não influenciam diretamente a produção, a estes custos podemos classificá-los como **custos gerais**. Estes custos estão normalmente associados a encargos correspondentes à estrutura de apoio à atividade da empresa e são, por exemplo, custos de materiais de escritório, eletricidade e combustíveis, prestação de serviços terceiros, seguros, entre outros. Por vezes estes custos são os mais difíceis de aferir, seja por falta de registos, por pressupostos alteráveis ao longo do tempo ou por ter um relacionamento subjetivo com a produção.

### 3.3 Processo de Projeto

Projetar uma máquina é um processo que muitas vezes tem especificações vagas e várias possíveis soluções, o que o torna um processo iterativo. Podemos dividir este processo em 5 etapas:

1. Definir e estruturar o problema;
2. Reunir informação pertinente;
3. Criar várias soluções;
4. Analisar e seleccionar uma solução;
5. Testar e implementar essa solução.

Na figura 17 está demonstrada a iteratividade do processo.

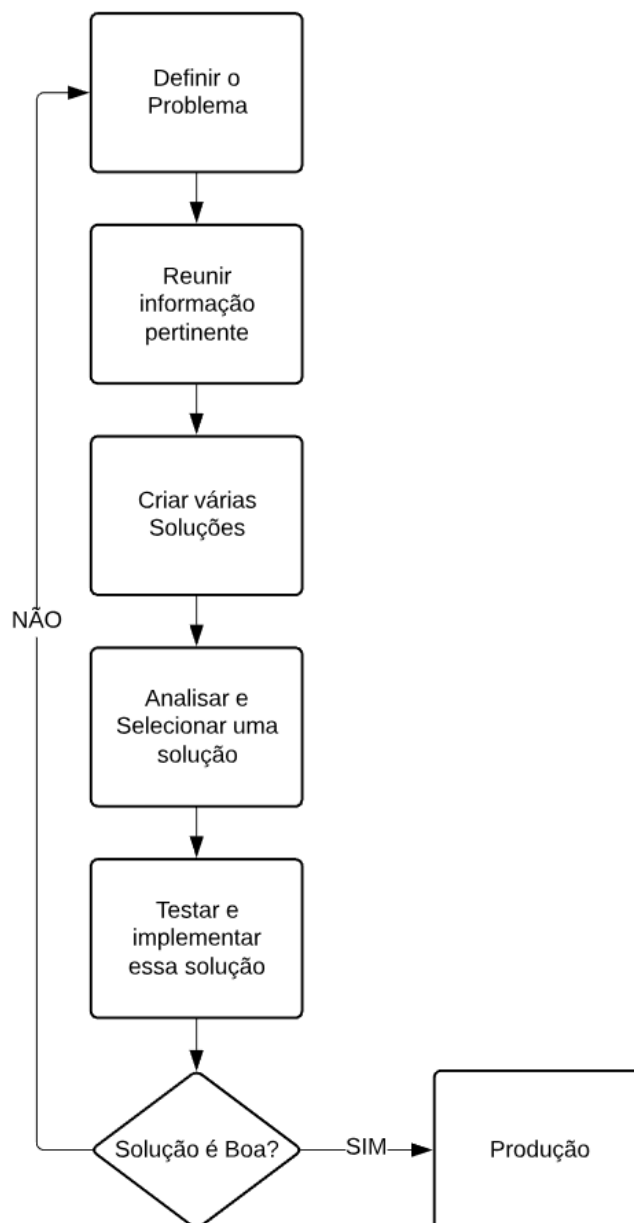


Figura 17 - Processo de Projeto.

### 3.3.1 Definição do Problema

Nesta etapa procura-se entender e clarificar as necessidades do cliente, obter uma lista dos requisitos do cliente e da máquina e informações acerca das funções e aspetos da máquina. É fundamental obter uma ideia clara daquilo que se pretende para se criar as soluções de projeto. Para uma boa definição do problema podemos enumerar 3 etapas, sendo elas:

1. Identificar e estabelecer a necessidade;
2. Formular uma ideia;
3. Estabelecer requisitos e especificações.

A primeira etapa é muitas vezes estabelecida pelo cliente, que se dirige à empresa com a sua necessidade. A partir deste ponto, o projetista terá de procurar formular o problema de forma clara. Na terceira etapa, o projetista terá de obter os requisitos e especificações da máquina que terá de construir e do cliente que posteriormente serão avaliados e determinarão se o projeto respeitou ou não esses critérios.

### 3.3.2 Reunir Informação Pertinente

Esta etapa é onde o projetista irá procurar informação relevante sobre o problema que tem e sobre a máquina que irá produzir. No caso de protótipos, a falta de informação sobre o problema acrescenta uma dificuldade maior a esta fase, no entanto é importante que se faça uma recolha de informação pertinente sobre possíveis semelhanças com máquinas já feitas no passado e que possam trazer *inputs* positivos para o problema atual.

Esta etapa embora possa parecer uma perda de tempo em certos casos, tornar-se-á bastante útil para evitar a perda de tempo e dinheiro mais à frente, através da identificação de erros que poderiam ser cometidos caso uma pesquisa não tivesse sido efetuada previamente. Através desta recolha de informação poderão ser encontrados factos que causem uma redefinição do problema.

A recolha de informação poderá ser feita através da resposta a diversas perguntas como por exemplo: se já existem soluções para o problema; se existe necessidade de uma nova solução e, neste caso, dever-se-á realizar outras perguntas, tais como, o que está errado e o que está certo nas soluções existentes e que empresas produzem essas soluções; quais os fatores económicos que envolvem a solução pretendida.

### 3.3.3 Criar Várias Soluções

Nesta etapa do processo de projeto criam-se ideias que possam ser uma solução para o problema. De um modo geral começa-se por estudar as soluções existentes e dirige-se o foco para o que se pode fazer para melhorar as suas características. No caso de protótipos, estudam-se soluções anteriores com o intuito de encontrar semelhanças que possam ser aplicadas ao novo problema.

Durante esta etapa, realizar atividades de *Brainstorming* entre as diferentes áreas envolvidas no processo é um elemento valioso, que permite criar mais e melhores ideias, trazendo posteriormente benefícios técnicos e económicos.

### 3.3.4 Analisar e Selecionar uma Solução

Depois de se ter as ideias de soluções concebidas é preciso analisá-las e avaliá-las para decidir quais as que melhor se aplicam ao problema e que são as mais adequadas à implementação. A análise é feita baseada no conhecimento técnico do projetista que dirá qual a melhor solução para resolver o problema, embora o contacto com outras áreas possa trazer vantagens principalmente ao nível económico.

Esta etapa é bastante subjetiva, pelo que é recomendado que seja feita por um grupo de pessoas experientes. No entanto, existem alguns critérios que podem ajudar no processo de análise das soluções. Os critérios de avaliação podem ser de diferentes naturezas de acordo com os problemas de projeto, uma vez que estes diferem uns dos outros principalmente no caso de protótipos, de entre vários podemos enumerar:

- Funcionais;
- Projeto Industrial/Ergonomia;
- Manufatura;
- Durabilidade;
- Elétricos;
- Mecânicos;
- Segurança;
- Económicas e de Mercado;
- Regulamentares.

Critérios funcionais são importantes em qualquer projeto, são estes que definem se uma determinada solução funciona ou não da maneira para a qual foi concebida. Uma solução pode respeitar todos os outros critérios, no entanto se não respeitar os critérios funcionais não é uma boa solução, pois não desempenha as funções para a qual foi concebida.

Critérios de Ergonomia têm a ver com a interação entre o operador e a máquina. A maioria das máquinas trabalha com intervenção humana de uma maneira ou de outra, pelo que é necessário ter em atenção certos aspetos que permitam e facilitem o seu uso e que respeitem as condições necessárias para uma postura e posição de trabalho adequadas à intervenção humana.

Critérios de Manufatura e de Durabilidade são aspetos a ter em consideração na análise das soluções, uma vez que algumas delas poderão não ser adequadas aos processos de fabrico disponíveis ou poderão ainda existir outras cujo processo de fabrico é mais simples ou menos moroso, o que poderá trazer vantagens a essa solução. O aspeto da durabilidade tem a ver com o tempo de vida do produto que se irá produzir.

Critérios Mecânicos têm a ver com a avaliação das propriedades mecânicas da solução, como por exemplo a capacidade de resistir a impactos ou a cargas dinâmicas, de suportar as cargas

máximas a que será sujeita ou a capacidade de dissipar calor principalmente em componentes elétricos.

Critérios de Segurança dizem respeito a uma análise das soluções para ver se respeitam a segurança dos operadores, do ambiente e das próprias máquinas. Existem já métodos para projeto com vista à segurança.

Critérios Económicos ou de Mercado têm como objetivo a maximização do lucro pelo que avaliam os custos envolvidos no fabrico das diferentes soluções, bem como a resposta do público a esse produto. São realizados estudos de mercado para perceber se as pessoas têm interesse em pagar para ter o produto.

Em seguida e depois de avaliadas as soluções passa-se ao processo de decisão e seleção da melhor solução. Para tal pode-se recorrer a uma matriz de decisão de modo a justificar a escolha da melhor solução. Para a matriz de decisão é necessário indicar os critérios sujeitos a avaliação e atribuir-lhes um valor de 0 a 100, que irá representar a importância que a equipa de projeto dá a esse mesmo critério. Depois é necessário avaliar cada solução relativamente aos critérios estabelecidos numa escala de 0 a 10, que representará o grau de satisfação da equipa de projeto relativamente a essa solução, sendo que 10 representa uma solução que melhor satisfaz um determinado critério. É importante referir que este processo é altamente subjetivo e influenciado pela experiência da equipa de projeto.

### 3.3.5 Testar e Implementar a Solução

Esta é a última etapa da fase de projeto e corresponde ao trabalho de manufatura, montagem e teste da solução escolhida. A esta etapa correspondem as atividades de criação de protótipos, engenharia concorrente, documentação, aplicação de patentes, teste e verificação.

## 3.4 Processo de Orçamentação

A fase de orçamentação constitui um momento de grande importância para a empresa e reflete a capacidade de antever os custos de um novo produto com rigor. O orçamento é um documento do qual fazem parte diferentes elementos, nomeadamente os dados do cliente, as datas, a previsão de horas de operação, a lista de materiais e subcontratações.

A fase de orçamentação está interligada à de projeto. No caso de protótipos o orçamento é realizado numa fase de anteprojecto, permitindo oferecer desde cedo ao cliente uma previsão dos custos que o desenvolvimento da sua ideia terá no futuro. Uma outra vantagem está relacionada com a possibilidade de identificação de soluções, economicamente atrativas, que possam ser incorporadas no projeto ou até mesmo substituir elementos deste, reduzindo assim os custos finais do produto.

A elaboração do orçamento exige a passagem por diversas etapas. Após o contacto com o cliente, para entender a sua necessidade e definir o problema, o projetista passa à fase de reunir informações pertinentes sobre o problema. Esta fase marca o início do processo de orçamentação.

Em simultâneo com esta tarefa de projeto, são também reunidas informações úteis para a orçamentação, tal como um estudo dos preços no mercado para as soluções existentes. No caso dos protótipos, tal como referido, acima, 3.3.2 - Reunir Informação Pertinente, esta tarefa pode ser de um grau de dificuldade mais elevado, uma vez que não existem soluções anteriores que sirvam para que se realize uma comparação de preços. No entanto é importante realizar uma análise de semelhanças entre o problema atual e anteriores para que se possam identificar soluções que facilitem o processo de orçamentação, através da atribuição de preços conhecidos, aumentando desta forma o rigor das estimativas de custos.

Em seguida, passa-se para a etapa da estimativa de custos que corresponde à caracterização e quantificação dos fatores de custo envolvidos na criação do novo produto. Esta etapa corresponde a uma previsão dos custos e tempos e tem um carácter subjetivo, uma vez que é influenciada em parte pela experiência do orçamentista, pelo que este desempenha um papel fundamental nos resultados da empresa. A tarefa de estimativa de custos respeita critérios técnicos rigorosos e faz uso de informações confiáveis recolhidas anteriormente relativamente à empresa e ao estudo de mercado efetuado. É nesta fase onde o conhecimento da empresa é fundamental para que os dados que serão utilizados produzam estimativas com um grau de aproximação o mais elevado possível ao custo final.

Concluindo, e tal como apresentado anteriormente, existem vários métodos de estimativa de custos, cada um com as suas vantagens e desvantagens, pelo que a aplicação desses métodos deve ser adotada conforme o produto que se pretende e com a empresa que o irá produzir.

### 3.4.1 Aplicação dos Métodos de Estimativa de Custos

Visto que o âmbito do presente trabalho é a orçamentação de protótipos, na maioria dos casos a utilização de estimativas por analogia poderá não ser suficiente para a apresentação de estimativas com o rigor desejado, pelo que é recomendada a utilização de outros métodos em simultâneo.

A utilização do método paramétrico é vantajosa para a identificação de soluções atrativas economicamente, uma vez que permite com facilidade avaliar opções de projeto, através da alteração dos parâmetros introduzidos. No entanto necessita de uma base de dados que permita realizar uma busca nos parâmetros de projetos anteriores de modo a realizar a estimativa. Embora a existência de uma base de dados seja fundamental no método paramétrico, é de elevada importância também para o método de estimativa por analogia, na medida em que permite mais facilmente identificar semelhanças entre projetos e diminuir a dependência da experiência do orçamentista.

Outro método de estimativa é o analítico que procura discretizar os custos com elevado pormenor, realizando a estimativa por agrupamento dos custos de todas as componentes. Para protótipos este é o método mais eficaz e que produz estimativas de maior rigor e precisão, no entanto é também o que consome mais tempo, pelo que a interligação dos métodos de estimativas traz a oportunidade de aproveitar as vantagens de cada método, produzindo no final uma estimativa de custos mais aproximada da realidade.

Em termos cronológicos deve-se optar pela estimativa por analogia em primeiro lugar, identificando desde cedo as semelhanças, uma vez que irá permitir economizar tempo. Em seguida poder-se-á passar a uma estimativa analítica, procurando através do anteprojecto identificar o máximo de informações que sirvam para realizar a estimativa. A paramétrica terá a sua vantagem mais ligada ao aspeto económico, pelo que poderá ser realizada, ou não, consoante a disponibilidade temporal do projecto ou a existência de *software* na empresa capaz de realizar esta estimativa.

Existem várias ferramentas dedicadas a estes tipos de estimativas, algumas das quais estão identificadas nesta dissertação e são utilizadas no ramo aeroespacial.

Em certos casos o cliente poderá trazer consigo já um anteprojecto, nesses casos o processo de orçamentação passará diretamente para a fase de estimativa dos custos de acordo com o anteprojecto do cliente.

Após as estimativas estarem concluídas é necessário preparar os documentos que as discriminam, de modo a que possam ser compiladas e adicionadas ao orçamento. O orçamento é por isso um documento que contém vários elementos correspondentes aos custos e tempos de um produto.

### 3.4.2 Parâmetros de Custeio

As estimativas de custos são um processo complexo, no qual devem ser analisados diversos parâmetros de custeio de modo a produzir estimativas o mais aproximadas ao custo real do produto. Alguns desses parâmetros são a caracterização das operações necessárias ao fabrico do produto, dados de encargos com o pessoal, dados de custos de estrutura, dados de custos de equipamentos, dados de custos de transportes e dados de custos gerais.

A caracterização das operações necessárias ao fabrico é fundamental para descrever e clarificar o processo da estimativa, permitindo ao cliente observar as despesas de uma maneira mais objetiva e repartida. Atualmente o cliente começa a exigir orçamentos mais detalhados pelo que uma caracterização do processo é um elemento imprescindível. A figura 18 mostra o exemplo de uma caracterização de operações para uma empresa de confeção.

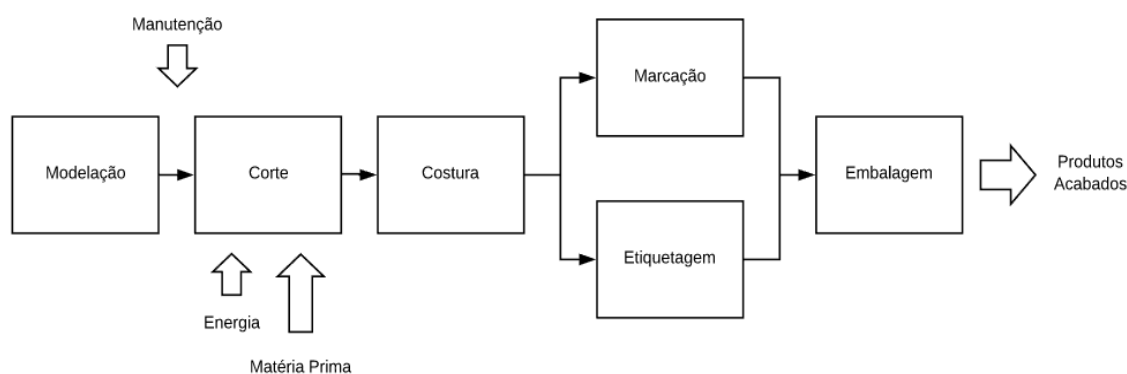


Figura 18 - Caracterização de Operações para uma empresa de confecção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial (BARROS, 2019).

Os dados de encargos com o pessoal é outro parâmetro essencial para uma boa estimativa dos custos, tal como referido no tópico de reconhecimento da organização. A obtenção destes dados pode ser feita através das folhas de pagamentos e podem ser organizados por operação por exemplo. Através destes dados podemos então calcular o custo de mão-de-obra direto por operação como se mostra na tabela 2 para o caso de uma empresa de confecção.

Tabela 2 - Custos de mão-de-obra direta associados a cada operação para uma empresa de confecção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial (BARROS, 2019).

NOME	N	HORAS	€	€/min	€/hr
MODELAÇÃO	1	1824 hr	41 464 €	<b>0.38 €</b>	<b>22.73 €</b>
CORTE	1	1824 hr	21 993 €	<b>0.20 €</b>	<b>12.06 €</b>
COSTURA	7	12768 hr	187 210 €	<b>0.24 €</b>	<b>14.66 €</b>
MARCAÇÃO	1	1824 hr	21 344 €	<b>0.20 €</b>	<b>11.70 €</b>
EMBALAGEM	1	1824 hr	23 615 €	<b>0.22 €</b>	<b>12.95 €</b>

Os dados de custos de estrutura podem ser observados recorrendo ao balancete de contas, são custos de manutenção, energia, administrativos, entre outros.

Os dados de custos de equipamentos podem ser obtidos através da lista de equipamentos onde deverão estar as suas informações como a operação que realiza, o ano de compra, a idade, o período de amortização, o seu custo de aquisição, tempo de funcionamento e potência elétrica. Estes dados podem posteriormente ser organizados de acordo com a sua operação. Em seguida passa-se a apurar o custo por equipamento e no final é possível obter o custo por operação, como se mostra na tabela 3 para a mesma empresa de confecção do exemplo anterior.

Tabela 3 - Custos dos equipamentos associados a cada operação para uma empresa de confeção, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial (BARROS, 2019).

OPERAÇÃO	CUSTO ANUAL	HORAS/ANO	MIN/ANO	€/min	€/hr
CORTE	5 203 €	1596 hr	95760	0.05 €	3.26 €
CONFEÇÃO	113 344 €	11856 hr	711360	0.16 €	9.56 €
ETIQUETAGEM	2 796 €	456 hr	27360	0.10 €	6.13 €
EMBALAGEM	25 657 €	3648 hr	218880	0.12 €	7.03 €

No caso de a empresa possuir viaturas de transporte, é necessário recolher então os dados relativos às viaturas, como o seu código interno, matrícula, serviço atribuído, ano de compra, ciclo de amortização, valor de aquisição, amortização anual, combustível, consumo médio, seguros, manutenção, impostos, entre outros. Reunidos os dados relativos a todas as viaturas calcula-se o custo específico e o geral das mesmas. No entanto, no exemplo apresentado a empresa não possui viaturas pelo que as tabelas não refletem esses custos.

No final, organizados todos os parâmetros acima referidos é possível obter os parâmetros técnicos de cálculo, ou seja, o custo/hora de cada operação definida no tópico da caracterização de operações, através da combinação entre os custos de mão-de-obra direta e de equipamento. A tabela 4 ilustra o processo.

Tabela 4 - Custos combinados da mão-de-obra direta e dos equipamentos, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial (BARROS, 2019).

TABELA CUSTOS COMB.	18240 hr			CUSTO COMB.
CATEGORIA EQUIV MO	HRS MO ATRIB	CST MO	HR MAQ	€/hr
<b>CORTE</b>	<b>1824 hr</b>	12.06 €	0.47	<b>14.91 €</b>
<b>COSTURA</b>	<b>12768 hr</b>	14.66 €	0.48	<b>23.54 €</b>
<b>MARCAÇÃO</b>	<b>1824 hr</b>	11.70 €	0.20	<b>13.23 €</b>
<b>EMBALAGEM</b>	<b>1824 hr</b>	12.95 €	0.67	<b>13.51 €</b>

A tabela 5 mostra os custos por operação envolvidas no processo.

Tabela 5 - Custos por operação, adaptada da documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial (BARROS, 2019).

<b>TABELA DE OPERAÇÕES</b>	<b>CUSTO/HR</b>
<b>MODELAÇÃO</b>	<b>22.73 €</b>
<b>CORTE</b>	<b>14.91 €</b>
<b>CONFEÇÃO</b>	<b>23.54 €</b>
<b>ETIQUETAGEM</b>	<b>13.23 €</b>
<b>EMBALAGEM</b>	<b>13.51 €</b>

De notar que certos custos de estrutura e gerais não são atribuídos ao processo, no entanto o seu valor terá de ser considerado na estimativa de custos, pelo que a soma de todos esses custos deverá ser dividida pelo número de horas de trabalho de mão-de-obra direta anuais, resultando assim um fator de imputação de custos de estrutura e gerais, que posteriormente deverá ser adicionado ao custo de cada hora de trabalho.

## 3.5 Síntese da Metodologia

De modo a facilitar a descrição dos passos que devem ser seguidos ao longo do processo, estes estão enumerados em seguida:

### 3.5.1 Contacto do Cliente

Quando se recebe o contacto de um cliente interessado em falar com a nossa empresa sobre a sua necessidade, duas situações podem ocorrer:

- O cliente pode fornecer informação relativamente ao que pretende logo de antemão e neste caso, essa informação deve ser analisada e deverá ser preparado um conceito para ser discutido nessa reunião. Esta é uma oportunidade para mostrar competência e interesse em realizar o projeto do cliente.
- O cliente pode manifestar interesse numa reunião, mas não fornecer nenhuma informação em antemão e neste caso, apenas nessa reunião é que se saberá qual a sua necessidade e se poderá desenvolver um conceito que deverá ser discutido com o cliente logo nessa reunião, tentando diminuir “áreas cinzentas”.

A reunião com o cliente é um passo fundamental para se entender a sua necessidade e o que pretende. Na reunião deverão ser recolhidas informações técnicas do produto que o cliente pretende e informações organizacionais da empresa do cliente, como a sua eficiência, turnos, horas por turno, semanas de trabalho por ano. Uma pergunta que deverá ser feita é se o cliente já tem um conceito concebido daquilo que pretende e se tem um anteprojecto do mesmo.

No caso de ser um cliente novo, este deverá ser analisado e deverão ser feitas perguntas na reunião, como por exemplo, se tem um valor em mente para o projeto de modo a perceber se este tem uma noção dos custos que o seu projeto envolverá. Esta pergunta é importante uma vez que certos clientes poderão ter uma ideia completamente díspar da realidade dos custos envolvidos e nesse caso poderá ser evitado que se perca tempo realizando estimativas e orçamentos para um projeto que ao se apresentar o valor ao cliente, este desista logo do projeto.

### 3.5.2 Realizar o Anteprojeto

Após a reunião com o cliente ficamos a saber se existe ou não um anteprojeto. Caso não exista, então este terá de ser realizado. No caso de já existir um anteprojeto, este deverá ser analisado e avaliado, de modo a verificar se contém o grau de pormenor requerido ou se é necessário aprofundá-lo ou até mesmo redefinir alguns aspetos.

Em seguida enunciam-se os passos que deverão ser seguidos para a realização do anteprojeto.

#### 3.5.2.1 Criação de Soluções

No caso de não existir um anteprojeto, este deverá ser realizado fazendo uso das informações técnicas recolhidas na reunião para se obter uma solução técnica e, utilizando as informações organizacionais deverá tentar-se chegar a um tempo de ciclo. Deverá ser criado um *layout* e a solução técnica deverá respeitar o tempo de ciclo atribuído.

O contributo da Teoria Axiomática de Projeto e da Engenharia Simultânea poderá ser, nesta fase, um elemento de grande importância permitindo através das informações fornecidas pelo cliente (NC), obter os requisitos funcionais (RF) que as soluções técnicas (PP) criadas deverão satisfazer. Por sua vez, para estas soluções (PP) é possível identificar os processos de fabrico (VP) que as permitem serem produzidas. Do ponto de vista da Orçamentação, a aplicação conjunta da Engenharia Simultânea com a Teoria Axiomática de Projeto é o que traz as maiores vantagens, uma vez que permite a contribuição das várias áreas da empresa envolvidas no projeto, logo numa fase inicial, o que contribui para a criação de soluções (PP) tendo em vista os métodos de fabrico (VP) e a redução dos custos finais do produto.

#### 3.5.2.2 Estabelecimento de Critérios

Nesta fase deverão ser estabelecidos critérios que permitam analisar e avaliar as soluções criadas de modo a que a solução escolhida satisfaça todos os requisitos, necessidades do cliente e constrangimentos impostos. Estes critérios poderão ser de diferentes naturezas, tal como apresentado no tópico 3.3.4 deste documento.

### **3.5.2.3 Escolha do Material**

Os materiais escolhidos para cada componente que incorpora a solução, deverão ter em conta aspetos ambientais do local onde estarão a trabalhar e os custos desses mesmos materiais, tanto ao nível de aquisição como de transformação dos mesmos.

Outros aspetos relevantes serão os esforços a que estes materiais serão sujeitos, que por vezes obrigam a uma mudança para um material com melhor comportamento mecânico ou físico e os processos de fabrico a que os materiais serão sujeitos que influenciarão a escolha de um material que seja mais fácil de transformar.

### **3.5.2.4 Determinação dos Esforços Internos**

Uma vez que a realidade é, na maioria das vezes, demasiado complexa para ser estudada, o cálculo dos esforços internos passa muitas vezes pela utilização de modelos simplificados que funcionam como uma aproximação à realidade.

A utilização destes modelos tem em atenção a criação de uma situação mais desfavorável em relação à realidade, por forma a garantir que os cálculos realizados estarão do lado da segurança. Adicionalmente são considerados coeficientes de segurança que serão utilizados no estabelecimento de tensões e deformações admissíveis, de modo a contabilizar o efeito de fatores que são desprezados no cálculo dos esforços dos modelos simplificados.

Os esforços internos são determinados através da decomposição das forças e momentos que estão aplicadas na peça, segundo as direções normal e transversal ao plano da secção. Através da aplicação das equações de equilíbrio ao longo do comprimento da peça obtém-se os diagramas de esforço interno e identificam-se as secções mais solicitadas.

### **3.5.2.5 Dimensionamento de Cada Peça**

Depois de conhecidos os esforços internos aplicados as peças, é necessário estabelecer a geometria e as dimensões da secção transversal das peças de modo a que estas possam suportar os esforços a elas aplicados e que garantem que as tensões e deformações admissíveis não serão ultrapassadas.

Existem muitas geometrias possíveis para as peças pelo que a escolha da geometria deve procurar:

- facilitar os processos de produção e montagem das peças;
- diminuir a quantidade de material necessário;
- garantir que as tensões e deformações admissíveis são respeitadas.

### **3.5.2.6 Estabelecimento da Configuração Geométrica da Solução e Estudo da Compatibilidade Geométrica**

Uma vez dimensionados todos os componentes que constituem a solução global, é necessário estabelecer a configuração geométrica da mesma, ou seja, indicar a localização de cada componente na solução global e seu modo de ligação aos restantes componentes.

De modo a salientar possíveis incompatibilidades geométricas que terão de ser corrigidas realiza-se um esboço dos componentes nas suas posições.

### **3.5.2.7 Contacto com o Cliente**

Em seguida, e realizado o estudo do processo, deve-se contactar o cliente e apresentar os dados técnicos, a solução e o *layout*. É importante que este contacto seja presencial e não por troca de e-mails, ou outro meio não presencial, de forma a entender a reação do cliente relativamente ao que lhe está a ser proposto. Este contacto serve principalmente para discutir os aspetos técnicos da solução e perceber se vai de encontro à necessidade do cliente e se este aprova a solução.

Nesta altura os clientes normalmente têm tendência a perguntar qual o valor da solução que lhes está a ser apresentada, no entanto é importante não apresentar um valor nesta reunião, em primeiro lugar, porque ainda não estão realizadas as estimativas e poderíamos estar a criar um erro que poderá mais para a frente deixar o cliente descontente com a nossa empresa e, pelo facto de que só se deve apresentar o valor quando todos os documentos estiverem preparados e a apresentação do produto final for realizada.

## **3.5.3 Realizar as Estimativas de Custos e Tempos**

Aprovada pelo cliente a solução técnica, começa a fase de estimativa dos custos e dos tempos de produção.

Começando pelas estimativas de custos, nesta fase recorre-se aos métodos de estimativas referidos anteriormente para os quais é fundamental utilizar bases de dados de modo a encontrar preços de equipamentos já utilizados pela empresa e que incorporem o novo projeto. No caso de protótipos muitos dos componentes ou equipamentos poderão não estar presentes nas bases de dados da empresa e como tal deve-se contactar fornecedores desses equipamentos e negociar valores da compra dos mesmos.

A maioria dos projetos, sejam eles de protótipos ou não, requerem a projeto e fabrico de equipamentos e componentes. Este aspeto requer que se realizem estimativas dos tempos de projeto e fabrico desses mesmos equipamentos ou componentes. Estes tempos serão posteriormente multiplicados pelos valores atribuídos pela empresa aos seus parâmetros de custeio, ou seja, os preços/hora de cada atividade que envolve o produto. Esta tentativa de

extrapolar os tempos envolvidos no projeto e fabrico dos componentes está muito dependente da experiência e do conhecimento do projetista, não existindo um método científico para o mesmo.

### 3.5.4 Elaboração da Proposta a Ser Apresentada ao Cliente

Uma vez realizadas as estimativas de custos e de tempos que envolvem o produto é altura de se compilar todos os documentos criados para o novo produto e criar a proposta para o cliente.

A proposta deverá ser constituída por vários tópicos, sendo eles:

- Uma introdução, onde deverão estar contidas as datas dos contactos e reuniões, os responsáveis pelo pedido do projeto e o assunto a que este se refere;
- O âmbito do projeto, onde deverá haver uma descrição da necessidade do cliente e deverão estar presentes os dados organizacionais obtidos no contacto com o cliente. Este aspeto é de grande importância para que mais tarde o cliente não possa dizer que não era isto que tinham dito;
- Uma descrição da solução, um esboço da mesma, um *layout* e a respetiva legenda e aspetos técnicos da solução como, por exemplo, as suas funcionalidades;
- As exclusões de fornecimento, ou seja, os equipamentos, serviços e mão-de-obra que deverão ser postos a cargo do cliente ou de outra entidade que não a nossa empresa. Este aspeto é também muito importante que fique claro, para que mais tarde ninguém possa dizer que a nossa empresa é que era responsável por determinado serviço. Uma exclusão de fornecimento é por exemplo, considerando que o nosso cliente é uma empresa muito grande, que compra grandes quantidades de um determinado equipamento, e que no projeto para o qual nos contratou esse equipamento é necessário, então nesse caso faz-se uma exclusão de fornecimento, dizendo que o cliente fica responsável por adquirir esse mesmo equipamento, uma vez que por comprar grandes quantidades do mesmo, o consegue adquirir a um valor mais baixo;
- O preço, as condições de pagamento e o cronograma para a entrega do projeto, ou seja, os tempos associados à fase de projeto, compras, fabrico, montagem, programação caso necessária, teste e implementação na empresa do cliente;
- Os critérios de aceitação de equipamento. Por exemplo, um critério poderá ser produzir continuamente durante duas horas sem falhas. O cliente poderá definir alguns critérios de aceitação, no entanto, mesmo que o cliente não estabeleça nenhum critério, a empresa deverá apresentar sempre pelo menos um critério de aceitação para os seus produtos;
- A garantia, normalmente é feita por um período de dois anos. No entanto é necessário que o período fique expresso, sendo importante deixar, também,

explícito que o período de garantia se inicia na data de instalação do equipamento no cliente e não na data de aceitação ou de início de produção. Esta ressalva decorre do facto de certos equipamentos que integram o produto final poderem ter sido adquiridos previamente a terceiros, incluindo já uma garantia, pelo que se o cliente tiver uma avaria num desses equipamentos, embora o nosso produto esteja dentro do período da nossa garantia, poderá acontecer que esse equipamento adquirido a terceiros já esteja fora do período de garantia.

- As assinaturas e contactos comerciais dos responsáveis pelo projeto na nossa empresa.

Posteriormente é importante fazer um *follow-up* comercial com o cliente, uma vez que muitos destes projetos poderão estar sujeitos a concurso, sendo importante ter conhecimento das hipóteses de ganhar o projeto. A concorrência entre as empresas é grande e manter um contacto para perceber a opinião do cliente e mostrar que temos interesse em trabalhar com o mesmo e tê-lo como parceiro, poderá ser chave para lhe demonstrar segurança e profissionalismo na nossa maneira de trabalhar, aumentando a nossa possibilidade de ganharmos o concurso.

A figura 19 representa a metodologia desenvolvida sob a forma de um fluxograma.

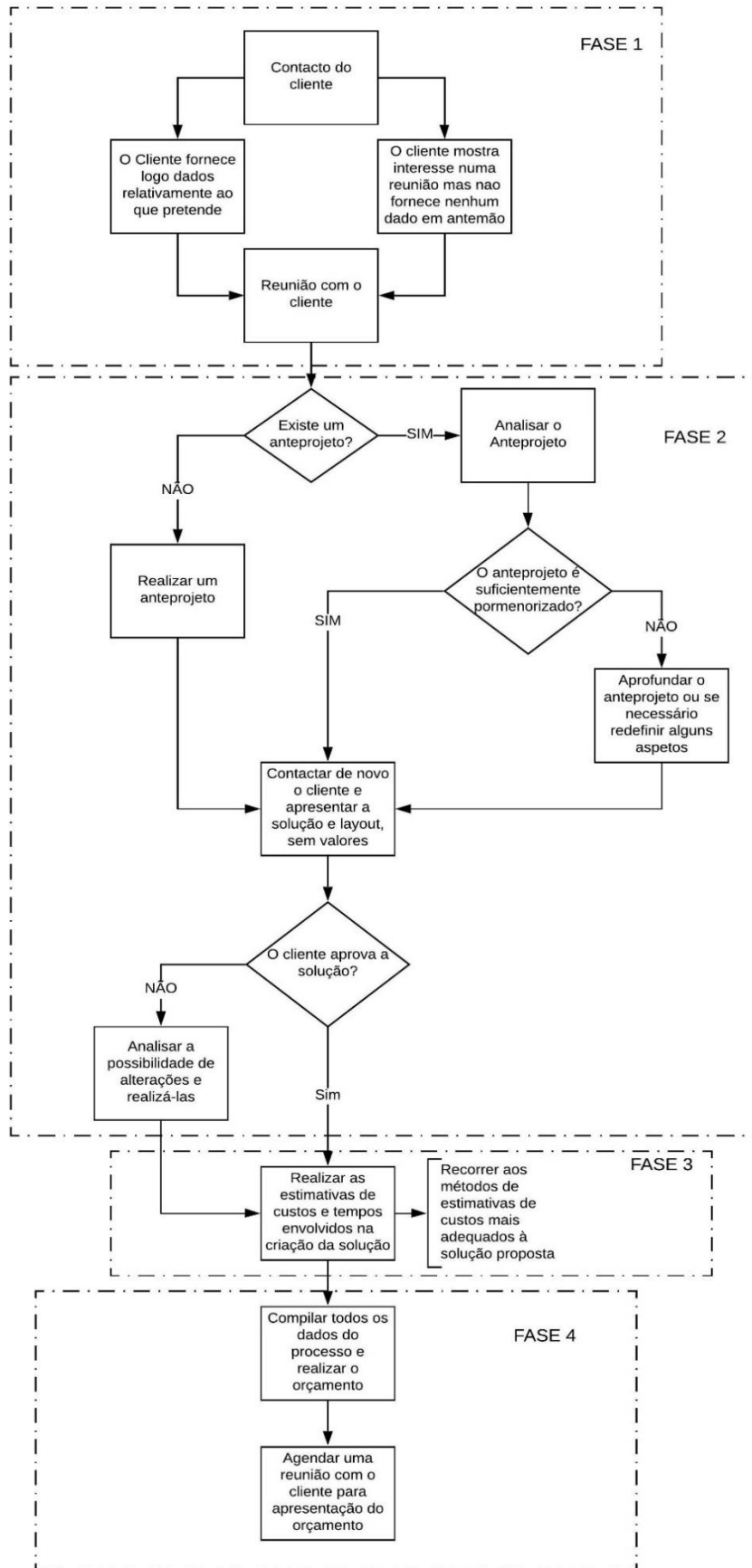


Figura 19 - Fluxograma ilustrativo da metodologia desenvolvida.

## 4 Aplicação da Metodologia Proposta a um Caso de Estudo

A aplicação da metodologia tem como objetivo demonstrar o processo descrito através da aplicação a um exemplo. De modo a ir de encontro ao âmbito da metodologia, que corresponde à orçamentação de protótipos, escolheu-se um exemplo para produção única, no ambiente de uma pequena e média empresa.

### 4.1 Contacto do Cliente

A título de exemplo consideremos o caso em que um cliente contacta a nossa empresa para resolver um problema. Na sequência deste contacto, foi agendada uma reunião com o cliente para entender a sua necessidade, obter uma lista dos requisitos do cliente e do equipamento e informações acerca das funções e aspetos do mesmo.

Nesta reunião, o cliente identificou que a sua necessidade era de um equipamento ou dispositivo que permitisse a elevação de cargas pesadas a partir do chão, por um meio manual.

De modo a clarificar a necessidade do cliente e a formulação do problema, foram realizadas algumas questões ao cliente, tais como:

- Que tipo de cargas é que o cliente pretendia elevar?
- Quais as características das cargas? Ou seja, quais as suas geometrias, dimensões e pesos?
- Qual a altura que pretendia que as cargas fossem elevadas?

Através da realização destas perguntas, foi possível identificar que o cliente pretendia a elevação de blocos de cimento, a partir do solo, por meio manual. O cliente explicou que os blocos de cimento apresentavam uma geometria paralelepédica com dimensões variáveis entre 250×800×120 mm e 400×800×120 mm com os pesos variando entre 60kg e 100kg, respetivamente.

Ficou também clarificado que a altura da elevação dos blocos era apenas a necessária para que fosse possível deslocá-los sem que estejam em contacto com o solo.

Como resultado da reunião com o cliente ficaram então estabelecidas as funções (requisitos funcionais) que o dispositivo teria de realizar, de modo a satisfazer as necessidades do cliente:

- Elevar os blocos de cimento do chão;
- Permitir a deslocação dos blocos;
- Ser ajustável, de modo a permitir a adaptação aos diferentes tamanhos dos blocos;
- O dispositivo deve ser utilizado por 2 operadores;
- Os operadores deverão exercer a mesma força para elevar a carga.

## 4.2 Realizar o Anteprojeto

Nesta dissertação é importante realçar que, a realização do anteprojeto foi apresentada de maneira pormenorizada e com um nível bastante mais aprofundado relativamente ao que tipicamente é realizado nesta fase para motivos de orçamentação. Uma vez que este documento procura ilustrar as diversas fases que estão envolvidas na criação de um orçamento e estará disponível para qualquer pessoa ler, achou-se por bem mostrar de forma mais rigorosa e clara esta fase. No entanto, é importante referir que estes passos que serão apresentados consomem bastante tempo pelo que, para a realização de um orçamento, esta fase toma um rigor bastante menos aprofundado, poupando-se desta forma muito tempo de Projeto, muitas horas de Projetista, reduzindo assim os custos.

No subtópico 4.2.3.2 os diagramas de corpo livre apresentam valores até à casa centesimal. Tipicamente o projetista não está preocupado nesta fase com esse nível de rigor, não se preocupando sequer com casas decimais. No entanto, por uma questão de exemplificação e demonstração de cálculos, estes valores foram considerados, para que os valores dos diagramas de esforços apresentassem valores iguais a 0 nas extremidades.

### 4.2.1 Criação de Soluções

Simultaneamente ao estabelecimento dos requisitos funcionais, foram concebidas soluções para a satisfação de cada uma das funcionalidades pretendidas.

Iniciando-se ao nível mais global do sistema, o primeiro Requisito Funcional, foi possível estabelecer soluções que o satisfizessem. Posteriormente foi necessário decompor a solução global do sistema em níveis mais elementares e, como tal, foram estabelecidos novos requisitos funcionais derivados do primeiro RF de modo a traduzir todas as funcionalidades pretendidas, tornando então possível definir as soluções (PPs) que satisfazem esses novos Requisitos Funcionais.

### 4.2.2 Estabelecimento de Critérios

De modo a analisar as soluções e permitir que a solução escolhida satisfaça todos os requisitos, necessidades do cliente e constrangimentos impostos, foram estabelecidos critérios de avaliação da solução.

Como critério Funcional foi estabelecido que o dispositivo deverá ser capaz de realizar todas as funcionalidades para o qual foi concebido, ou seja, deverá ser capaz de permitir a elevação manual dos blocos de cimento, de acordo com as dimensões e pesos dos mesmos.

Como critério de Ergonomia ficou estabelecido que o dispositivo deverá permitir a elevação dos blocos recorrendo maioritariamente à força exercida pelas pernas do operador, de

modo a evitar a utilização excessiva das suas costas nesta tarefa, evitando desta forma possíveis lesões devido a uma utilização incorreta do equipamento.

Como critério de Manufatura foi estabelecido que a solução deveria ter em conta os meios de produção disponíveis e que se deveria ter em consideração um critério de custos mínimos, ou seja, a solução deverá ser a que tiver menor custo sem comprometer a realização das funções para a qual foi projetada.

Como critérios Mecânicos foi estabelecido que a solução deveria ser capaz de suportar os esforços aplicados durante a elevação das cargas, tanto ao nível da resistência como da rigidez. Como tal, deve ter-se particular atenção à escolha dos materiais usados.

Como critérios de Segurança foi estabelecido que a força máxima exercida por cada um dos operadores não deveria ultrapassar os 60 kg.

Tendo em mente estes critérios foi possível chegar a melhor solução para satisfazer os requisitos e necessidades do cliente.

### 4.2.3 Anteprojetado

Nesta fase, a solução embora já decidida, era apenas ainda um conceito que era necessário traduzir em termos de dimensões e geometria, ou seja, era necessário realizar a configuração do dispositivo.

É importante referir que uma vez que estamos perante a realização de um orçamento para o cliente e que, por isso, não é seguro que a proposta apresentada ao cliente seja realizada, os recursos despendidos nesta fase deverão ser mínimos.

Para o obter então a configuração do dispositivo foi necessário determinar quais os esforços internos a que este estava sujeito durante a elevação das cargas. Realizou-se então um esboço à mão livre da solução pretendida como se ilustra na figura 20.

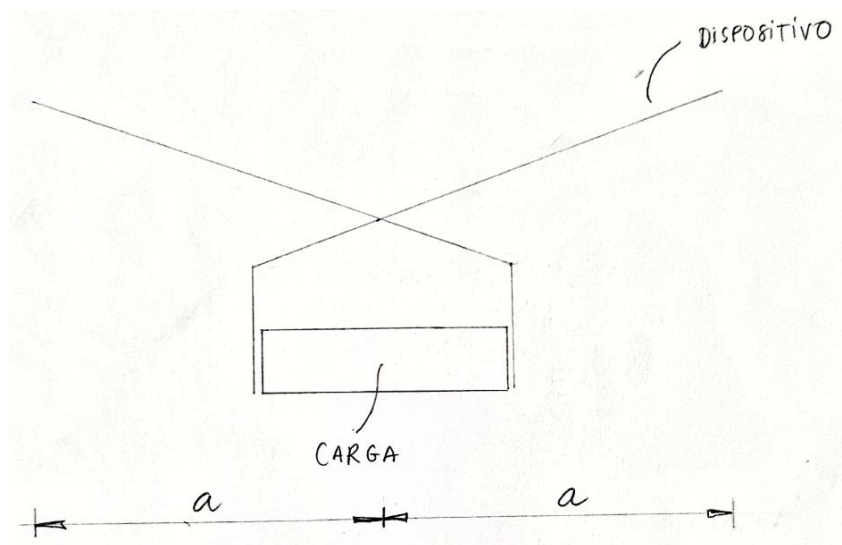


Figura 20 - Esboço ilustrativo do dispositivo no momento de aperto da carga.

### 4.2.3.1 Escolha do Material

Considerando as características das cargas que o dispositivo terá de suportar (carga máxima de 100 kg), os fatores económicos e uma vez que não existiam restrições à escolha do material devido a questões ambientais foi possível estabelecer que o Aço S235JR seria o material a ser utilizado para o corpo da estrutura do dispositivo.

Será utilizada uma borracha na zona de contacto com as cargas de modo a se obter nessa superfície um elevado coeficiente de atrito.

Quanto à zona de contacto entre as duas barras do dispositivo, ou seja, a zona de articulação, será feita por uma cavilha de Aço S275JR.

### 4.2.3.2 Determinação dos Esforços Internos

Para a determinação dos esforços internos foram desenhados alguns esboços à mão livre, de modo a identificar os carregamentos aplicados ao dispositivo e possibilitar posteriormente a identificação das zonas mais solicitadas.

Para efeito de cálculo, foi considerado o momento em que as cargas são elevadas do chão visto que, é o que provoca na estrutura do dispositivo os esforços mais severos e foram feitos os cálculos apenas para a carga mais elevada (100 kg), uma vez que se for garantido o suporte dos esforços para esta carga também será garantido para a carga mais leve de (60 kg).

Na figura 21 podemos observar o diagrama de corpo livre de ambas as hastes, com os carregamentos que estão aplicados nas hastes constituintes do dispositivo, e que irão ser traduzidos nos esforços a que estas estão sujeitas:

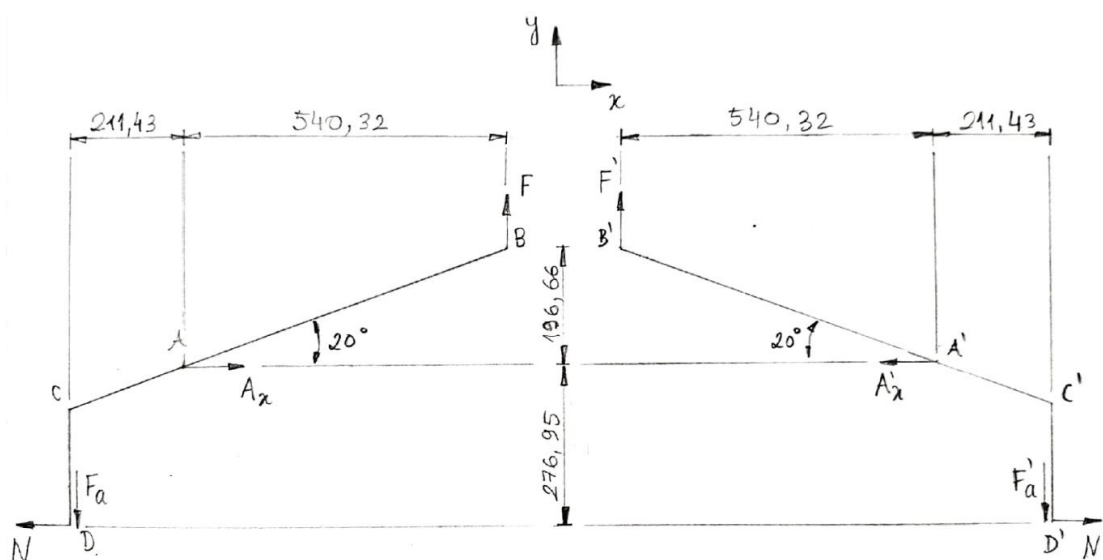


Figura 21 - Diagrama de corpo livre das hastes do dispositivo.

em que  $F$  corresponde a força exercida por cada um dos operadores,  $F_a$  à força de atrito necessária para elevar a carga, que corresponde a metade do peso da carga.  $A_x$  é a reação na articulação e  $N$  é a força normal exercida pelo bloco sobre a haste do dispositivo.

Na atribuição dos comprimentos de cada peça foi prestada especial atenção a dois aspetos:

- À posição em que os operadores teriam de estar de modo a realizar a força para elevar as cargas. Como tal, considerou-se que no momento em que se dá o aperto da carga, a zona destinada a colocação das mãos do operador deveria estar a uma altura de 500 mm do chão aproximadamente (altura do joelho ao chão), de modo a garantir que a força possa ser realizada maioritariamente pelas pernas do operador e não pelas suas costas.

- À posição em que a barra de menor comprimento deveria estar no momento de aperto da carga. Estipulou-se que esta barra deveria estar aproximadamente na vertical de modo a aumentar a superfície de contacto entre a base da haste e a carga.

Desta configuração obteve-se então as medidas para efeito de cálculos que estão ilustradas na figura 22.

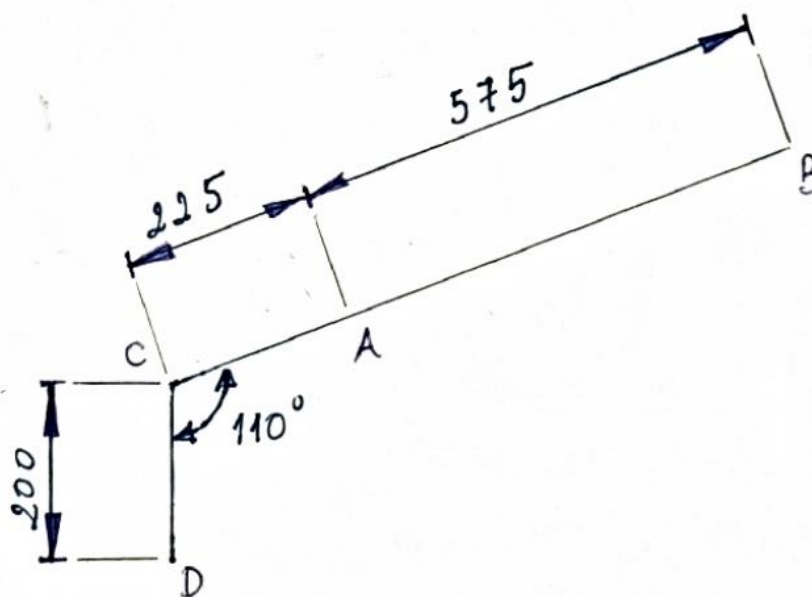


Figura 22 - Configuração geométrica do dispositivo e dimensões gerais da haste.

Em seguida realizaram-se os cálculos das reações e das forças aplicadas numa das hastes, recorrendo às equações de equilíbrio estático. Pelo facto de estarmos perante um sistema simétrico, basta-nos realizar os cálculos para uma das hastes.

Sabemos que  $F_a = \frac{P}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ N}$  e, como tal, obteve-se:

$$\begin{aligned} & \begin{cases} \Sigma \vec{F} = \vec{0} \\ \Sigma \vec{M} = \vec{0} \end{cases} \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M_{A_z} = 0 \end{cases} \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} A_x - N = 0 \\ F - F_a = 0 \\ F \times 0,54032 + F_a \times 0,21143 - N \times 0,27695 = 0 \end{cases} \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} A_x = 1357,2 \text{ N} \\ F = 500 \text{ N} \\ 500 \times 0,54032 + 500 \times 0,21143 - N \times 0,27695 = 0 \end{cases} \\ & \Leftrightarrow \begin{cases} A_x = 1357,2 \text{ N} \\ F = 500 \text{ N} \\ N = 1357,2 \text{ N} \end{cases} \end{aligned}$$

Considerando um coeficiente de atrito  $\mu = 1$  de acordo com a tabela 6 apresentada a baixo. E considerando um  $\mu = 0.5$  no caso de os blocos ou a borracha estarem molhados, estabeleceram-se as seguintes condições a verificar:

$$\text{Para } \mu = 1 \Rightarrow N \geq \frac{F_a}{\mu} = \frac{500}{1} = 500 \text{ N}$$

$$\text{Para } \mu = 0.5 \Rightarrow N \geq \frac{F_a}{\mu} = \frac{500}{0.5} = 1000 \text{ N}$$

Ambas as condições se verificam visto que,  $N = 1357,2 \text{ N}$

Tabela 6 - Tabela de coeficientes de atrito entre superfícies [Anexo 1].

Material	Material	Estático s/ lubrificação	Deslizamento s/ lubrificação	Estático c/ lubrificação	Deslizamento c/ lubrificação
Aço	Bronze de alumínio	0,45	-	-	-
Aço	Grafite	0,1	-	0,1	-
Aço	Latão	0,35	-	0,19	-
Aço	Liga de cobre e chumbo	0,22	-	0,16	0,15
Aço médio C	Aço médio C	0,74	0,57	-	-
Aço médio C	Chumbo	0,95	0,95	0,5	0,3
Aço médio C	Ferro fundido	-	0,23	0,18	0,13
Alumínio	Alumínio	1,9	1,4	-	-
Alumínio	Aço médio C	0,61	0,47	-	-
Borracha	Asfalto seco	-	0,5-0,8	-	-
Borracha	Asfalto úmido	-	0,25-0,75	-	-
Borracha	Concreto seco	1,0	0,6-0,85	-	-

Para o cálculo dos esforços internos foi necessário decompor os carregamentos aplicados na estrutura segundo as direções axial e transversal, obtendo-se:

$$\begin{cases} F_V = F_{aV} = 500 \times \cos(20) = 469,85 \text{ N} \\ F_N = F_{aN} = 500 \times \sin(20) = 171 \text{ N} \\ A_{xV} = N_V = 1357,2 \times \sin(20) = 464,2 \text{ N} \\ A_{xN} = N_N = 1357,2 \times \cos(20) = 1275,4 \text{ N} \\ M_{aV} = 464,2 \times 0,225 = 375,88 \text{ N} \\ M_{FV} = 469,85 \times 0,8 = 104,44 \text{ N} \\ M_N = 1357,2 \times 0,2 = 271,44 \text{ N} \end{cases}$$

Devido à geometria da haste do dispositivo escolheu-se dividir a haste em duas partes, uma correspondente à secção  $\overline{CB}$  e outra à secção  $\overline{CD}$ .

Começando pelo troço  $\overline{CD}$ , escreveram-se as equações do momento fletor (M) do troço de acordo com a figura 23 e obtiveram-se os diagramas de esforço normal (N), transversal (V) e do momento fletor como se mostra na figura 24.

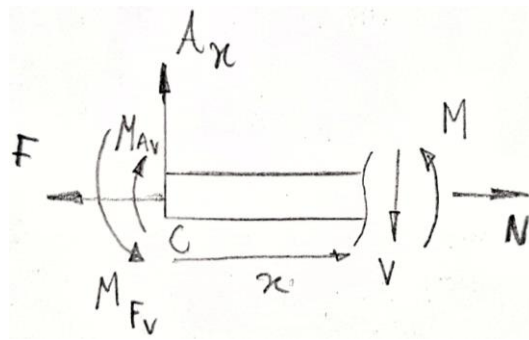


Figura 23 - Esforços aplicados à secção cortada do troço  $\overline{CD}$ .

$$\begin{cases} \Sigma F_N = 0 \\ \Sigma F_V = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = F \\ V = A_x \\ M = M_{aV} - M_{FV} + A_x \times x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = 500 \text{ N} \\ V = 1357,2 \text{ N} \\ M = -271,44 + 1357,2 \times x \end{cases}$$

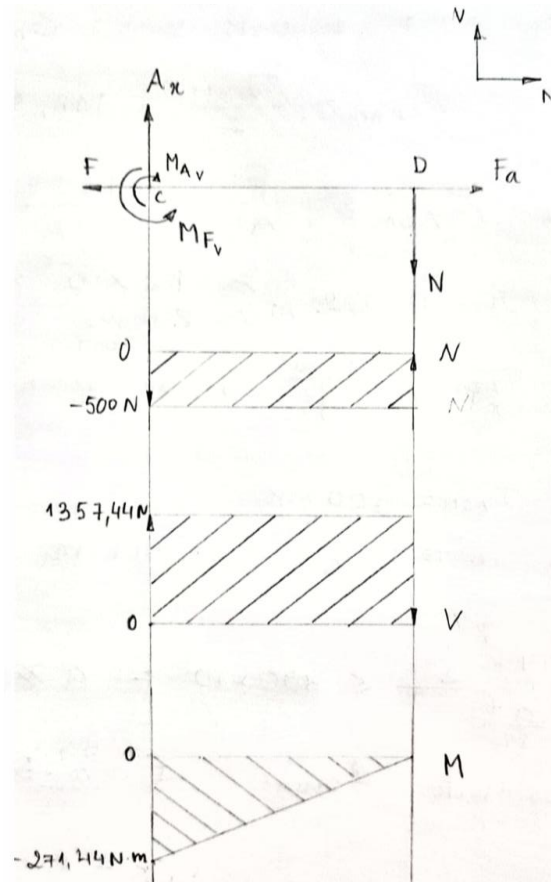


Figura 24 - Diagramas de esforços e momento fletor do trecho  $\overline{CD}$  da haste.

Passando ao trecho  $\overline{CB}$  e dividindo este em dois,  $\overline{CA}$  e  $\overline{AB}$ , escreveu-se as equações dos momentos para os dois trechos.

Para o trecho  $\overline{CA}$ , foram escritas as equações de acordo com a figura 25.

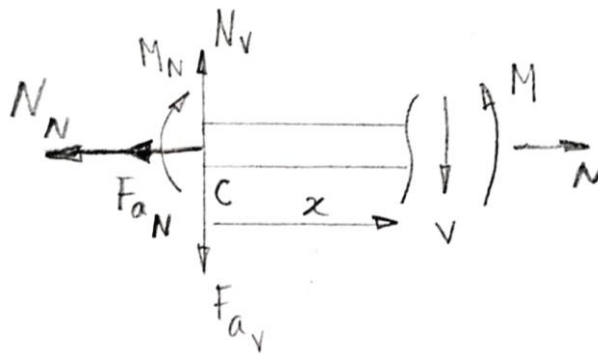


Figura 25 - Esforços aplicados à seção cortada do trecho  $\overline{CA}$ .

$$\begin{cases} \Sigma F_N = 0 \\ \Sigma F_V = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = N_N + F_{a_N} \\ V = N_V - F_{a_V} \\ M = M_N + N_V \times x - F_{a_V} \times x \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = 1446,4 \text{ N} \\ V = -5,65 \text{ N} \\ M = 271,44 - 5,65 \times x \end{cases}$$

Para o troço  $\overline{AB}$ , foram escritas as equações de acordo com a figura 26.

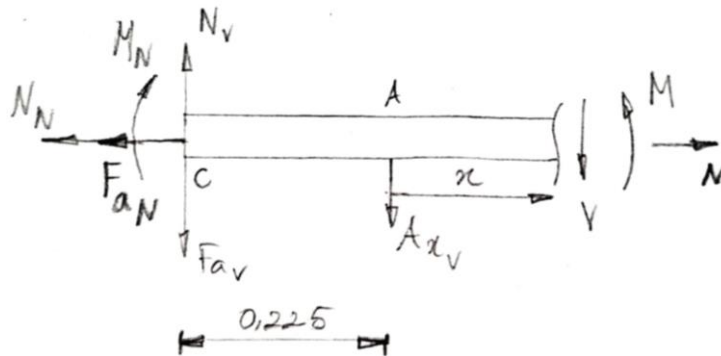


Figura 26 - Esforços aplicados à secção cortada do troço  $\overline{AB}$ .

$$\begin{cases} \Sigma F_N = 0 \\ \Sigma F_V = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = N_N + F_{a_N} - A_{x_N} \\ V = N_V - F_{a_V} - A_{x_V} \\ M = M_N + N_V \times (x + 0,225) - F_{a_V} \times (x + 0,225) - A_{x_V} \times x \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} N = 171 \text{ N} \\ V = -469,85 \text{ N} \\ M = 270,16 - 469,85 \times x \end{cases}$$

Em seguida, desenharam-se os diagramas de esforço normal (N), transverso (V) e do momento fletor (M) no troço  $\overline{CB}$  da haste, representados na figura 27.

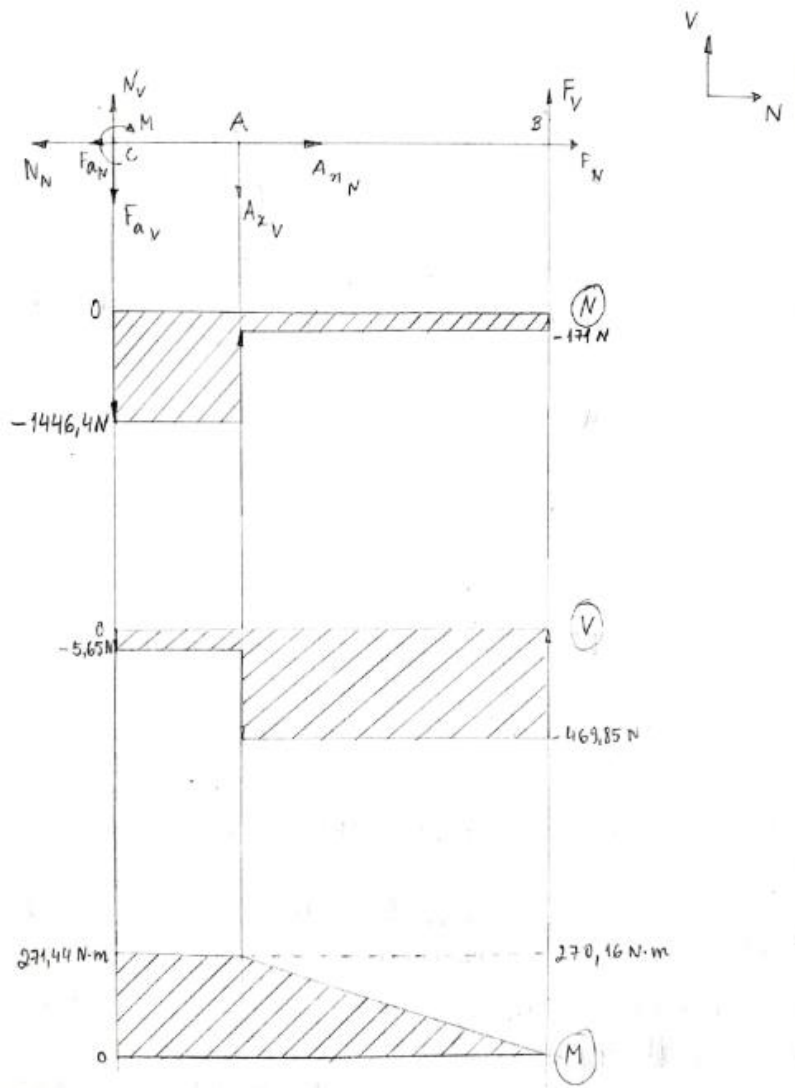


Figura 27 - Diagramas de esforços e momento fletor do trecho  $\overline{CB}$  da haste

Desta forma, concluiu-se que os pontos A e C seriam os pontos mais críticos na estrutura, uma vez que serão os locais onde as tensões serão maiores, visto estarem sujeitos aos maiores esforços presentes na estrutura.

#### 4.2.3.3 Dimensionamento de Cada Peça

Uma vez que já são conhecidos os esforços internos aplicados as peças, realizou-se então o dimensionamento da secção transversal das peças de modo a que estas pudessem suportar os esforços a elas aplicados.

O material escolhido apresenta uma tensão de rotura com valores entre  $360 \leq \sigma_r \leq 510 \text{ MPa}$  e um valor de tensão de cedência  $\sigma_{ced} = 235 \text{ MPa}$ . Devido à existência de uma cavilha a funcionar como articulação entre as hastes, que provoca uma diminuição da área da secção transversal nesta zona das mesmas, decidiu-se considerar um fator de segurança de 2 relativamente à cedência, obtendo-se assim uma tensão admissível  $\sigma_{adm} = 117,5 \text{ MPa}$ .

- Dimensionamento da cavilha da articulação

O material da cavilha é um aço S275JR pelo que temos uma tensão de cedência  $\sigma_{ced} = 275 \text{ MPa}$ , e usando o mesmo fator de segurança obtém-se um  $\sigma_{adm} = 137,5 \text{ MPa}$ .

Para a cavilha foi identificado que este estaria sujeito ao corte e como tal, procurou-se identificar qual a área da secção mínima para resistir aos esforços a que estaria sujeito.

Recorrendo ao Critério de Plasticidade de Tresca sabemos que a  $\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{2}$ , logo considerou-se  $\tau_{adm} = \frac{\sigma_{adm}}{2} = 68,75 \text{ MPa}$ .

Desta forma, calculou-se então a área mínima da secção de modo a resistir aos esforços de corte, de acordo com a figura 28.

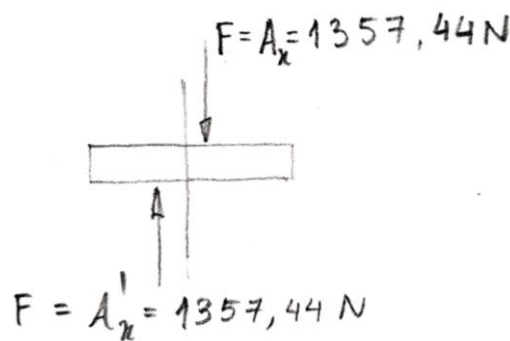


Figura 28 - Demonstração das Forças de Corte presentes na cavilha que resultam numa Tensão de Corte.

$$\tau_{adm} \geq \frac{F}{A} \Leftrightarrow 68,75 \times 10^6 \geq \frac{1357,2}{A} \Leftrightarrow A \geq 19,7411 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 19,7411 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Leftrightarrow 19,7411 = \frac{\pi D^2}{4} \Leftrightarrow D = 5,02 \text{ mm}$$

Considerando uma secção circular do varão temos então um varão com um diâmetro mínimo de 5,02 mm, tendo por isso sido escolhido um varão de 7 mm.

Desta forma, obtém-se uma tensão máxima ao corte de  $\tau_{m\acute{a}x} = 35,27 \text{ MPa}$  que é inferior a tensão admissível ao corte de  $\tau_{adm} = 68,75 \text{ MPa}$ , como se verifica no seguinte cálculo:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} = \frac{1357,2}{\frac{\pi \times 0,007^2}{4}} = 35,27 \text{ MPa} \leq 68,75 \text{ MPa}$$

Verificou-se também a tensão de esmagamento nas conexões  $\sigma_e$ , tendo-se feito uso da figura 29 que ilustra o contacto entre as superfícies em questão.

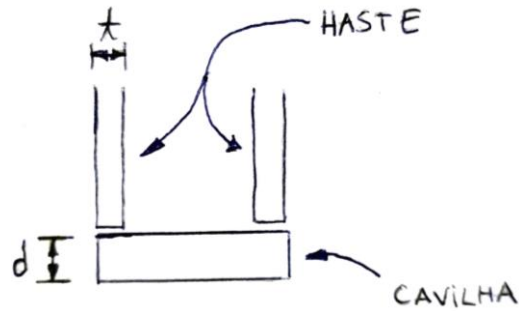


Figura 29 - Figura ilustrativa do contacto entre uma das hastes e a cavilha.

Cálculo da tensão de esmagamento nas conexões  $\sigma_e$ :

$$\sigma_e = \frac{F}{d \times t} = \frac{1357,2}{(0,05 \times 0,003) \times 2} = 4,53 \text{ MPa}$$

Através dos valores obtidos verificou-se que o dimensionamento da cavilha está do lado da segurança e suporta os esforços a esta aplicados.

- Dimensionamento das hastes

Para as hastes foi necessário verificar qual a secção mínima que suportaria as **deformações** máximas admissíveis, tendo sido considerada uma condição  $\frac{L}{400} = \frac{1000}{400} = 2,5 \text{ mm}$ .

Recorreu-se ao Teorema de Castigliano para o cálculo dos deslocamentos associados às deformações em cada troço, tendo sido considerado três troços, o troço  $\overline{CD}$ ,  $\overline{CA}$  e  $\overline{AB}$  e foi aplicada uma carga unitária na extremidade da haste onde se situa o operador, perpendicularmente à haste, como se ilustra na figura 30, de modo a calcular o deslocamento nesse ponto, visto ser o ponto que iria apresentar o maior deslocamento.

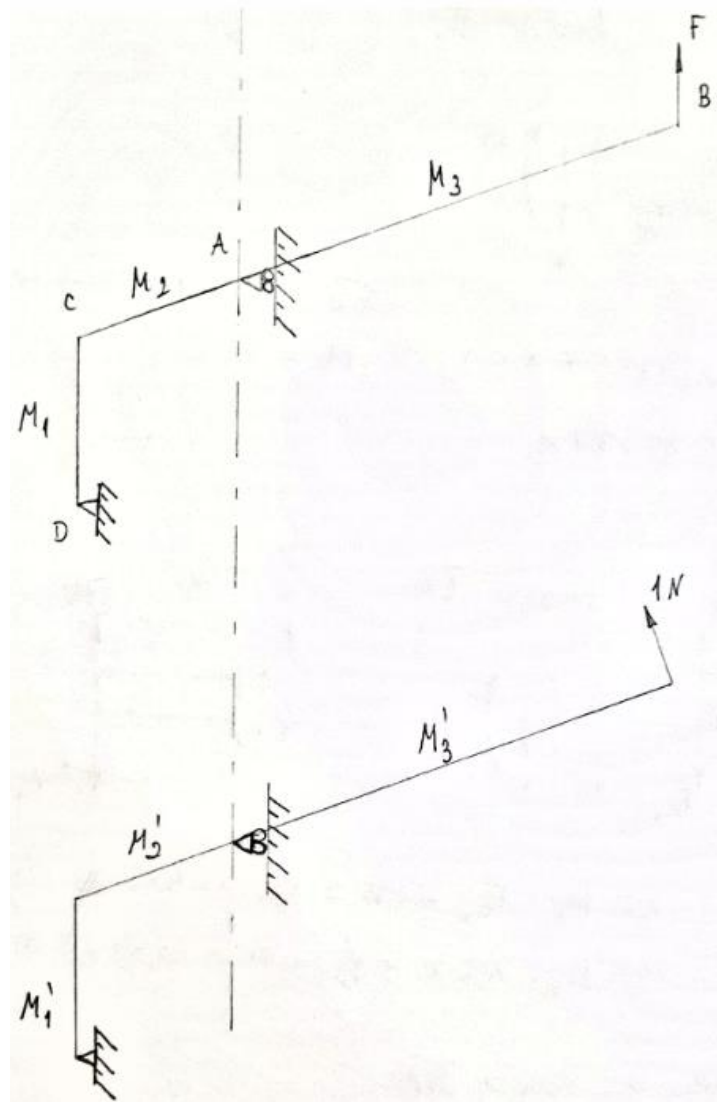


Figura 30 - Representação ilustrativa da aplicação do teorema de Castigliano.

Começou por repetir-se os cálculos dos esforços internos na haste, mas agora para quando está aplicada a carga unitária, de modo a obter as equações dos momentos fletores em cada um dos troços acima identificados.

A partir do diagrama de corpo livre representado na figura 31 obtiveram-se os valores das reações, recorrendo novamente às equações de equilíbrio estático.

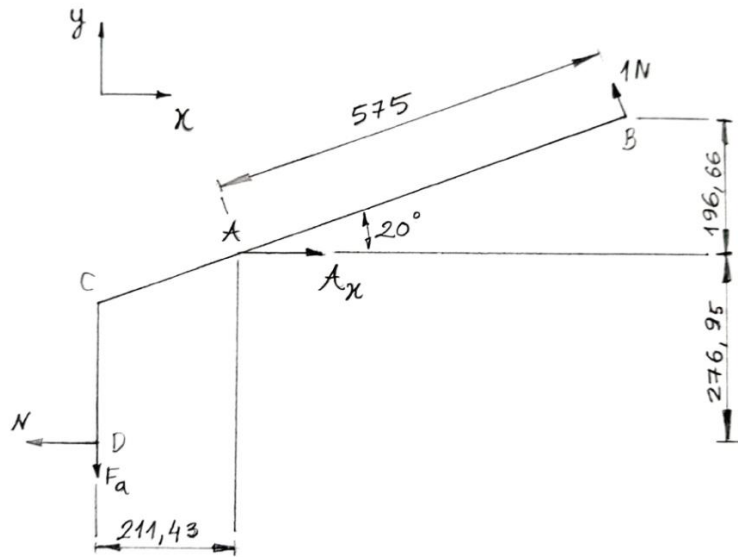


Figura 31 - Diagrama de corpo livre da haste quando está aplicada uma carga unitária.

$$\begin{cases} \Sigma \vec{F} = \vec{0} \\ \Sigma \vec{M} = \vec{0} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M_A = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} A_x - N - 1 \times \text{sen}(20) = 0 \\ 1 \times \text{cos}(20) - F_a = 0 \\ 1 \times 0,575 + F_a \times 0,21143 - N \times 0,27695 = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} A_x = 3,13559 \text{ N} \\ F_a = 0,93969 \text{ N} \\ N = 2,79357 \text{ N} \end{cases}$$

Depois decompôs-se estes esforços segundo as direções normal e tangencial aos troços, obtendo-se:

$$\begin{cases} F_{av} = F_a \times \text{cos}(20) = 0,883022 \text{ N} \\ F_{aN} = F_a \times \text{sen}(20) = 0,321394 \text{ N} \\ A_{xv} = A_x \times \text{sen}(20) = 1,07243 \text{ N} \\ A_{xN} = A_x \times \text{cos}(20) = 2,94649 \text{ N} \\ N_v = N \times \text{sen}(20) = 0,955457 \text{ N} \\ N_N = N \times \text{cos}(20) = 2,6251 \text{ N} \\ M_{av} = A_{xv} \times 0,225 = 0,241297 \text{ N} \\ M_1 = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ N} \\ M_N = N \times 0,2 = 0,558714 \text{ N} \end{cases}$$

Em seguida, analisou-se cada troço individualmente para escrever as equações dos momentos em cada um deles. Iniciando no troço  $\overline{CD}$ , escreveram-se as equações do momento fletor do troço de acordo com a figura 32.

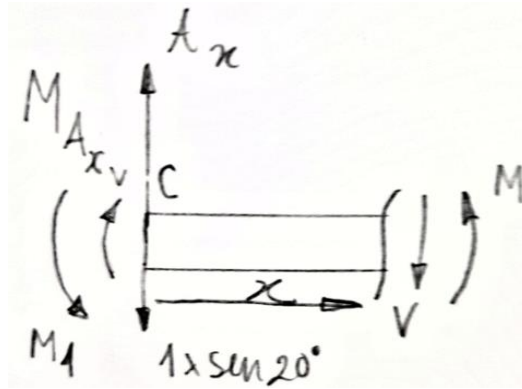


Figura 32 - Esforços aplicados à secção cortada do troço  $\overline{CD}$ .

$$\begin{cases} \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} V = A_x - 1 \times \text{sen}(20) \\ M = M_{A_v} - M_1 + A_x \times x \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} V = 2,79357 \text{ N} \\ M = -0,558703 + 2,79357 \times x = M_1 \end{cases}$$

Para o troço  $\overline{CA}$ , foram escritas as equações de acordo com a figura 33.

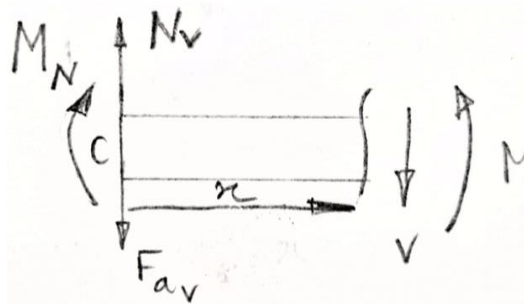


Figura 33 - Esforços aplicados à secção cortada do troço  $\overline{CA}$ .

$$\begin{cases} \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} V = N_v - F_{A_v} \\ M = M_N + N_v \times x - F_{A_v} \times x \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} V = 0,072435 \text{ N} \\ M = 0,558714 + 0,072435 \times x = M_2 \end{cases}$$

Para o troço  $\overline{AB}$ , foram escritas as equações de acordo com a figura 34.

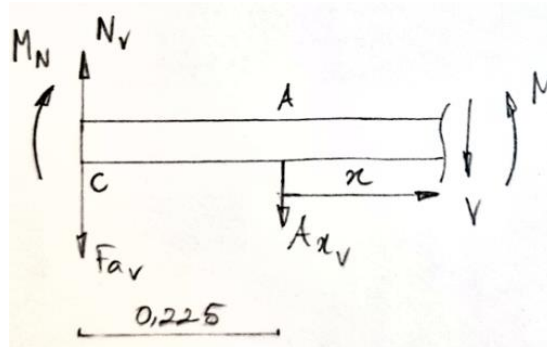


Figura 34 - Esforços aplicados à secção cortada do troço  $\overline{AB}$ .

$$\begin{cases} \sum F_y = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} V = N_V - F_{aV} - A_{xV} \\ M = M_N + N_V \times (x + 0,225) - F_{aV} \times (x + 0,225) - A_{xV} \times x \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} V = -1 \text{ N} \\ M = 0,575 - 1 \times x = M_3 \end{cases}$$

Depois de escritas as equações dos momentos em cada troço, retomou-se a aplicação do Teorema de Castigliano para o cálculo do deslocamento perpendicular à haste no ponto B, através da expressão:

$$\begin{aligned} \delta &= \sum_{i=1}^3 \int_0^L \frac{M_i M'_i}{EI} \partial x = \frac{1}{EI} \left( \int_0^{0,2} M_1 M'_1 \partial x + \int_0^{0,225} M_2 M'_2 \partial x + \int_0^{0,575} M_3 M'_3 \partial x \right) \\ &= \frac{1}{EI} \left( \int_0^{0,2} (-271,44 + 1357,2 \times x)(-0,558703 + 2,79357 \times x) \partial x \right. \\ &\quad + \int_0^{0,225} (271,44 - 5,65 \times x)(0,558714 + 0,072435 \times x) \partial x \\ &\quad \left. + \int_0^{0,575} (270,16 - 469,85 \times x)(0,575 - 1 \times x) \partial x \right) = \\ &= \frac{1}{EI} \left( \int_0^{0,2} (3791,43 \times x^2 - 1516,56 \times x + 151,654) \partial x \right. \\ &\quad + \int_0^{0,225} (-0,409258 \times x^2 + 16,505 \times x + 151,657) \partial x \\ &\quad \left. + \int_0^{0,575} (469,85 \times x^2 - 540,32 \times x + 155,342) \partial x \right) \\ &= \frac{1}{EI} (10,1101 + 34,5391 + 29,7743) \\ &= \frac{74,4234}{EI} \end{aligned}$$

Como temos a condição de  $\frac{L}{400} = \frac{1000}{400} = 2,5 \text{ mm}$ , temos então:

$$\delta \geq \frac{74,4234}{EI} \Leftrightarrow 0,0025 \geq \frac{74,4234}{200 \times 10^9 \times I} \Leftrightarrow I \geq 1,49 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Considerou-se então a escolha de um perfil tubular quadrado com as medidas de 50x50 mm e uma espessura  $t=3 \text{ mm}$ , com um  $I = 1,95 \times 10^{-7} \text{ m}^4$ .

Realizaram-se os cálculos para este perfil e obteve-se um deslocamento  $\delta = 1,91 \text{ mm}$ .

Foi também desenvolvido um código *APDL*, que se encontra anexado a este documento, para ser colocado no programa *ANSYS* para comprovar os cálculos realizados para este perfil.

Foram também realizados os cálculos quanto à **resistência**, tendo sido calculada a tensão máxima provocada pelos esforços presentes nos componentes, de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma_{\text{máx}} = \sigma_{\text{tração}} + \sigma_{\text{flexão}} = \frac{F}{A} + \frac{M_{fz}}{I_z} \times y + \frac{M_{fy}}{I_y} \times z$$

Sendo que a última parcela é igual a 0 uma vez que estamos perante um problema plano.

A força máxima de tração aplicada verifica-se no ponto C e tem um valor de 1446,4 N, como se pode verificar na figura 27. Logo, obteve-se uma tensão de tração máxima de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma_{\text{tração}} = \frac{F}{A} = \frac{1446,4}{2,91 \times 10^{-4}} = 4,97 \text{ MPa} \ll 117,5 \text{ MPa}$$

$$A = 0,05 \times 0,05 - 0,47 \times 0,47 = 2,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Ainda relativo à resistência, foi verificada se a tensão admissível não era ultrapassada devido aos esforços transversos. Mais uma vez, olhando para os diagramas das figuras 24 e 27, identificamos, que o momento máximo se verifica no ponto C e tem valor de  $M = 271,44 \text{ N}$ . Tendo-se por isso calculada a tensão devido à flexão neste ponto:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_c}{I_c} \times c = \frac{271,44}{\frac{0,05^4}{12}} \times 0,025 = 13,03 \text{ MPa} < 117,5 \text{ MPa}$$

$$I_c = \frac{a \times b^3}{12} = \frac{0,05 \times 0,05^3}{12} = \frac{0,05^4}{12} = 5,208 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Em que  $c$  representa a distância máxima da superfície neutra, que corresponde a metade da altura.

No entanto o ponto A, tem uma secção reduzida devido à existência de um furo para a cavilha que irá realizar a articulação entre as hastes, e que apresenta um momento muito próximo do valor de momento máximo,  $M_a = 270,16 N$ .

Por esta razão os cálculos da tensão serão realizados também para este ponto, tendo sido realizada uma aproximação da secção transversal nesse ponto em que foi considerada uma secção retangular com  $a = 50 \text{ mm}$ ,  $b = 50 \text{ mm}$  e  $t = 3 \text{ mm}$ , à qual foi retirado 2 retângulos com as medidas  $a = 3 \text{ mm}$  e  $b = 10 \text{ mm}$ .

$$I_a = \frac{a \times b^3}{12} = \frac{0,05 \times 0,05^3}{12} - 2 \times \left( \frac{0,003 \times 0,01^3}{12} \right) = 5,203 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{flexão} = \frac{M_a}{I_a} \times c = \frac{270,16}{5,203 \times 10^{-7}} \times 0,025 = 12,98 \text{ MPa} < 117,5 \text{ MPa}$$

Em que  $c$  representa a distância máxima da superfície neutra, que corresponde a metade da altura.

Verificou-se que a tensão máxima devido à flexão no ponto C é maior que a sentida no ponto A e, como tal, calculou-se o valor de tensão máxima  $\sigma_{máx}$  no ponto C, de acordo com o seguinte cálculo:

$$\sigma_{máx} = \sigma_{tração} + \sigma_{flexão} = 4,97 + 13,03 = 18 \text{ MPa} < 117,5 \text{ MPa}$$

- Dimensionamento das restantes peças

Embora os principais componentes estejam dimensionados, existem algumas peças que são importantes de dimensionar, tais como, as pegas para os operadores e as chapas soldadas às hastes, onde posteriormente serão colocadas as borrachas que permitirão elevar as cargas por atrito.

Quanto às **pegas** para os operadores considerou-se um perfil tubular cilíndrico com as medidas, diâmetro  $D = 50 \text{ mm}$  e espessura  $t = 2 \text{ mm}$ , de modo a facilitar uma soldadura entre este e as hastes do dispositivo.

Quanto às **chapas** em que serão colocadas as borrachas, optou-se por uma chapa do mesmo material das hastes com as medidas de  $300 \times 100 \text{ mm}$  e uma espessura  $t = 3 \text{ mm}$  por questões de rigidez.

No final, calculou-se o peso final da estrutura de modo a confirmar que respeitava o critério de segurança em que um operador não deve exercer mais de 60 kg de força.

$$\begin{aligned} P_{ESTRUTURA} &= P_{CAVILHA} + P_{HASTES} + P_{PEGAS} + P_{CHAPAS} + P_{EXTRAS} \\ &= 0,371 + 8,5 + 1,99 + 2,37 + 1 = 14,23 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Desta forma, conclui-se que a força exercida por cada operador respeita o critério e tem o valor de:

$$F_{OPERADOR} = \frac{P_{BLOCO} + P_{ESTRUTURA}}{2} = \frac{100 + 14,23}{2} = 57,1 \text{ Kg}$$

#### 4.2.3.4 Estabelecimento da Configuração Geométrica da Solução e Estudo da Compatibilidade Geométrica

Nesta fase, procurou-se estabelecer uma configuração geométrica da solução, tendo em atenção aos locais onde cada peça irá montar, de modo a que não exista nenhuma incompatibilidade entre as geometrias das peças.

Definidas então as dimensões individuais de cada peça, estabeleceu-se que as **pegas dos operadores** seriam colocadas na extremidade do ponto B da haste. Para tal, na extremidade da haste será efetuado um corte no formato de um semicírculo com raio  $r = 25 \text{ mm}$ , possibilitando desta forma a soldadura do tubo à haste, como indicado na figura 35.

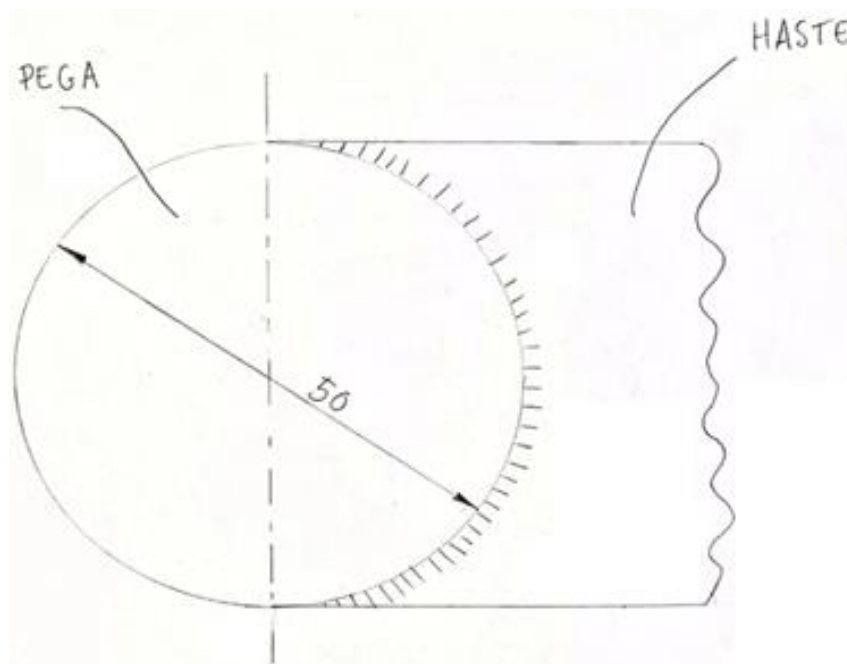


Figura 35 -Esboço da Soldadura entre a Pega para o Operador e o Perfil tubular da haste.

Quanto **às chapas** em que serão colocadas as borrachas definiu-se também que seriam soldadas ao longo do trecho  $\overline{CD}$ , partindo da extremidade D, como se ilustra na figura 36.

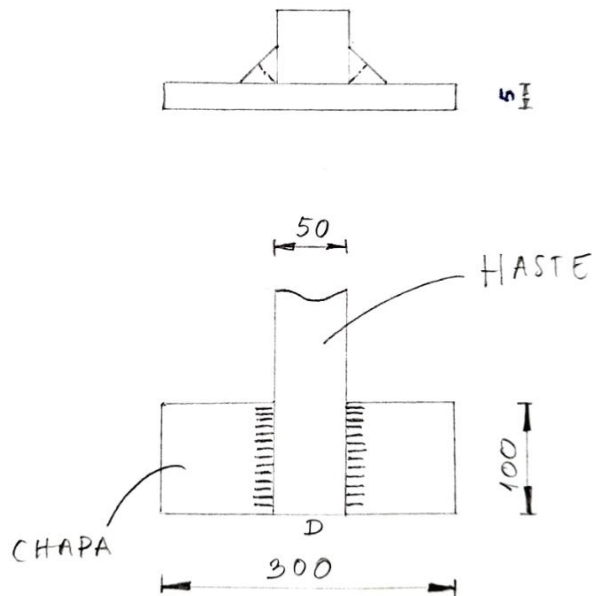


Figura 36 - Esboço da soldadura entre as chapas e a haste.

As **borrachas** serão coladas ao longo do comprimento das chapas.

Quanto à **cavilha** da articulação serão abertos dois furos para o mesmo com um diâmetro  $D = 9 \text{ mm}$ , um a uma distância  $d = 150 \text{ mm}$  e outro a uma distância  $d = 225 \text{ mm}$  a partir do ponto C e em direção ao ponto B. O varão terá um diâmetro de 7 mm e serão colocados casquilhos para evitar o contacto entre superfícies metálicas. De um dos lados o varão terá um diâmetro de 20 mm de modo a evitar a saída da haste e do outro lado será aberto um rasgo no veio onde se colocará uma chapa que será aparafusada há haste para criar um movimento de sincronia entre o veio e uma das hastes. A figura 37 ilustra este arranjo.

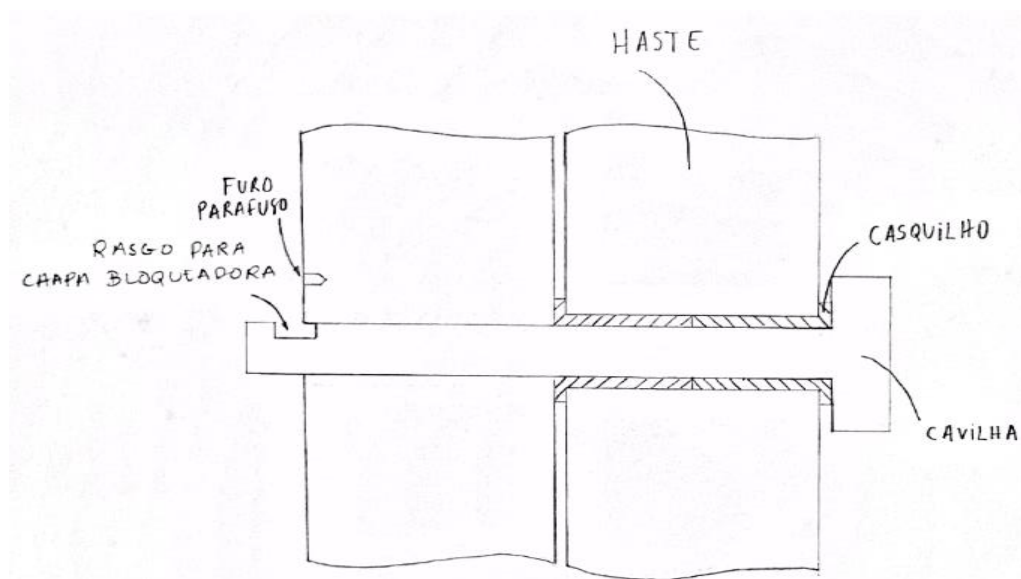


Figura 37 - Esboço da montagem entre o veio e as hastes através da utilização de casquilhos.

No fim obteve-se a configuração global do dispositivo apresentado na figura 38.

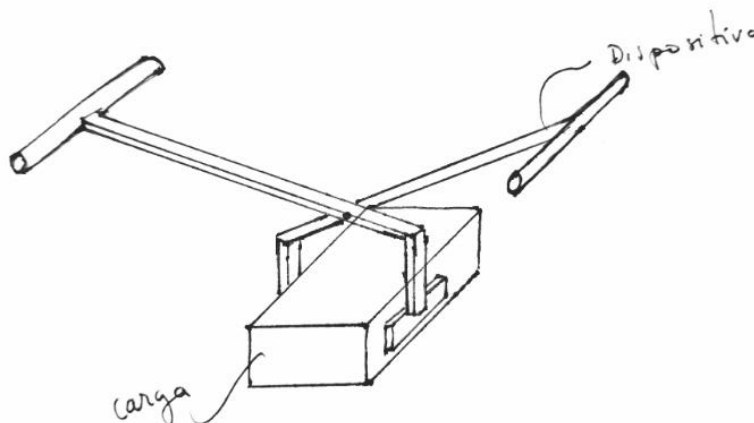


Figura 38 - Configuração final do dispositivo.

#### 4.2.4 Contacto com o Cliente

Após realizado o Anteprojecto contactou-se novamente o cliente de modo a agendar uma reunião para expor a solução proposta e os seus dados técnicos, de modo a garantir que a solução ia de encontro às suas necessidades e que era de facto o que o cliente pretendia.

### 4.3 Estimativa de Custos e Tempos de Produção

Depois de aprovada a solução por parte do cliente, começou-se então o processo de estimativa de custos e tempos de produção necessária para a apresentação do orçamento.

#### 4.3.1 Estimativa de Custos

Começou-se pela estimativa de custos e, para tal, recorreu-se aos métodos de estimativas de custos referidos anteriormente neste documento. Pelo facto desta dissertação não estar a ser desenvolvida no interior de uma empresa e de não haver a possibilidade de recorrer a uma base de dados para a realização das estimativas por analogia e paramétrica, teremos de recorrer ao método de estimativa analítica. Este método é mais pormenorizado, e por não existir uma base de dados como ferramenta de suporte, obriga a uma pesquisa de fornecedores e levantamento dos seus preços, o que torna o processo mais lento.

De acordo com este método de estimativa de custos, realizou-se um levantamento de todos os componentes e materiais necessários para a realização da solução e, em seguida atribuiu-se o seu custo associado, como se indica na tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de custos dos componentes.

Componentes	Quantidade	Fornecedor	Dimensões (mm)	Peso kg/m	Peso kg/unid	Eur/Metro	Eur/KG	Custo (€)
Hastes	2	MasterFerro	1000x50x50 ; t=3	4.25		4.891		9.782
Cavilha	1	MasterFerro	D=20 ; comp=150	2.466			0.87	0.321813
Parafuso	2	Mauser	M6					0.2
Pegas	2	MasterFerro	D=50 ; comp=400 ; t=2	2.481		3.022		2.4176
Chapas	2	MasterFerro	300*100*3		1.185		0.86	2.0382
Casquilos	2	igus						5.36
Tampas Quad.	2	Mocap	50*50					5.358
Tampas Circ.	4	Mocap	D=50					7.1748
Borrachas	2	Borrachas MGO	1000*1000*20					8
							<b>Total</b>	<b>40.65241</b>

É importante considerar também custos associados ao desperdício dos materiais, uma vez que estes serão sujeitos a diversas operações onde se fará remoção de material e, como tal, haverá desperdício associado ao material removido e a outro que não será aproveitado.

- **Hastes**

Associou-se um desperdício de material de aproximadamente 20 % do comprimento final das hastes, o que se traduz num custo associado ao desperdício de 1,96 euros.

- **Cavilha**

Considerou-se um desperdício de 10 %, o que se traduz num custo de 0,03 euros.

- **Pegas**

Uma vez que o corte realizado no tubo é perpendicular à linha de eixo do mesmo, podemos associar uma taxa de desperdício de 10 %, o que se traduz num custo de desperdício de 0,24 euros.

- **Chapas**

Considerou-se um desperdício de 10 %, o que se traduz num custo de 0,13 euros.

- **Borrachas**

Considerando que a nossa empresa é uma metalomecânica, todos os componentes acima referidos são de fácil utilização para outros projetos, no entanto, as borrachas não têm na empresa uma aplicação tão frequente pelo que será considerado que, para efeitos de cálculo dos custos, as partes não utilizadas desta borracha serão consideradas um desperdício. Neste caso o preço apresentado na tabela 7 inclui a totalidade dos custos das borrachas com a medida de compra ao fornecedor.

No final obteve-se um custo associado ao desperdício no valor de 2,36 euros, como ilustrado na tabela 8.

Tabela 8 - Tabela de custos de desperdício.

Componentes	Taxa de Desperdício	Custos (€)	Custo do Desperdício (€)
Hastes	20%	9.782	1.9564
Cavilha	10%	0.321813	0.0321813
Pegas	10%	2.4176	0.24176
Chapas	10%	1.2798	0.12798
Borrachas	0%	8	0
		<b>Total</b>	<b>2.3583213</b>

### 4.3.2 Estimativa dos Tempos de Produção

Seguidamente ao processo de identificação dos componentes e os seus preços passou-se a fase de estimativa dos tempos necessários para realizar as operações que estão envolvidas no processo de produção do dispositivo. Para tal, foi necessário estabelecer certos aspetos enumerados nos seguintes tópicos.

#### 4.3.2.1 Caracterização das Operações de Produção

Antes de realizarmos as estimativas dos tempos de produção foi necessário identificar quais os processos a que cada componente seria sujeito de modo a se obter a configuração final do dispositivo. Como tal, foi criada a tabela 9 que identifica os processos a que cada componente será sujeito de modo a produzir o dispositivo.

Tabela 9 - Tabela de caracterização de Operações.

Componentes	Descrição	Material	Dimensões (mm)	Operações
Hastes	Perfil Tub. Quad.	Aço S235JR	1000x50x50 ; t=3	Corte, furação e Sold.
Cavilha	Varão	Aço S275JR	D=20 ; comp=150	Torneamento e Fresagem
Pegas	Perfil Tub. Cil.	Aço S235JR	D=50 ; comp=400 ; t=2	Corte e Sold.
Chapas		Aço S235JR	300*100*3	Corte, Decapagem e Sold.
Borrachas		Borracha Natural	300*100*2	Corte e Colagem

- **Hastes**

As hastes foram encomendadas com um comprimento superior ao comprimento final, de modo a permitir obter o comprimento desejado após o corte e soldadura, criando um ângulo entre as hastes de 110 graus.

- **Varão**

O varão foi encomendado com uma espessura de 20 mm, de modo a permitir realizar uma operação de torneamento para retirar 12 mm de espessura ao longo de um comprimento de 125 mm e melhorar o acabamento superficial do mesmo.

- **Pegas**

As pegas para os operadores são encomendadas com um comprimento superior ao desejado, pelo que é necessário serem cortadas com a medida pretendida e, posteriormente, soldadas às hastes do dispositivo.

- **Chapas**

As chapas necessitam ser cortadas para obter as medidas necessárias, uma vez que vêm do fornecedor com dimensões superiores ao pretendido, posteriormente, passam por um processo de decapagem para retirar os óxidos acumulados na superfície e para criar rugosidade suficiente para que as borrachas e a cola adiram facilmente, em seguida são soldadas a extremidade da haste.

- **Borrachas**

As borrachas necessitam ser cortadas para obter as medidas necessárias, uma vez que também vêm do fornecedor com dimensões superiores ao pretendido e, posteriormente, são coladas nas chapas.

#### 4.3.2.2 Tempos de Produção

De acordo com a caracterização das operações estabeleceu-se os tempos de produção para cada um dos componentes:

- **Hastes**

Os perfis tubulares quadrados das hastes vêm do fornecedor que com uma medida de 6 metros pelo que é necessário realizar dois cortes perpendiculares ao eixo do tubo e será também necessário realizar outros 4 cortes com ângulos relativamente ao eixo para que se possa criar o cotovelo do ponto C com  $110^\circ$ . A figura 39 ilustra as secções cortadas do tubo.

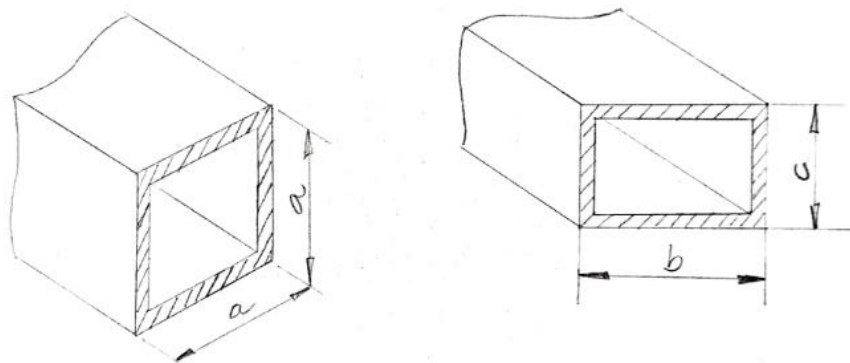


Figura 39 - Representação das secções a serem cortadas do tubo.

O corte será feito no serrote pelo que podemos estimar os tempos:

- Colocação, Aperto, Medida a cortar – 3 minutos;
- Corte da secção de 50x50 e  $t = 3$  – 1 min;
- Retirar – 1 min.

Tendo em conta que serão feitos 4 *setups* temos um tempo de Serrote de 20 minutos.

Posteriormente, será feita a abertura dos furos para a passagem da cavilha, estes furos poderão ser feitos através de um engenho de furar, sendo necessário realizar 4 furos. Será necessário realizar também outros 4 furos para os parafusos da chapa de bloqueio.

Para a execução dos furos podemos estimar os tempos:

- Marcação, Colocação, Aperto – 2 minutos;
- Executar o furo – 1 minuto;
- Retirar – 1 minuto.

Uma vez que serão 8 *setups* temos um total de 32 minutos no engenho de furar.

Por fim é realizada a soldadura do cotovelo, esta é realizada ao longo de toda a secção do tubo pelo que podemos estimar os tempos:

- Colocação e aperto – 2 minutos;
- Soldadura – 3 minutos.

Uma vez que temos duas hastes, obtemos um tempo estimado de 10 minutos de soldadura.

- **Cavilha**

O varão da cavilha vem do fornecedor com um comprimento superior ao necessário pelo que é necessário cortar para se obter o comprimento desejado. Esta operação será realizada no serrote, tendo-se estimado os seguintes tempos:

- Colocação, Aperto, Medida a cortar – 3 minutos;
- Corte da secção de  $D = 20$  mm – 1 min;

Tendo em conta que será feito apenas 1 corte, temos um tempo de Serrote de 4 minutos.

Em seguida, realiza-se uma operação de torneamento para reduzir o  $D = 20$  mm para um  $D = 7$  mm ao longo de um comprimento de 125 mm, para a qual se estimaram os seguintes tempos:

- Colocação, Aperto – 2 minutos;
- Operação de torneamento – 3 minutos.

Tendo em conta que será feito apenas 1 *setup* temos um tempo de Torno de 5 minutos.

Por fim, realiza-se uma operação de fresagem para abrir o rasgo para a placa de bloqueio do movimento da cavilha relativamente à haste ao qual será ligada. Para esta operação estimou-se os seguintes tempos:

- Colocação, Aperto – 2 minutos;
- Fresa – 1 minuto.

Tendo em conta que será feito apenas 1 *setup* temos um tempo de Fresa de 3 minutos.

- **Pegas**

O perfil tubular circular das pegas vem do fornecedor que com uma medida de 6 metros pelo que é necessário realizar dois cortes perpendiculares ao eixo do tubo.

O corte será feito no serrote pelo que podemos estimar os tempos:

- Colocação, Aperto, Medida a cortar – 3 minutos;
- Corte da secção de  $D = 50 \text{ mm}$  e  $t = 2 \text{ mm}$  – 1 min;
- Retirar – 1 min.

Tendo em conta que serão feitos 2 *setups* temos um tempo de Serrote de 10 minutos.

- **Chapas**

As chapas vêm do fornecedor que com uma medida de 2000x1000 mm e uma espessura  $t = 3 \text{ mm}$  pelo que é necessário realizar uma operação de corte por laser para obter as medidas desejadas (300x100 mm). Para esta operação obteve-se os seguintes tempos:

- Colocação, Aperto, Medida a cortar – 5 minutos;
- Executar o corte – 1 min;
- Retirar – 1 min.

Tendo em conta que será feito apenas 1 *setup* temos um tempo de corte por laser de 7 minutos.

Seguidamente, as chapas passam por um processo de decapagem para retirar os óxidos e criar a rugosidade necessária para a colagem das borrachas. Os custos desta operação estão relacionados com a área da superfície que será decapada, tendo-se por isso identificado uma área a decapar de  $A = 0,06 \text{ m}^2$ .

- **Borrachas**

O corte das borrachas é realizado manualmente por serralheiros, assim como a colagem destas às chapas do dispositivo. Para estas operações estimaram-se os seguintes tempos:

- Corte - 8 minutos
- Colagem - 3 minutos

Tendo em conta que estas operações são realizadas para ambas as borrachas, temos um tempo de serralheiro de 22 minutos.

- **Armação da Estrutura**

A armação da estrutura, ou seja, a colocação de cada componente no seu respetivo sítio, é realizada através de “pingos de soldadura”. Esta tarefa é realizada por serralheiros e devido a necessidade de as peças serem colocados nos ângulos corretos, para garantir a simetria do dispositivo, foram estimados os seguintes tempos:

- Medições, Colocação e aperto - 20 minutos;
- Execução dos pingos – 10 minutos;

No final obtém-se assim um tempo de Serralheiro de 30 minutos.

- **Soldaduras**

A ligação de alguns componentes é feita através de ligações soldadas, tendo-se estimado os tempos associados a realização das mesmas.

Para a ligação das chapas às hastes, estimou-se os seguintes tempos:

- Colocação e aperto – 2 minutos;
- Soldadura – 2 minutos.

Tendo em conta que serão feitas 2 soldaduras temos um tempo de Soldadura de 8 minutos.

Para a ligação das pegas às hastes, estimou-se os seguintes tempos:

- Colocação e aperto – 2 minutos;
- Soldadura – 2 minutos.

Tendo em conta que serão feitas 2 soldaduras temos um tempo de Soldadura de 8 minutos.

- **Pintura**

Depois de todos os componentes finalizados é necessário pintá-los. A pintura é realizada através de uma pistola de pressão e, embora seja um processo rápido, exige a preparação da tinta e a lavagem dos utensílios no final, bem como a lavagem do equipamento de modo a eliminar gorduras e resíduos na superfície do dispositivo para permitir que a tinta “agarre”.

No entanto, o custo associado à pintura é realizado com base na área da superfície a pintar.

Neste caso, a área a pintar é de  $A = 0,6 m^2$ .

- **Montagem Final**

Nesta fase, consideram-se as operações de montagem final dos componentes, bem como, ensaios de funcionamento e afinações finais, necessárias para a finalização do produto. Esta tarefa é realizada por serralheiros e estimou-se que levaria cerca de 1 hora para a sua conclusão.

Por último, agruparam-se os tempos estimados para cada operação de cada componente e obtiveram-se os tempos ilustrados na tabela 10 para cada operação.

Tabela 10 - Tabela com os tempos estimados para cada operação em minutos.

Operação / Componentes	Serrote	LASER	Soldadura	Fresagem	Engenho de Furar	Torneamento	Serralheiro
Hastes	20		26		32		
Cavilha	4			3		5	
Pegas	10						
Chapas		7					
Borrachas							22
Armar Estrutura							30
Montagem Final							60
Tempo total (min)	34	7	26	3	32	5	112

### 4.3.2.3 Parâmetros de Custeio

As estimativas de custos relacionados com a produção do dispositivo só estão completas depois de multiplicar os tempos obtidos anteriormente pelos parâmetros de custos relacionados com as características de produção na empresa. A tabela 11 indica os parâmetros de custo associados a cada operação por hora e por metro quadrado, resultantes das médias dos custos praticados por várias empresas de metalomecânica.

Tabela 11 – Parâmetros de Custeio para as operações a realizar.

<b>Operações</b>	<b>Custo/Hora (€)</b>	<b>Custo/m2 (€)</b>
Serrote	12	
Corte LASER	42	
Engenho de Furar	12	
Maquinação	48	
Soldadura	18	
Serralheiro	15	
Decapagem		15
Pintura		15

Os custos apresentados têm em consideração:

- o custo de utilização das máquinas, a sua amortização, o desgaste e manutenção;
- o custo dos materiais consumíveis e da energia elétrica;
- o custo do operador da máquina.

Estes custos são calculados como um valor médio por unidade de tempo (hora ou minuto), que correspondem à média dos custos estimados para as tarefas mais frequentemente realizadas para cada tipo de operação.

Os valores apresentados nesta tabela poderão não ser os mesmos que os valores utilizados noutras empresas. Cada empresa tem as suas máquinas, a sua estrutura, umas fizeram investimentos recentemente, outras já têm as máquinas pagas e, por isso, os valores certamente variarão para cada empresa.

Ainda, referente a tabela 11 e às estimativas de tempos, é importante salientar que não se considerou a tarefa de projeto e a de preparação dos trabalhos, como operações diretamente relacionadas com a produção do dispositivo. Em contrapartida os custos associados a estas duas tarefas foram considerados nos custos indiretos da empresa, sendo introduzidos como custos de Estrutura ou Gerais. A razão por trás desta decisão tem a ver com o facto de que considerar estas duas tarefas nos custos diretos, aumentam bastante os custos dos produtos de baixo custo. Desta forma evitamos a penalização desses produtos.

Em seguida multiplicaram-se os tempos obtidos anteriormente pelos parâmetros da tabela acima e obtiveram-se os custos de produção representados na tabela 12.

Tabela 12 – Tabela de custos de operações.

Operações	Custo/Hora (€)	Tempo (min)	Tempo (Hora)	Custo/m2 (€)	Area (m2)	Custo Final
Serrote	12	34	0.566666667			6.8
Corte LASER	42	7	0.116666667			4.9
Engenho de Furar	12	32	0.533333333			6.4
Maquinação	48	8	0.133333333			6.4
Soldadura	18	26	0.433333333			7.8
Serralheiro	15	112	1.866666667			28
Decapagem				15	0.06	0.9
Pintura				15	0.6	9
					<b>Total</b>	<b>70.2</b>

No final somaram-se todos os custos envolvidos na criação do dispositivo e obtiveram-se os custos diretos:

$$C_{Diretos} = C_{Componentes} + C_{Desperdicio} + C_{Operações} = 40,66 + 2,36 + 70,2 = 113,22 \text{ €}$$

É importante referir, que ainda nestes custos deverão ser inseridos os custos de Estrutura e Gerais da empresa. Para a contabilização destes custos, dever-se-á seguir as indicações no final do tópico 3.4.2 dos parâmetros de custeio. Uma vez que esta dissertação não foi realizada no interior de uma empresa, não foi possível de aferir estes custos. No entanto, para efeitos de exemplificação da metodologia, atribuiu-se uma percentagem de 25% do Custo Final, aos custos indiretos (Estrutura e Gerais) da empresa.

$$C_{Final} = \frac{C_{Diretos}}{0,75} = \frac{113,22}{0,75} = 150,96 \text{ €}$$

A percentagem de 25% que foi atribuída aos custos indiretos é um valor bastante subjetivo, que certamente variará bastante de empresa para empresa, e que é fortemente influenciado pela dimensão das mesmas, sendo que empresas de maiores dimensões terão de um modo geral, custos de estrutura e gerais maiores do que empresas menores.

## 4.4 Elaboração da Proposta de Fornecimento a Ser Apresentada ao Cliente

Por último, realizou-se o documento que servirá para apresentação da Proposta de Fornecimento ao Cliente. Este documento apresenta-se em anexo e funciona como um exemplo do que poderá ser uma proposta a enviar a um cliente. Para a proposta ao cliente fez-se a soma de todos os custos relacionados com o dispositivo e aplicou-se uma margem de 20% relativamente ao valor final de comercialização:

$$\text{Preço de Venda} = \frac{150,96}{0,80} = 188,7 \text{ €}$$

Neste caso o custo final do produto para a nossa empresa seria de 150,96 euros e de 188,7 euros sem taxas para o cliente.

## 5 Conclusão e Desenvolvimentos Futuros

O intuito desta dissertação era o desenvolvimento de uma metodologia de orçamentação aplicável à produção de protótipos, que ilustrasse os passos que deverão ser seguidos pelo projetista e orçamentista até ao momento da entrega ao cliente de uma proposta de fornecimento e que permita realizar este processo de uma forma rápida e com o grau de precisão adequado.

Este objetivo foi cumprido, tendo sido feita uma exemplificação e orientação sistematizada dos procedimentos a executar na fase de orçamentação, foi feita compilação dos principais métodos de orçamentação utilizados atualmente e apresentados os aspetos fundamentais dos mesmos. Foi também realizada uma análise dos vários tipos de custos e procedimentos de custeio envolvidos na orçamentação de um projeto.

Posteriormente, realizou-se a aplicação da metodologia desenvolvida a um caso de estudo, em que se simulou o contacto de um cliente, que apresentava a sua necessidade e se fez uso da metodologia para criar uma solução, ilustrando todos os passos que deverão ser seguidos até ao envio para o cliente da nossa proposta de produção da solução.

Desta forma, esta dissertação oferece um valioso contributo para qualquer empresa ou orçamentista, permitindo sistematizar o processo de orçamentação e no final chegar a um valor de venda coerente com os custos que a empresa terá para criar o produto e com as margens pretendidas.

Devido ao facto de esta dissertação não ser realizada no seio de uma empresa, os valores utilizados no tópico 4.3.2.3, referentes aos parâmetros de custeio, tiveram de ser estimados por forma a construir um exemplo. Esta estimativa foi realizada através de informações obtidas por fornecedores, mas é importante referir que estes valores são bastante subjetivos, uma vez que dependem da situação económica da empresa, nomeadamente do facto de estas poderem ter feito investimentos nas suas máquinas ou na sua estrutura recentemente, o que irá influenciar os valores dos seus parâmetros de custeio.

Os resultados obtidos na aplicação da metodologia, nomeadamente o valor do custo final do dispositivo é um valor coerente com o esperado para um equipamento deste tipo, pelo que se conclui, que o seguimento da metodologia produz resultados válidos e com uma boa probabilidade de os clientes aceitarem as propostas realizadas.

Tendo em mente possíveis trabalhos futuros, propõe-se o aprofundamento da metodologia para áreas de equipamentos específicos, de modo a obterem-se estimativas mais rápidas para esses mesmos equipamentos, e ainda a possibilidade da criação de um *software*, baseado num dos métodos de estimativas de custos abordados nesta dissertação ou na sua

combinação, que sirva de apoio ao orçamentista no cálculo das estimativas e promovendo, desta forma, estimativas mais rápidas e reduzindo custos associados ao tempo despendido nesta tarefa.

Esta dissertação, teve como objetivo oferecer uma base de suporte às empresas na realização das estimativas de custos e na atribuição de um preço de venda dos seus produtos. Desta forma, não foram incluídos os custos associados ao ciclo de vida dos produtos, como os de manutenção e exploração, bem como os de reconversão, reutilização ou reciclagem. Assim, propõe-se que como trabalhos futuros procure-se incluir estes custos nesta metodologia contribuindo para o desenvolvimento da mesma.

# Referências Bibliográficas

[1] ANDRADE, Mariana Cruz de & CUNHA, Maria Marilene da. O que é e como se faz um orçamento de um projeto?. PMKB – Project Management Knowledge Base – Conhecimento e Experiência em Gerenciamento de Projetos. [Consult. 8 Fev. 2019]. Disponível na Internet:<[URL:https://pmkb.com.br/artigos/o-que-e-e-como-se-faz-o-orcamento-de-um-projeto/](https://pmkb.com.br/artigos/o-que-e-e-como-se-faz-o-orcamento-de-um-projeto/)>.

[2] BARROS, Henrique. Documentação de apoio ao curso de Custeio Industrial. 2019. Acessível no centro de formação CENERTEC.

[3] HUEBER, Ch., HOREJSI, K. & SCHLEDJEWSKI, R.– Review of cost estimation: methods and models for aerospace composite manufacturing. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*. 2:1 (2016), p. 1-13. [Consult. 5 Fev. 2019]. Disponível na Internet:<[URL:https://iom3.tandfonline.com/loi/yadm20](https://iom3.tandfonline.com/loi/yadm20)>. ISSN: 2055-0340.

[4] FERREIRA, Cristiano Vasconcellos. Estimativa de custos de produtos na fase de projeto conceitual: Uma metodologia para seleção da estrutura funcional e da alternativa de solução. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. Dissertação de Mestrado.

[5] FRERIKS, H. J. M. *et al.* - 5.3.2 On the Systematic Use of Budget-Based Design. **INCOSE International Symposium**. 16:1 (2006), p. 788–803. [Consult. 20 Jan. 2019]. Disponível na Internet:<[URL:https://www.gaudisite.nl/INCOSE2006\\_FreriksEtAl\\_BudgetBasedDesign.pdf](https://www.gaudisite.nl/INCOSE2006_FreriksEtAl_BudgetBasedDesign.pdf)>. ISSN 2334-5837.

[6] GONÇALVES-COELHO, António Manuel; – “Axiomatic Design and the Concurrent Engineering Paradigm”. *Computing and Solutions in Manufacturing Engineering*, Brasov, Romania, 2004. [Consult. 20 Jun. 2019] Disponível na Internet: <[URL:https://pdfs.semanticscholar.org/5d71/331455c0fd4bae4d8183aa896f4805ffc0ca.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/5d71/331455c0fd4bae4d8183aa896f4805ffc0ca.pdf)>.

[7] JORDAN, H., NEVES, J. C., & RODRIGUES, J. A. O Controlo de Gestão - Ao Serviço da Estratégia e dos Gestores (9ª ed.). Lisboa: Áreas Editora, 2011.

[8] MARTINS, António João Mallen. Tomada de decisão em engenharia com base na teoria axiomática – caso de seleção de banco de ensaios para atuadores hidráulicos. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, 2015. Dissertação de Mestrado.

[9] MONTES, Eduardo. Estimar os Custos. Escritório de Projetos. [Consult. 5 Fev. 2019] Disponível em WWW:<URL:<https://escritoriodeprojetos.com.br/estimar-os-custos>>.

[10] PAHL, G and BEITZ, W. Engineering Design: a Systematic Approach. 1996. Acedido em 15, 05, 2019 em: <URL: [https://mecanica.uniandes.edu.co/images/Intranet/Revision\\_Curricular/16-11-16/MMM\\_pahl1996.pdf](https://mecanica.uniandes.edu.co/images/Intranet/Revision_Curricular/16-11-16/MMM_pahl1996.pdf)>.

[11] PEREIRA, Vitor Manuel Ramalho. Sistema de Apoio à Orçamentação de Ferramentas de Estampagem e ao Projecto da Peça. Caparica : Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, 2012. Dissertação de Mestrado.

[12] PMI – Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK), 5ª ed. Newtown Square: Project Management Institute, Inc, 2013. [Consult. 8 Fev. 2019]. Disponível na Internet: <URL: [http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/PMBOKGuide\\_5th\\_Ed.pdf](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf)>. ISBN 978-1-935589-67-9.

[13] SANTOS, António Gabriel dos. O Projecto de Produtos Únicos Desenvolvidos em Empresas de Pequena Dimensão. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, 2010. Tese de Doutoramento.



## 5.1 Anexo 1

Neste anexo apresenta-se uma tabela retirada da empresa Sulcromo que apresenta os coeficientes de atrito entre diversas superfícies, tendo sido utilizado o valor do coeficiente de atrito entre a borracha e o cimento, no cálculo dos esforços aplicados ao dispositivo.

Tabela 13 - Tabela de coeficientes de atrito da empresa Sulcromo.



**Tabela de comparação de coeficiente de atrito**

Material	Material	Estático s/ lubrificação	Deslizamento s/ lubrificação	Estático c/ lubrificação	Deslizamento c/ lubrificação
Aço	Bronze de alumínio	0,45	-	-	-
Aço	Grafite	0,1	-	0,1	-
Aço	Latão	0,35	-	0,19	-
Aço	Liga de cobre e chumbo	0,22	-	0,16	0,15
Aço médio C	Aço médio C	0,74	0,57	-	-
Aço médio C	Chumbo	0,95	0,95	0,5	0,3
Aço médio C	Ferro fundido	-	0,23	0,18	0,13
Alumínio	Alumínio	1,9	1,4	-	-
Alumínio	Aço médio C	0,61	0,47	-	-
Borracha	Asfalto seco	-	0,5-0,8	-	-
Borracha	Asfalto úmido	-	0,25-0,75	-	-
Borracha	Concreto seco	1,0	0,6-0,85	-	-
Borracha	Concreto úmido	-	0,45-0,75	-	-
Bronze	Aço	-	-	0,16	-
Bronze	Ferro fundido	-	0,22	-	-
Bronze fosforoso	Aço	0,35	-	-	-
<b>Carboneto de tungstênio</b>	<b>Aço</b>	<b>0,4-0,6</b>	-	<b>0,1-0,2</b>	-
Carboneto de tungstênio	Carboneto de tungstênio	0,2-0,25	-	0,12	-
Carboneto de tungstênio	Cobre	0,35	-	-	-
Chumbo	Ferro fundido	-	0,43	-	-
Cobre	Aço médio C	0,53	0,36	-	0,18
Cobre	Cobre	1,0	-	0,08	-
Cobre	Ferro fundido	1,05	0,29	-	-
Couro	Madeira	0,3-0,4	-	-	-
Couro	Metal	0,6	-	0,2	-
Couro	Metal (úmido)	0,4	-	-	-
Cromo	Cromo	0,41	-	0,34	-
Estanho	Ferro fundido	-	0,32	-	-

## 5.2 Anexo 2

Neste anexo está presente o código *APDL*, que deverá ser introduzido no programa computacional *ANSYS* e que foi desenvolvido para verificação dos cálculos efetuados para o dimensionamento do perfil das hastes do dispositivo. Este código oferece-nos de entre vários resultados, o valor da deformação aplicada no ponto B, que foi utilizado para o dimensionamento das hastes.

```
!  
/PREP7  
!*  
ET,1,BEAM3                ! Definição do tipo de elemento: Elemento Viga  
!  
MPTEMP,,,,,,,,  
MPTEMP,1,0  
MPDATA,EX,1,,200e9       ! Módulo de Young do Material  
MPDATA,PRXY,1,,0.3       ! Definição do coeficiente de Poisson  
!  
R,1,7.36,1.95e-7,0.05    ! Definição do Momento de Inércia do elemento.  
!  
N,1,0,0  
N,2,0,0.2  
N,3,0.75175,0.47362  
N,4,0.21143,0.27695  
!  
EN,1,1,2  
EN,2,2,4  
EN,3,4,3  
!  
D,1,UX                    ! Constrangimento do deslocamento horizontal no nó 1.  
D,1,UY                    ! Constrangimento do deslocamento vertical no nó 1.  
D,4,UX                    ! Constrangimento do deslocamento horizontal no nó 4.  
!  
F,3,FY,500               !Aplicação da força externa na direção vertical no nó 3.  
FINISH  
/SOL
```

```
SOLVE
FINISH
/POST1
PLDISP,1
```

! Mostrar a deformada e a não deformada da estrutura.

Ao executar o código, o programa, apresenta-nos a deformada e a não deformada da estrutura, sendo possível observar o deslocamento do ponto de aplicação da força, como se mostra na figura 40.



Figura 40 - Representação da deformada e da não deformada da estrutura, resultante da inserção do código APDL no programa computacional ANSYS.

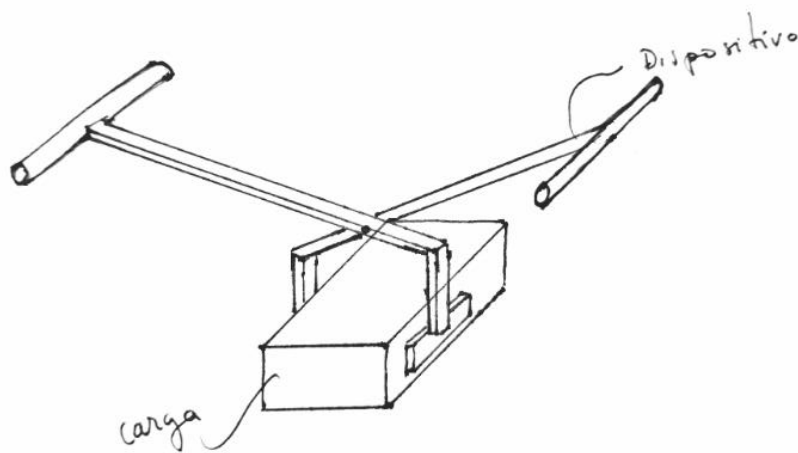
### 5.3 Anexo 3

Neste anexo apresenta-se um exemplo de uma proposta para dar ao cliente e que poderá funcionar como *template* para futuras propostas.



**FLÁVIO RIBEIRO ENGINEERING**

## Dispositivo Manual de Elevação de Blocos de Cimento



(Nome da Empresa do Cliente)

# Índice

<b>Índice</b> .....	<b>85</b>
<b>0 – Historial</b> .....	<b>86</b>
<b>1 – Introdução</b> .....	<b>86</b>
<i>Objetivo</i> .....	86
<b>2 – Âmbito do projeto</b> .....	<b>87</b>
2.1 – Descrição da Necessidade do Cliente .....	87
2.2 – Descrição da Solução Proposta .....	88
<b>3 – Abordagem de Projeto</b> .....	<b>89</b>
<b>4 – Calendário</b> .....	<b>91</b>
<b>5 – Preços</b> .....	<b>92</b>
<b>6 – Termos de Pagamento</b> .....	<b>92</b>
<b>7 – Exclusões</b> .....	<b>93</b>
<b>8 – Contactos</b> .....	<b>94</b>

## 0 – Historial

<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
07-06-2019	1º Contacto com o cliente
15-06-2019	2º Contacto com o cliente
20-06-2019	Apresentação da proposta ao cliente

## 1 – Introdução

### Objetivo

O propósito desta oferta é entregar o orçamento de um dispositivo para elevação de blocos de cimento, de atuação manual.

## 2 – Âmbito do projeto

O âmbito do projeto é:

- 1x dispositivo manual para elevação de blocos de cimento, atuado manualmente

### 2.1 – Descrição da Necessidade do Cliente

Na reunião com o cliente, este identificou que a sua necessidade era a elevação de cargas pesadas a partir do chão, por um meio manual.

De modo a clarificar esta necessidade e a formular o problema, foram realizadas algumas questões ao cliente, tais como:

- Que tipo de cargas é que o cliente pretendia elevar?
- Quais as características das cargas? Ou seja, quais as suas geometrias, dimensões e pesos?
- Qual a altura que pretendia que as cargas fossem elevadas?

Através da realização destas perguntas, foi possível identificar que o cliente pretendia ter um equipamento que possibilitasse a elevação de blocos de cimento, a partir do solo, por meio manual. O cliente explicou que os blocos de cimento apresentavam uma geometria paralelepípedica com dimensões variáveis entre 250×800×120 mm e 400×800×120 mm com os pesos variando entre 60kg e 100kg, respetivamente.

Ficou também clarificado que a altura da elevação dos blocos era apenas a necessária para que seja possível deslocá-los sem que estejam em contacto com o solo.

A figura 1 representa um esboço do dispositivo.

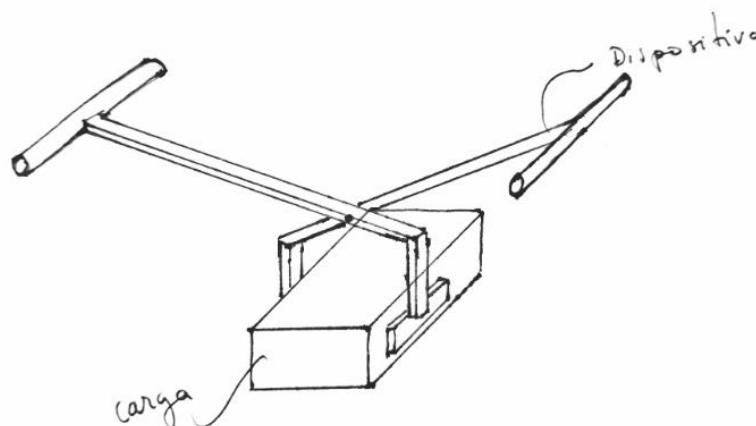


Figura 1 – Ilustração da estrutura do dispositivo.

## 2.2 – Descrição da Solução Proposta

A FR idealizou e propõe um dispositivo para elevação de blocos de cimento manualmente, através da força realizada por dois operadores. O dispositivo funciona como uma tesoura em que a força realizada pelos operadores provoca um aperto do bloco que será levantado do chão através do atrito criado entre este e as borrachas do dispositivo.

O dispositivo é composto por:

- 2x hastes
- 2x pegas
- 2x chapas
- 2x borrachas
- 1x cavilha
- 2x casquilhos
- 1x bloqueador do movimento
- 2x parafusos M6

A figura 1 representa um esboço do dispositivo.

O dispositivo tem a capacidade de se ajustar aos diferentes tamanhos dos blocos, através da mudança do ponto da articulação.

### **ASPETOS INCLUIDOS NESTA OFERTA:**

# 1x dispositivo:

- Projeto Mecânico;
- Produção dos componentes;
- Montagem dos componentes;

### **ASPETOS EXCLUIDOS NESTA OFERTA:**

- Transporte para as instalações do cliente.

## 3 – Abordagem de Projeto

Os aspetos seguintes são considerados nas ofertas da FR Engineering:

- As comunicações relativas à gestão do projeto são realizadas em Português.
- A linguagem Contratual é realizada em Português/Inglês.
- Toda a documentação final será feita na linguagem do cliente e/ou em Inglês.
  - a. Só serão entregues cópias digitais ao cliente;
  - b. A documentação final será entregue entre 4 a 6 semanas após a aceitação final da proposta;
  - c. Durante a execução do projeto a documentação disponibilizada ao cliente não deverá ser considerada como final;
  - d. Somente após a aceitação final é que a FR Engineering será capaz de finalizar e concluir a documentação final do projeto.

### **Fases durante o Projeto**

- Pesquisa
  - a. Recolha de informação relativa à solução pretendida, estabelecimento de requisitos e especificações e aceitação de constrangimentos e condições.
- Projeto
  - a. mecânico
- Revisões
  - a. Revisões junto do cliente relativas ao *status* do projeto.
- Aprovação da Solução
  - a. Aceitação da solução proposta por parte do cliente.
- Fornecimento e compras
  - a. A garantia dos equipamentos comprados a fornecedores inicia-se a partir da data em que estes chegam à FR Engineering e perduram durante o tempo estabelecido pelo fornecedor.
- Manufatura e Instalação
  - a. Fabrico e Montagem.

➤ Testes

- a. Medição e verificação do comportamento dos componentes e do dispositivo em funcionamento.

➤ Aceitação

- a. Aceitação do Equipamento e da Solução.
- b. Obrigatório a Assinatura dos dois Gestores de Projeto em como estão de acordo com os termos presentes no acordo.
  - i. Se não acordado ou assinado o equipamento não sairá das instalações da FR Engineering.
- c. Após a aceitação e pagamento na totalidade, a posse do equipamento será transferida para o cliente.

➤ Garantia

A garantia os componentes é pelo período estabelecido pelos fornecedores desses mesmos equipamentos, e as datas de início da garantia iniciam-se no momento em que os equipamentos são recebidos na FR Engineering e não após a aprovação da solução pelo cliente.

A FR Engineering oferece uma garantia contra defeitos de fabrico por um período de 24 meses, iniciado na data de entrega dos equipamentos.

A FR Engineering só avança de fase quando a fase anterior estiver completa e as datas dos pagamentos forem cumpridas.

- i. A FR Engineering reserva o direito de parar ou terminar o projeto no caso de o cliente não cumprir os termos acordados no acordo.

## 4 – Calendário

FR calendário Proposto:

	Semanas				
Tarefas	1	2	3	4	5
Dispositivo	→				
Projeto	█				
Manufatura		█	█		
Montagem				█	
Entrega					█
Documentação					█

- A FR ENGINEERING não poderá realizar qualquer trabalho antes de receber o comprovativo de compra para a totalidade do valor apresentado.
- Este planeamento é válido a partir do momento de confirmação do comprovativo de compra.

## 5 – Preços

O preço total apresentado pela FR ENGINEERING é:

➔ **188,70 euros**

Considerações realizadas no estabelecimento do preço:

- IVA não está incluída;
- O preço total e de cada componente é válido apenas para a totalidade do valor da oferta (Se aplicável).
- Os preços e prazos apresentados são válidos num prazo de 30 dias após a entrega da oferta. Passando este prazo os valores terão de ser revistos.
- No caso de haver um atraso no planeamento por razões que não digam respeito à FR Engineering, a FR Engineering reserva o direito de aplicar custos extra ao valor apresentado.
- No caso do pagamento não ser realizado nos prazos acordados por razões pelas quais a FR Engineering não é responsável, a FR Engineering reserva o direito de aplicar juros ao valor apresentado. Esta situação poderá interferir com o calendário.

## 6 – Termos de Pagamento

Quantos aos termos de pagamento, a proposta da FR Engineering é a seguinte:

1. Revisão da solução: 50% líquido, pagamento imediato;
2. Entrega dos equipamentos: 50% líquido, 30 dias.

Não estão incluídos quaisquer custos associados a garantias bancárias ou seguros.

- Caso seja pedido, a FR ENGINEERING poderá fornecê-los, no entanto, estes custos serão passados para o cliente como um extra.

## 7 – Exclusões

- Quaisquer equipamentos ou processos que não estejam incluídos nesta oferta terão de ser considerados um extra.
- Transporte para as instalações do cliente;
- Testes nas instalações do cliente.
- Modificações do Produto
  - a. A fase de *design* é considerada como encerrada a partir do momento em que a proposta é entregue ao cliente.
  - b. Qualquer modificação relativa ao produto que possa ocorrer durante a fase de projeto ou que seja pedida pelo cliente e que provoque a alteração de algum componente, será tratada como um extra ao projeto e poderá causar impacto no calendário do planeamento.
- Custos associados ao mau uso do produto devido à inexperiência dos trabalhadores do cliente.

## 8 – Contactos

Email: [fa.ribeiro@campus.fct.unl.pt](mailto:fa.ribeiro@campus.fct.unl.pt)



**FLÁVIO RIBEIRO ENGINEERING**