



Otimização do Processo de Moldação de Cortiça por Compressão

NUNO MIGUEL BARBOSA DE CARVALHO

outubro de 2021

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA POR COMPRESSÃO

Nuno Miguel Barbosa de Carvalho

1150485

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA POR COMPRESSÃO

Nuno Miguel Barbosa de Carvalho

1150485

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



“Tu tornas-te eternamente responsável por aquilo que cativas.”

- Antoine de Saint-Exupéry

JÚRI

Presidente

Mestre José Carlos Vieira de Sá

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador, Departamento em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Mestre Andresa Baptista da Silva

Assistente Convidada, Departamento em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Francisco José Malheiro Queirós de Melo

Professor Associado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro Francisco Silva e à Mestre Andresa Silva, por toda a ajuda, incentivo e entrega demonstrados ao longo do desenvolvimento da presente dissertação.

À empresa, pela oportunidade de realizar a dissertação, em especial ao Departamento de Inovação, pelo fantástico acolhimento e contributo para a concretização deste trabalho.

Ao Álvaro, responsável, na empresa, pela Fábrica Piloto e meu orientador interno, por toda a ajuda e partilha de conhecimentos práticos ao longo deste percurso.

À minha namorada e aos meus amigos, que me incentivaram nesta etapa tão importante.

Aos meus pais, por todo o apoio desde o início até ao fim desta etapa, que só se tornou possível graças a eles.

A todos os que contribuíram para este trabalho, um honesto e humilde obrigado.

PALAVRAS-CHAVE

Moldação por Compressão, Cortiça, Aglomerados, Automatização, Processo Produtivo, Materiais Compósitos, Inovação

RESUMO

Intitulada *Otimização do processo de moldação de cortiça por compressão*, esta dissertação visa estudar o processo de moldação da cortiça, através de uma metodologia de realização de produções piloto, ensaios e validação do conceito, avaliando a competitividade e viabilidade face ao mercado.

Com o intuito de contextualizar o objeto de estudo deste trabalho, começa-se por traçar uma panorâmica da indústria da cortiça, ao longo dos tempos, considerada uma das mais sustentáveis do mundo e com aplicabilidade em várias áreas, como a aeroespacial, transportes, construção, mobiliário e as mais diversas peças de *design*, onde o limite é a imaginação humana.

Por esta razão, as empresas corticeiras têm realizado investimentos na área da tecnologia, com a perspetiva de desenvolverem novos produtos, cuja base é a cortiça, permitindo desta forma a abertura para novos mercados mais competitivos. A simbiose entre a tecnologia e o material natural tornou-se assim o principal fator para a sustentabilidade, muito importante nos dias de hoje, permitindo o desenvolvimento de projetos focados na investigação e na inovação, de onde resultam produtos e soluções com características incomparáveis, através da reutilização ou reinvenção de materiais, originando um produto final com uma reduzida pegada de carbono.

É neste espírito de ambição de inovação tecnológica, que surge este trabalho desenvolvido num contexto de estágio, no Departamento de Inovação e Desenvolvimento de uma empresa corticeira. Numa fase inicial, começou-se por fazer o estudo do processo de moldação de cortiça por compressão, nomeadamente, na vertente de automatização e simplificação do processo, através de uma metodologia de realização de produções piloto, ensaios e validação do conceito, avaliando a competitividade e viabilidade no mercado. Após consciencialização do processo de fabrico e dos seus constituintes, como é o caso dos moldes ou outros equipamentos intermédios para mistura da matéria-prima, foram trabalhadas as ideias e propostas de automatização na vertente de processo. Foi também estudado o comportamento do material, no sentido de tentar prever a densidade de diferentes zonas das peças moldadas, após a prensagem na perspetiva da engenharia do produto, através de uma análise do funcionamento dos moldes.

Finalmente, através destes estudos foi possível propor e idealizar novos mecanismos e ferramentas no âmbito da automatização do processo como, otimizar a transferência de calor durante o aquecimento do material na prensagem, propor uma alternativa de custeio para projetos de produtos moldados e, ainda, propor a aquisição de novas tecnologias para um melhor acabamento superficial das peças extraídas do processo de moldação.

KEYWORDS

Compression Molding, Cork, Cork Agglomerate, Automation, Production Process, Composite Materials, Innovation

ABSTRACT

Entitled Optimization of the cork compression molding process, this dissertation aims to study the cork molding process, through a methodology of conducting pilot productions, tests, and validation of the concept, assessing the competitiveness and viability of the market.

To contextualize the object of study of this work, we begin by outlining the cork industry over time, considered one of the most sustainable in the world and with applicability in various areas, such as aerospace, transport, construction, furniture, and the most diverse pieces of design where the limit is human imagination.

For this reason, cork companies have made investments in technology with a view to developing new products, the basis of which is cork, thus opening new and more competitive markets. The symbiosis between technology and the natural material has thus become the main factor for sustainability, very important today, enabling the development of projects focused on research and innovation, resulting in products and solutions with unparalleled characteristics, through the reuse or reinvention of materials, giving rise to a final product with a reduced carbon footprint.

It is in this spirit of ambition for technological innovation that this work, carried out as a trainee in the Innovation and Development Department of a cork company, emerged. The initial phase began with a study of the process of molding cork by compression, namely about the automation and simplification of the process, through a methodology of carrying out pilot productions, tests, and validation of the concept, assessing competitiveness and viability in the market. After awareness of the manufacturing process and its constituents, such as the molds or other intermediate equipment for mixing the raw material, the ideas, and proposals for automation in the process area were worked on. The material behavior was also studied, to predict the density of different areas of the molded parts, after pressing, from the product engineering perspective, through an analysis of the molds functioning.

Finally, through these studies it was possible to propose and idealize new mechanisms and tools in the process automation scope, such as, optimize the heat transfer during the heating of the material during the pressing, propose a costing alternative for molded products projects and, also, propose the acquisition of new technologies for a better surface finishing of the parts extracted from the molding process.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AICEP	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
APCOR	Associação Portuguesa da Cortiça
CEFAMOL	Associação Nacional da Indústria de Moldes
GMP	<i>Glass Molding Process</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MP	Matéria-prima
PTI	Preço de Transação Interna
RHCM	<i>Rapid Heat Cycle Molding</i>
SWOT	Análise SWOT (<i>Strengths, Weaknesses, opportunities, Threats</i>)

Lista de Unidades

kg	Quilograma
kg/m ³	Massa Volúmica
kW	Quilowatt
m	Metro
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
s	Segundos
W	Watt
μm	Micrómetro

Lista de Símbolos

€	Euro
%	Porcentagem
E_b	Poder Emissivo de um Corpo Negro
Gr_L	Número de Grashof
h_{conv}	Coefficiente de Convecção
L	Comprimento
m	Massa
\overline{Nu}	Número de Nusselt Médio
Pr	Número de Prandtl
$R_{condução}$	Resistência Térmica de Condução
Ra_L	Número de Rayley
T	Temperatura
ν	Viscosidade Cinemática do Fluido
σ	Constante de <i>Stefan-Boltzman</i>
ρ	Coefficiente de Reflexão
α	Coefficiente de Absorção
τ	Coefficiente de Transmissão

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Amadia	Cortiça que provém da extração da terceira camada, ou das seguintes, de um mesmo sobreiro.
Barriga	Superfície interna da cortiça que está em contacto com o entrecasco.
Cura	Etapa de estabilização após o processo de moldação da cortiça, realizada habitualmente em fornos de aquecimento.
Desbóia	Termo que se refere ao primeiro descortiçamento de onde resulta uma cortiça de estrutura muito irregular.
Descalçar	Etapa onde, após a extração das pranchas, mantém-se aderentes alguns fragmentos de cortiça junto à base do tronco, para retirar os possíveis parasitas que existam nos calços do sobreiro.
Entrecasco	Parte interna situada entre a cortiça e a madeira do sobreiro, constituída por células vivas.
Granulado	Produto natural obtido através da moagem dos desperdícios de cortiça da indústria de rolhas naturais.
Grumos	Coágulo ou bocado de resina formado a partir de uma mistura mal realizada.
Prancha	Bocados brutos de cortiça obtidos do descortiçamento, que são posteriormente empilhados na floresta ou estaleiros durante o período de repouso.
Punção	Instrumento ou peça em aço que serve para gravar ou perfurar, através de movimento e força.
Rubbercork	Aglomerado composto por cortiça e borracha.
Secundeira	Nome dado à cortiça proveniente da segunda extração do sobreiro.
Traçar	Diz respeito ao corte horizontal que delimita o tamanho da prancha de cortiça a sair, e aquela que fica na árvore.
Virgem	Nome dado à cortiça proveniente da primeira extração do sobreiro.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - METODOLOGIA <i>ACTION RESEARCH</i>	6
FIGURA 2 – CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO	12
FIGURA 3 – DESCORTIÇAMENTO	14
FIGURA 4 – PERÍODO DE REPOUSO DAS PRANCHAS	15
FIGURA 5 - PRENSA PARA GRANULADO DE CORTIÇA	18
FIGURA 6 - MOLDAÇÃO DE ROLHAS EM CONTÍNUO	19
FIGURA 7 - MOLDAÇÃO DE BLOCOS EM CONTÍNUO	20
FIGURA 8 - FOLHAS DE CORTIÇA LAMINADAS	21
FIGURA 9 - ARMAZENAGEM DE BLOCOS MOLDADOS	21
FIGURA 10 - PRINCIPAIS INDÚSTRIAS CLIENTES (AICEP/CEFAMOL)	23
FIGURA 11 - PRINCIPAIS MERCADOS DA INDÚSTRIA DOS MOLDES (AICEP/CEFAMOL)	23
FIGURA 12 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO DE VIDRO	25
FIGURA 13 - ELEMENTOS DO PROCESSO DE INJEÇÃO	26
FIGURA 14 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DE PEÇA CERÂMICA	27
FIGURA 15 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA	37
FIGURA 16 - PRENSA HIDRÁULICA	38
FIGURA 17 - DOCUMENTO PARA FORMULAÇÕES	39
FIGURA 18 – MISTURADOR VERTICAL DE MATÉRIA-PRIMA	44
FIGURA 19 - CAIXA DE TRANSPORTE DA MISTURA	45
FIGURA 20 – PAINEL ELETRÓNICO DA PRENSA	46
FIGURA 21 - MOLDE ABASTECIDO COM MISTURA	46
FIGURA 22 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DOS MOLDES	47
FIGURA 23 - REBARBA EM PEÇAS DE VÁRIAS GEOMETRIAS	49
FIGURA 24 - REBARBA EM PEÇA DE GEOMETRIA CIRCULAR	49
FIGURA 25 - PROTÓTIPO N° 1	50
FIGURA 26 - PROTÓTIPO N° 2	50
FIGURA 27 - PROTÓTIPO N° 3	50
FIGURA 28 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO AUTÓNOMO	54
FIGURA 29 - PRENSA COM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	54

FIGURA 30 - DESENHO TÉCNICO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	55
FIGURA 31 - MOLDE DE ENSAIO	57
FIGURA 32 - SISTEMA DE EXTRAÇÃO AUTÓNOMO	57
FIGURA 33 - MOLDE DE GRANDES DIMENSÕES DE PEÇAS CÚBICAS	58
FIGURA 34 - BOMBA DE VÁCUO PIAB	59
FIGURA 35 - VENTOSA F15 SILICONE FCM	59
FIGURA 36 - FIXAÇÃO DE MOLDES DE GRANDES DIMENSÕES	60
FIGURA 37 - SISTEMA DE AQUECIMENTO DA PRENSA (1 - SONDA; 2 – RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS)	61
FIGURA 38 - CÁLCULO DO FATOR DE FORMA ENTRE SUPERFÍCIES ELEMENTARES	68
FIGURA 39 - CÁLCULO DO FATOR DE FORMA ENTRE SUPERFÍCIES FINITAS	68
FIGURA 40 - ORIENTAÇÃO DE SUPERFÍCIES PARALELAS	69
FIGURA 41 - ORIENTAÇÃO DE SUPERFÍCIES PERPENDICULARES	69
FIGURA 42 - DIAGRAMA DE AQUECIMENTO	72
FIGURA 43 - DIVISÃO DO CONJUNTO PRATO + MOLDE	73
FIGURA 44 – SENSOR DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	76
FIGURA 45 – SOLUÇÃO PROPOSTA	77
FIGURA 46 - EQUIPAMENTO DE ABRASÃO	79
FIGURA 47 – EQUIPAMENTO DE COMPRESSÃO	81
FIGURA 48 - COMPRESSÃO DA CORTIÇA	81
FIGURA 49 - ENSAIO DE COMPRESSÃO DO GRANULADO	83
FIGURA 50 - PEÇA MOLDADA EM ESTUDO	84
FIGURA 51 - ESQUEMA CILINDRO HIDRÁULICO	88
FIGURA 52 - FORÇA A DESENVOLVER PELA CÂMARA SUPERIOR	90
FIGURA 53 - CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE HIDRÁULICA	90
FIGURA 54 - UNIDADE HIDRÁULICA DA PRENSA	91
FIGURA 55 - MOLDE PARA ENSAIO DA GEOMETRIA E CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	91
FIGURA 56 - SISTEMA HIDRÁULICO DE MOLDAÇÃO EM CONTÍNUO	92
FIGURA 57 - INFORMAÇÃO CONSTITUINTE DE UM CUSTEIO	93
FIGURA 58 – FICHEIRO INICIAL	94
FIGURA 59 - FICHEIRO MELHORADO - MATERIAL CONSUMIDO	94
FIGURA 60 - FICHEIRO MELHORADO - OPERAÇÕES, RECURSOS HUMANOS E INVESTIMENTO	95
FIGURA 61 - CONSULTA GRÁFICA DO CUSTEIO	95

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – METODOLOGIA DO TRABALHO DESENVOLVIDO	5
TABELA 2 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
TABELA 3 - PROCESSO DE DESCORTIÇAMENTO	14
TABELA 4 - MOLDAÇÃO CONTÍNUA VS. DESCONTÍNUA	22
TABELA 5 - DIFERENTES MATERIAIS E PROCESSO DE FABRICO	24
TABELA 6 - PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS	28
TABELA 7 - ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA E OUTROS MATERIAIS NATURAIS	29
TABELA 8 - IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS	40
TABELA 9 - ANÁLISE DE VIABILIDADE	52
TABELA 10 - SOLUÇÕES PARA EXTRAÇÃO DAS PEÇAS	56
TABELA 11 - CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DAS VENTOSAS	57
TABELA 12 - RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DAS VENTOSAS	59
TABELA 13 - DIMENSÕES DO MOLDE E PRATO DE FIXAÇÃO	61
TABELA 14 - PROPRIEDADES DO AR	61
TABELA 15 - VALORES DE C E M PARA CÁLCULO DO NÚMERO DE NUSSELT PARA CONVECÇÃO NATURAL	65
TABELA 16 - INFORMAÇÕES SOBRE O MOLDE E PRATO DE AQUECIMENTO	71
TABELA 17 - PERDAS POR CONDUÇÃO NO PRATO DE FIXAÇÃO	72
TABELA 18 - PERDAS POR CONVECÇÃO	73
TABELA 19 – PERDAS POR RADIAÇÃO	74
TABELA 20 - PROBLEMAS, CAUSAS E PROPOSTAS	78
TABELA 21 - GEOMETRIA INICIAL E MELHORADA	78
TABELA 22 - GEOMETRIA ANTES E DEPOIS DA ABRASÃO	79
TABELA 23 - CÁLCULO DA ALTURA FINAL	82
TABELA 24 - CÁLCULO DO DESLOCAMENTO DO PUNÇÃO	82
TABELA 25 - FORÇA E PRESSÃO DE COMPRESSÃO DO GRANULADO	83
TABELA 26 - CÁLCULO DA FORÇA DE PRENSAGEM	84
TABELA 27 - CÁLCULO DO CAUDAL E POTÊNCIA DE TRABALHO	85
TABELA 28 - CÁLCULO DA POTÊNCIA DE ACIONAMENTO	86

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA POR COMPRESSÃO

TABELA 29 - CÁLCULO DO DIÂMETRO DA HASTE DO CILINDRO	87
TABELA 30 - CÁLCULO DO VALOR DE CONTRAPRESSÃO	88
TABELA 31 - CÁLCULO DA FORÇA RELATIVA À PRESSÃO DE ENTRADA	89
TABELA 32 - ANÁLISE CONCLUSIVA DOS OBJETIVOS INICIAIS	100

ÍNDICE

RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	XIII
GLOSSÁRIO DE TERMOS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIX
1 INTRODUÇÃO.....	3
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 METODOLOGIA	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 INTRODUÇÃO À CORTIÇA.....	11
2.1.1 PRINCIPAIS PROPRIEDADES.....	11
2.1.2 TIPOS DE GRANULADO DE CORTIÇA.....	13
2.1.3 ORIGENS	17
2.2 TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE GRANULADOS	17
2.2.1 FUNCIONAMENTO DAS PRENSAS DE GRANULADOS.....	18
2.3 MOLDES.....	22
2.3.1 ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DOS MOLDES.....	24

2.3.1.1	MOLDES PARA SETOR VIDREIRO	24
2.3.1.2	MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICO	25
2.3.1.3	MOLDES PARA MATERIAIS CERÂMICOS	26
2.4	ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA E OUTROS MATERIAIS NATURAIS	29
3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DOS PROCESSOS E DOS PROBLEMAS	37
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	37
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS	38
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	39
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	43
4.1	TEMPESTADE DE IDEIAS (<i>BRAINSTORMING</i>)	43
4.1.1	PREPARAÇÃO E MISTURA DO MATERIAL	44
4.1.2	AUTOMATIZAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO E EXTRAÇÃO	45
4.1.3	OTIMIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR	47
4.1.4	ELIMINAÇÃO DA REBARBA EXCEDENTE	48
4.1.5	PREVISÃO DA DENSIDADE FINAL NAS PEÇAS MOLDADAS	49
4.1.6	FERRAMENTA DE CUSTEIO PARA O PROCESSO DE MOLDAÇÃO	51
4.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE	52
4.3	MELHORIAS E PROPOSTAS IMPLEMENTADAS	53
4.3.1	PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO	53
4.3.2	OTIMIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR	60
4.3.2.1	CÁLCULO TEÓRICO DE PERDAS	62
4.3.2.2	RESULTADOS TEÓRICOS	71
4.3.2.3	SOLUÇÕES PROPOSTAS	76
4.3.3	DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA ACABAMENTO DE PEÇAS MOLDADAS	77
4.3.4	DIMENSIONAMENTO DE NOVA PRENSA HIDRÁULICA PARA MOLDADOS	80
4.3.4.1	CÁLCULOS EFETUADOS	80
4.3.4.2	PROPOSTA DE SOLUÇÃO	91
4.3.5	criação de ferramenta de previsão de custeio	93
4.3.5.1	VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA	96

5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	99
5.1	CONCLUSÕES FACE AOS OBJETIVOS	99
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	102
6	REFERÊNCIAS	105
7	ANEXOS.....	112
7.1	ANEXO A – SUPERFÍCIES PARA CÁLCULO DO FATOR DE FORMA.....	112
7.2	ANEXO B – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE FECHADO	113
7.3	ANEXO C – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE ABERTO PARTE INFERIOR	114
7.4	ANEXO D – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE ABERTO PARTE SUPERIOR	115
7.5	ANEXO E – FERRAMENTA EXCEL AUTOMÁTICA PARA CÁLCULO DO FATOR DE FORMA PARA O FENÓMENO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	116
7.6	ANEXO F – TABELA EXCEL EXTRAÍDA DO SOFTWARE DO EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE COMPRESSIBILIDADE DA CORTIÇA	117
7.7	ANEXO G – GRÁFICO FORÇA VS. DESLOCAMENTO	118
7.8	ANEXO H – GRÁFICO PRESSÃO VS. DESLOCAMENTO	119
7.9	ANEXO I – VISÃO GERAL DA FERRAMENTA DE CUSTEIO PARA PEÇAS MOLDADAS	120
7.10	ANEXO J – TAMANHO CONSTRUTIVO PARA BOMBA HIDRÁULICA REXROTH – BOSCH GROUP	121
7.11	ANEXO K – CURVAS CARACTERÍSTICAS CAUDAL BOMBA HIDRÁULICA – REXROTH – BOSCH GROUP.....	122
7.12	ANEXO L – CURVAS CARACTERÍSTICAS RENDIMENTO BOMBA HIDRÁULICA – REXROTH – BOSCH GROUP	123
7.13	ANEXO M – CARGA DE EULER PARA DIMENSIONAMENTO DA HASTE	124
7.14	ANEXO N – DIMENSÕES DA HASTE CONSOANTE DIÂMETRO DO CILINDRO	125
7.15	ANEXO O – CAPACIDADE DE SUÇÃO EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA VENTOSA.....	126
7.16	ANEXO P – DESENHOS TÉCNICOS DAS PEÇAS MOLDADAS.....	127

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Servem os próximos subcapítulos para apresentar em que contexto foi desenvolvido este trabalho, os objetivos face ao mesmo, a metodologia adotada e, por fim, a estrutura da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao longo dos anos, a indústria corticeira tem vindo continuamente a ser caracterizada como uma das indústrias mais sustentáveis do mundo, através da exploração de áreas estratégicas onde a cortiça e as suas características singulares são altamente valorizadas pelos clientes e consumidores, apostando em novos produtos, serviços, processos e mercados competitivos.

As áreas que dominam os materiais para controlo de vibrações e mobiliário, as indústrias aeroespacial e de transportes, ou ainda a área da construção, são alguns dos exemplos possíveis de aplicação de cortiça, matérias-primas recicladas ou ainda desperdícios de outras indústrias. Isto demonstra uma certa preocupação com o futuro e com a transformação daquilo que antes seria considerado desperdício. Nos dias de hoje, pode ser visto como uma nova oportunidade de criação, desenvolvendo assim a política de economia circular.

Neste sentido, a criação e inovação tem vindo a desenvolver um papel fundamental e decisivo no futuro da indústria, pretendendo responder a todas as necessidades dos vários setores de atividade a nível de desenvolvimento de novos materiais compósitos alternativos à base de cortiça, e o estudo de novos processos e tecnologias de fabrico que permitam a conceção desses materiais.

Assim, surge a oportunidade de realização da presente dissertação em ambiente industrial, no setor da inovação e desenvolvimento, onde foi possível estudar e desenvolver processos alternativos de moldação de cortiça à compressão, reduzindo a quantidade de cortiça consumida, e criar uma proposta de automatização e sistematização para o processo convencional de fabrico, com o intuito de o simplificar e tornar mais competitivo para o mercado.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como propósito o estudo e otimização de um novo processo produtivo na empresa, a moldação de cortiça por compressão, na qual será trabalhado o conceito a nível de tecnologia e de matéria-prima, através da realização de diversas experiências de prototipagem e produções piloto, com ensaios para validação do conceito, analisando as necessidades e capacidades do processo ao longo do tempo, bem como o impacto de todo o investimento no custo final do produto, desde o projeto de novo equipamento, ao estudo dos moldes e ferramentas auxiliares do processo de fabrico.

1.3 METODOLOGIA

Uma das etapas iniciais diz respeito à definição do trabalho a levar a cabo e, para tal, foi seguida uma metodologia, *Action Research*, condutora do projeto, e cujo ciclo pode ser dividido em sete etapas distintas, apresentadas na tabela seguinte (Tabela 1). Estes são os passos que tratam de guiar todo o trabalho desenvolvido daqui em diante, partindo da construção de uma base teórica e fundamentada, através de revisão literária relacionada, posteriormente aplicada ao cenário real em ambiente empresarial, assim como descreve Eden & Ackermann (2018).

Como primeiro passo, foi identificado o foco do trabalho, neste caso o processo de moldação por compressão, e reunidos todos os dados relevantes, de forma a facilitar a procura de informação relacionada. Em segundo lugar, foi realizada uma pesquisa da informação existente, através de uma revisão bibliográfica. Seguidamente, no terceiro ponto, foram levantadas algumas questões e estudadas outras já existentes, que dizem respeito à etapa de planeamento, onde é determinada a abordagem inicial ao caso prático.

A quarta e quinta etapas têm como objetivo, respetivamente, a implementação de um plano de ação, onde foi possível recolher e tratar os dados analisados. Por fim, no sexto e sétimo pontos, foi feita uma partilha e divulgação dos resultados, juntamente com a equipa, para uma reflexão final.

Tabela 1 – Metodologia do Trabalho Desenvolvido

Fases	Trabalho a realizar
1	Identificação do tópico do trabalho em estudo, que é o processo de fabrico de moldação por compressão de peças em cortiça, e compreensão de todos os pontos relevantes referentes ao cenário inicial identificado.
2	Revisão bibliográfica relacionada com o processo de fabrico e também com a matéria-prima, facilitando na compreensão e na fundamentação de todas as decisões tomadas durante o planeamento do projeto. Esta informação recolhida ajudará na orientação, definição e limitação de todo o caso de estudo, providenciando ferramentas ou técnicas úteis ao desenvolvimento do trabalho. Algumas das fontes de informação podem ser por exemplo: livros, artigos, jornais de investigação, <i>web sites</i> , documentos académicos, entre outros.
3	Levantamento e tratamento de todas as questões provenientes do ponto anterior.
4	Implementação do plano delineado e recolha de todos os dados obtidos.
5	Análise do impacto dos resultados e da viabilidade das alterações implementadas a nível da capacidade, eficiência e competitividade do processo.
6	Partilha e divulgação dos resultados obtidos juntamente com toda a equipa.
7	Estabelecer medidas que vão de encontro aos resultados conseguidos.



Figura 1 - Metodologia Action Research

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos, de forma a facilitar a leitura e interpretação do conteúdo ao longo da apresentação do mesmo.

Tabela 2 - Estrutura da Dissertação

	Capítulo	Resumo
1	Introdução	Síntese do trabalho desenvolvido, bem como, a sua contextualização e os seus objetivos.
2	Contextualização Teórica	Pesquisa e revisão bibliográfica alargada sobre o tema em estudo, de forma a sustentar todo o trabalho desenvolvido <i>à posteriori</i> . Análise dos conceitos e ferramentas mais pertinentes pertencentes à indústria corticeira.
3	Caracterização da empresa, dos processos e dos problemas	Apresentação da empresa, dos processos mais comuns e dos problemas associados.

4	Desenvolvimento e Resultados	Apresentação do processo na fase inicial, identificados os problemas e soluções, e discutidos os resultados extraídos, na fase final.
5	Conclusões	Apresentação dos resultados atingidos face aos objetivos iniciais, considerações finais e ainda propostas para trabalho futuro.
6	Referências	Listagem de todas as fontes consultadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.
7	Anexos	Material extra para consulta do leitor.

CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO À CORTIÇA

2.2 TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE GRANULADOS

2.3 MOLDES

2.4 ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE
CORTIÇA E OUTROS MATERIAIS NATURAIS

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO À CORTIÇA

A cortiça é uma matéria-prima natural, renovável e sustentável, portadora de propriedades únicas, também conhecida como a casca ou revestimento do tronco do sobreiro, conhecido na nomenclatura botânica como *Quercus Suber L.*, pertencente à família dos carvalhos (Corticeira Amorim, 2014).

Nos dias que correm, bastantes são as indústrias que a cortiça já conquistou e continua a conquistar, como é o caso da indústria automóvel, aeronáutica ou ainda da aeroespacial, promovendo soluções eficientes que vão de encontro aos exigentes requisitos técnicos.

Desperta constantemente a atenção e curiosidade de quem a descobre. Desde a antiguidade, tem sido usada em diversas aplicações no desenvolvimento de novos produtos, novos padrões e *designs*. Tem sido crescente o interesse em produtos de revestimento em cortiça, com o auxílio de novas técnicas e tecnologias de fabrico (Luis Gil, 2007).

2.1.1 PRINCIPAIS PROPRIEDADES

No que diz respeito à estrutura macroscópica da cortiça, esta traduz-se num tecido composto por membranas celulares, cujo conteúdo desapareceu durante o crescimento, sendo este sujeito, posteriormente, ao processo de suberificação das membranas. O motivo das suas propriedades não se deve somente à estrutura do tecido, mas também à natureza das membranas, caracterizada pela comunicação celular, garantida através de microcanais que atravessam a parede celular, designados por plasmodesmos. Entre 10% a 15% do volume total é ocupado pelas paredes das células que garantem o correto posicionamento destas, dispondo-se de forma compacta, sem espaços livres, de forma regular (Luís Gil, 2012).

Um aspeto que afeta as propriedades físico-mecânicas da cortiça prende-se com a espessura das membranas celulares que, dependendo da altura do ano, apresenta uma variabilidade dimensional, sendo esta mais fina na altura da Primavera e Verão (1 a 1,25 μm) e maior nas células de Outono e Inverno (2 a 2,5 μm), apresentando estas uma tonalidade mais escura e assim, cortiças de rápido crescimento que apresentam anéis suberosos de maior espessura, são menos densas, mais compressíveis, porém menos elásticas do que as cortiças delgadas (Luís Gil, 2012).

Relativamente às paredes celulares, estas são compostas pelo principal componente da cortiça, a Suberina, uma mistura de ácidos orgânicos, a partir da qual se formam as próprias paredes, que impedem a passagem da água e de gases, e ainda por polifenóis poliméricos, com elevada quantidade de cera extractável. No fundo, as paredes celulares apresentam cinco camadas: duas de natureza celulósica, que formam as cavidades celulares, duas interiores suberificadas, que conferem a impermeabilidade, e uma intermédia que confere a rigidez (Luís Gil, 2012).

Outra grande característica surge relacionada com o isolamento térmico, que pode ser explicado dado o facto de existirem pequenos nichos (células) cheios de ar e, apresentando estas células um tamanho bastante diminuto relativamente a outros materiais celulares ordinários, isso comprova a propriedade excepcional de isolamento térmico e acústico, podendo ser aplicado em diversos cenários como isolamentos de tubagens de ar condicionado ou sistemas de aquecimento de água por energia solar, podendo também ser incorporado na construção, possuindo uma condutividade térmica de cerca de 0,05 $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ (APCOR, 2018b; Luís Gil, 2012).

A cortiça destaca-se por ser elástica e compressível, permitindo grandes deformações sem rotura (Figura 2), recuperando a sua forma inicial assim que deixa de ser tensionado, sendo permitido dada a compactação e densificação da estrutura celular. Estamos perante a fratura quando o material é sujeito a uma tensão ou forças de torção em que a deformação ultrapassa a resistência do material (Pereira, 2007).

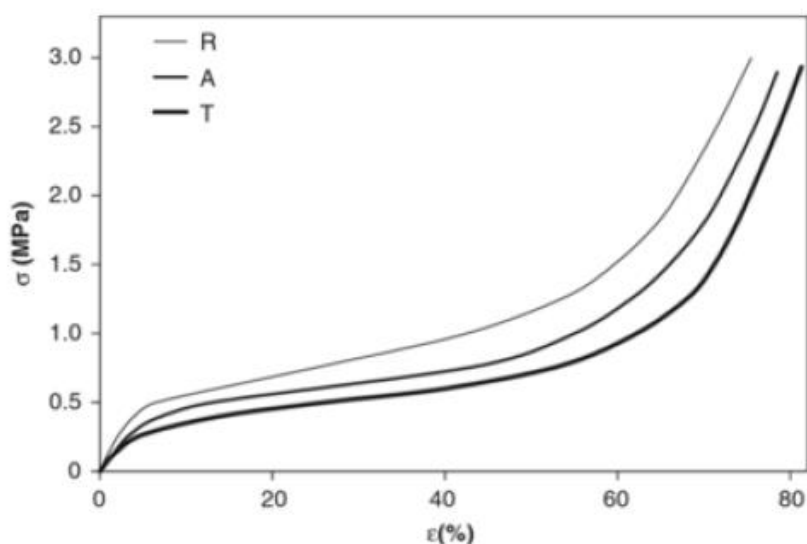


Figura 2 – Curvas Tensão-Deformação

As curvas tensão – deformação para cortiça comprimida sobre três direções diferentes, radial, axial e tangencial, exibidas na figura acima (Figura 2 – Curvas Tensão-Deformação), apresentam três fases distintas, que seguem a representação típica para o caso de células espumosas, estando cada uma associada a um processo de deformação distinto:

- **Primeira fase:** Relação linear aproximada entre a tensão aplicada e a deformação, correspondendo à deformação elástica das células até ao valor de 5-7%, sendo esta inteiramente reversível. Está associado à curvatura das paredes celulares que ocorre uniformemente em toda a amostra.

- **Segunda fase:** ligeira estabilização nas curvas, quase horizontal, ou com uma inclinação mínima, principalmente em valores de deformação até 50%. O empeno das células é um processo não uniforme, alastrando-se das células mais fracas para o resto do material, relativo ao empeno das células durante a curvatura em regime plástico.

- **Terceira fase:** tem início para valores de deformação a rondar os 70%, apresentando um aumento brusco no declive que corresponde à densificação do material com a rutura das células; valores teóricos máximos para a deformação rondam os 80-85%, ocorrendo densificação completa do material. A compressão não origina falência das células, bem como, na densificação, as paredes celulares não apresentam fendas ou quebras.

Assim, o comportamento viscoelástico da cortiça surge afetado pelo recozimento (aquecer acima dos 60°C), o que faz aumentar o módulo dinâmico (razão entre a tensão e tensão em condições vibratórias) e diminuir a intensidade do processo de relaxamento observado (Mano, 2002).

Não menos relevante, a sua lenta combustão surge como uma forte barreira aos incêndios, funcionando como um retardador natural do fogo, não libertando quaisquer gases tóxicos durante a combustão. A cortiça é ainda conhecida como um material antiestático e hipoalergénico, não absorvendo pó e contribuindo para a proteção de alergias, resistente ao atrito e ao desgaste graças à sua estrutura em favo de mel, sofrendo menos impacto ou atrito que outras superfícies duras (APCOR, 2018b).

2.1.2 TIPOS DE GRANULADO DE CORTIÇA

No que diz respeito ao ciclo de vida da cortiça, este é iniciado aquando do processo de descortiçamento que resulta num processo manual, realizado por gente experiente, de forma que, nem a árvore nem a casca a retirar sejam danificados (Corticeira Amorim, 2014).

Este processo pode ser dividido em cinco etapas diferentes:

Tabela 3 - Processo de descortiçamento

Etapa	Descrição
Abertura	A cortiça sofre um golpe com um machado, separando a prancha do entrecasco.
Separar	A prancha é separada ao torcer o machado que se encontra entre a barriga da prancha e o entrecasco.
Traçar	É realizado um corte horizontal, de forma a cortar um determinado tamanho da prancha.
Extraír	A prancha é finalmente retirada da árvore, com bastante cuidado, de forma a não danificar.
Descalçar	São depositados alguns bocados de cortiça junto à base do tronco e aplicadas algumas pancadas nos calços do sobreiro, para enxotar eventuais parasitas (Corticeira Amorim, 2014).

O primeiro descortiçamento (desbóia) realizado a um sobreiro, produz uma cortiça conhecida como “cortiça virgem”, sendo esta realçada pela sua irregularidade na superfície externa, o que a torna numa matéria difícil de trabalhar, destinada a outras aplicações que não as rolhas, como por exemplo, pavimentos ou isolamentos, dada a sua qualidade ainda não ser a desejada para esse fim (Luis Gil, 2007).

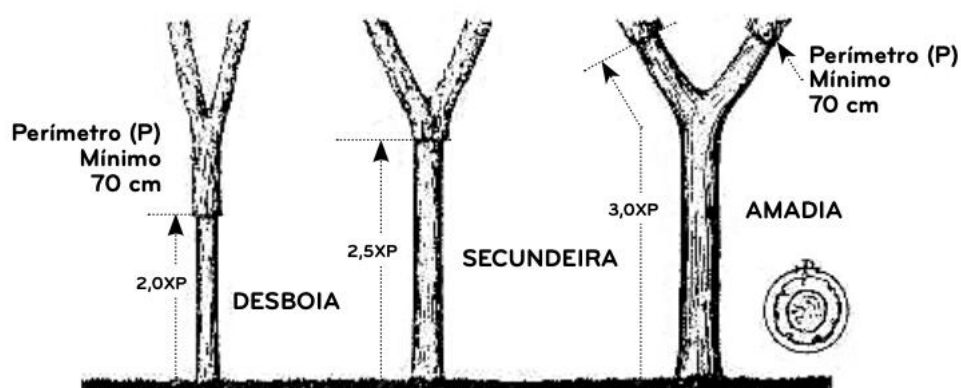


Figura 3 – Descortiçamento

Fonte: Corticeira Amorim, 2014

A partir do segundo descortiçamento (ainda inapropriado para fabrico de rolhas), nove anos depois, a cortiça apresenta uma superfície mais uniforme e menos dura, passando a designar-se por cortiça de reprodução ou amadia. Por fim, no terceiro descortiçamento, a árvore chega à idade de quarenta e cinco anos, e, finalmente, estão reunidas as propriedades ótimas para iniciar a produção de rolhas de qualidade, dada a sua superfície regular e uniforme, com costas e barriga lisas. A partir daqui, de nove em nove anos, é possível retirar do sobreiro cortiça de boa qualidade, prolongando-se por cerca de século e meio (Luis Gil, 2007).

Após o descortiçamento existe um período de repouso para todas as pranchas que foram retiradas, sendo estas amontoadas, ou na floresta ou em armazéns, nas instalações das fábricas, expostas ao ar livre, sujeitas ao sol e à chuva, tendo em atenção os materiais em redor, de forma que esta não fique contaminada durante este período, e para isso existem regras próprias e muito restritas a ser levadas a cabo, definidas pelo Código Internacional de Práticas Rolheiras – CIPR) (APCOR, 2018a).



Figura 4 – Período de repouso das pranchas

Todos os desperdícios resultantes do fabrico de rolhas naturais, aplicação fundamental da cortiça, como pós, aparas ou rolhas defeituosas, conjuntamente com a cortiça virgem, secundeira e amadia, são utilizados no fabrico de aglomerados, tipicamente com dimensões entre os 0,25 mm e os 22,4 mm, sendo considerado pó se for inferior a 0,25 mm, possibilitando a utilização integral da cortiça (Luís Gil, 2012).

A produção dos aglomerados, a partir do granulado obtido por trituração, é efetuada com recurso a diversos tipos de moinhos, dependendo do material e granulometria desejada. O granulado passa por crivos, de forma a ser separado por tamanho e densidade, passando de seguida por uma limpeza dos grânulos, incluindo secagem dos mesmos, através de circulação forçada a quente com secadores rotativos, conferindo-lhes o nível de humidade aconselhável. Por norma, os granulados apresentam granulometrias compreendidas entre 0,25 mm e 22,4

mm, densidade entre os 70 kg/m^3 e 90 kg/m^3 , e teor de humidade de 5-6% (Luis Gil, 2007; A. F. O. da Silva, 2015).

Os aglomerados podem assim ser divididos em dois grandes grupos, os compostos ou brancos, e os aglomerados puros expandidos. Os aglomerados compostos podem subdividir-se em aglomerados de cortiça com borracha (*rubbercork*) e os restantes misturados com outros materiais como: plástico, asfalto, cimento, gesso, caseína, resinas ou colas (APCOR, 2018a).

- **Aglomerado composto ou branco:** utiliza na mistura granulados de cortiça, com granulometria e densidade específicas e pré-definidas (usualmente 2 mm a 6 mm), misturados por ação conjunta da pressão, temperatura e um agente de aglutinação, que na maioria das vezes se trata de resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas (fenol-formaldeído), sendo também utilizadas resinas de origem vegetal, conjuntamente com outros materiais adicionais, dependendo do produto final e da aplicação desejada. Reunida a formulação pretendida, é realizado um doseamento, manual ou automático, e de seguida todos os agentes são envolvidos e misturados com recurso a um processo automático, normalmente em misturadores de pás ou helicoidais. Com a mistura já efetuada, esta é transportada para moldes, geralmente metálicos, de forma paralelepípedica, onde será efetuada a prensagem sob determinada pressão. As peças moldadas retiradas sofrem o processo de cura em estufas, que podem ser fornos de aquecimento ou sistemas de alta frequência contínuos (túneis) ou descontínuos. Após a cura, efetua-se a desmoldagem, e a peça é arrefecida e estabilizada, obtendo-se um bloco de aglomerado que é laminado em folhas, por vezes a quente (APCOR, 2018a; Luis Gil, 2007).
- **Aglomerado cortiça-borracha:** resulta da ligação dos grânulos de cortiça com a borracha, tal como o nome o sugere. Este aglomerado tem como principais aplicações juntas e pavimentos. Na formulação destas misturas, para além do granulado de cortiça e da borracha, são incorporados agentes de vulcanização, antioxidantes, aceleradores de polimerização, corantes, etc. Quanto ao seu processo de fabrico, esta mistura é homogeneizada, comprimida e aquecida em misturadores cilíndricos rotativos, até formar uma pasta, que posteriormente será cortada em placas e colocada em moldes, prensada e curada da mesma forma que o aglomerado anterior. Após a cura, com os blocos finais, estes são selecionados nas dimensões desejadas, conforme as aplicações (APCOR, 2018a; Luis Gil, 2007).
- **Aglomerado puro expandido:** processo de aglutinação de granulados de cortiça virgem, maioritariamente falca, proveniente da poda do sobreiro, uma vez que estes possuem uma quantidade elevada de extrativos, que funcionam como ligantes naturais, comparativamente às restantes cortiças, evitando o uso de adesivos externos. A granulometria para este tipo de aglomerado ronda os 3 mm a 10 mm para aglomerado acústico. Já para o térmico, ronda os 5 mm a 22 mm (Pereira, 2007). Após trituração, serão eliminadas todas as impurezas presentes, através de mesas densimétricas, crivos e, eventualmente, mantas rotativas. Depois de limpo, este é ensilado e seco até alcançar

a humidade ideal (Luís Gil, 2012). Aqui, a aglomeração é efetuada com recurso a autoclave, que serve igualmente de molde, onde o granulado é depositado e posteriormente comprimido. O vapor de água atravessa a massa de grânulos e faz com que a resina adira à superfície dos grânulos, e faça estes aumentar de volume. O tempo de cozimento perdura por 17 minutos a 30 minutos, dependendo da quantidade de água que o granulado apresente no início. Os blocos são, no final, cortados em placas de diferentes espessuras, geralmente com serras de disco e, caso alguma superfície (superior ou inferior) esteja com defeitos, esta será “retriturada”, dando origem ao “regranulado” de cortiça expandida (APCOR, 2018a; Luis Gil, 2007).

2.1.3 ORIGENS

Recuando atrás no tempo, até mesmo ao século XV, está registado na história que a Cortiça foi aplicada nas caravelas portuguesas que encaminharam os descobridores portugueses à descoberta do Mundo, valorizando cada vez mais as suas características e potencialidades.

Segundo a pesquisa efetuada, o sobreiro originário da Bacia do Mediterrâneo Ocidental, encontra aí as perfeitas condições para o seu crescimento, combinando os solos arenosos sem calcário com os níveis ideais de precipitação e temperatura, bem como altitude. No que diz respeito ao território nacional, Portugal é responsável por cerca de 50% da produção mundial de cortiça, o que equivale a 736 mil hectares de montado. Já os restantes 50% são referentes à produção conjunta de Espanha, França, Itália, Marrocos, Argélia e Tunísia.

2.2 TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE GRANULADOS

A moldação representa basicamente o processo de aglomeração das partículas de cortiça. Os granulados, proveniente dos silos, que podem também ser misturados previamente com outros materiais como borracha, plástico, asfalto, cimento, gesso, caseína, resinas, colas, podem dar origem a diferentes aglomerados compósitos com diferentes funções e aplicações. Esses aglomerados são então misturados, com recurso a misturadores de pás, conjuntamente com uma dada quantidade de resina e, após o granulado ficar bem envolvido com a cola, estes são descarregados para os moldes previamente aquecidos, onde irá ser conferida pressão durante o tempo necessário para garantir uma correta compactação do material e a devida polimerização dos aglutinantes, também conhecida como “cura”.

Semelhante aos produtos de matriz polimérica, a complexidade da forma é um fator que prevalece no momento de decisão e escolha do processo, bem como a elevada sensibilização ambiental que surge em torno dos materiais utilizados, por norma um tópico bastante discutido, onde o foco passa por reduzir a pegada de carbono e substituir resíduos sólidos não naturais por materiais naturais, biodegradáveis ou ainda polímeros recicláveis em aplicações de engenharia (Ho *et al.*, 2012).

Para moldação de cortiça, o processo mais praticado pelas indústrias corticeiras é o de compressão a quente, como é o caso de aplicações para fins decorativos, onde são usados granulados de calibre fino-médio para densidades entre os 200 e 350 kg/m³. Já para o fabrico de peças como juntas de dilatação, são usados granulados de calibre médio e massas volúmicas de 250-350 kg/m³, ou ainda no caso dos aglomerados usados em revestimentos, que rondam os 450-60 kg/m³ (Luís Gil, 2012).

2.2.1 FUNCIONAMENTO DAS PRENSAS DE GRANULADOS

Relativamente aos equipamentos, para uma melhor compreensão do trabalho na sua generalidade, torna-se fundamental conhecer as máquinas e o conceito por detrás deste processo de fabrico.

Tal como foi referido anteriormente, as prensas hidráulicas de granulados tratam de assegurar o fornecimento de temperatura e pressão de compressão ao aglomerado de cortiça que se encontra nos moldes, apenas sendo possível devido à atuação dos cilindros hidráulicos, por meio de um fluido pressurizado, o óleo, que, através deste, produzem força e movimento suficiente para subir e descer o prato de fixação da metade de molde superior, respetivamente, na extração do produto final e, na prensagem do material sobre aplicação de pressão por parte dos machos presentes na parte superior (parte positiva) (Figura 5). Além da parte elétrica necessária para colocar em funcionamento os motores, que por sua vez transformam a potência elétrica em mecânica e que, seguidamente essa potência irá ser convertida em potência hidráulica através da bomba hidráulica, existe ainda uma grande parte de energia útil destinada ao aquecimento dos pratos que, por sua vez, aquecem os moldes à temperatura de trabalho, e que é realizado por várias resistências elétricas, com a particularidade dos moldes serem constituídos inteiramente por alumínio e assim facilitem a transferência de calor, dada a condutividade térmica do material.

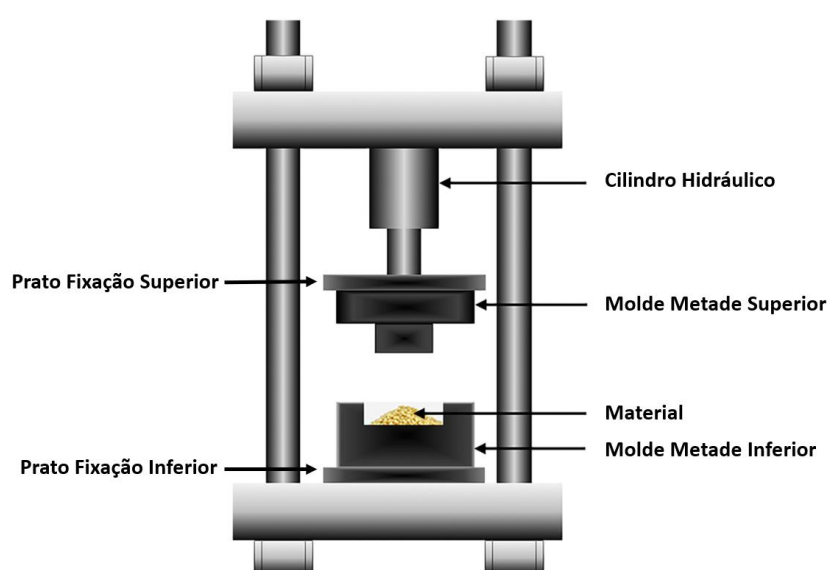


Figura 5 - Prensa para granulado de cortiça

Tal como foi referido anteriormente, este processo (ver Figura 5) caracteriza-se por ser relativamente simples e com custos reduzidos, comparativamente a outros processos onde, para além da prensa hidráulica, apenas são necessários adicionalmente o molde e a matéria-prima. Porém, certos fatores podem comprometer a qualidade da peça moldada, caso não sejam tidos em conta corretamente, como é o caso da quantidade de matéria e o ciclo térmico.

Aqui, o ciclo térmico diz respeito ao tempo de aquecimento ou de prensagem, como foi falado anteriormente, associado também à “cura” do material, onde, findo este tempo o molde é aberto e as peças são extraídas, sejam estas de grandes ou pequenas dimensões e, o molde será novamente alimentado para retomar uma nova prensagem, estabelecendo-se assim como um processo de produção descontínuo.

Este tipo de tecnologia base pode ser ajustado conforme as necessidades produtivas e a geometria do produto, no sentido de tornar o processo mais automático e com produtividade e rentabilidades superiores, desde a entrada da matéria-prima à saída do produto final, e para isso existem ainda outros tipos de tecnologias de moldação, para quantidades de produção superiores, o que no fundo representa uma replicação do esquema representado na Figura 5, para um sistema em contínuo, ainda assim com ligeiras diferenças no processo (Figura 6).



Figura 6 - Moldação de Rolhas em Contínuo

Fonte: Amorim & Irmãos, SA

Neste caso da Figura 6, onde o processo produtivo se caracteriza por um sistema em contínuo de maiores dimensões, o objetivo é claramente obter um maior proveito do processo, e assim aumentar a sua eficiência e capacidade produtiva, no que diz respeito à cadência, ou caudal de produto debitado pelo processo, sendo esta a mais-valia do processo em contínuo (APCOR, 2018a).

Este é um exemplo de um sistema de moldação, de grandes dimensões, em contínuo, para a produção de rolhas moldadas, onde o sistema está em constante funcionamento sem intervenção do operador, o qual atua apenas em caso de avaria ou para realizar manutenção ao equipamento.

Enquanto no sistema em descontínuo existe uma interrupção constante para remoção do molde, extração das peças e novamente alimentação da matéria-prima, neste caso é tudo realizado em simultâneo e contínuo, havendo uma união da prensa com o misturador, que trata a mistura da cortiça com a cola, e deste com os silos onde se encontram armazenados os diferentes tipos de granulado.

Este processo torna-se exequível para peças de pequenas dimensões e com formas geométricas relativamente simples, como é o caso da rolha. A pequena área de secção desta exige, para altas taxas de densificação, uma caixa de enchimento funda, como é perceptível na Figura 6, pelo tamanho dos machos que entram alinhados na caixa abastecida com material.

Para a extração, a parte inferior do molde é móvel, deslocando-se após a moldação para que entre um punção e empurre, no sentido descendente, as peças para um vasilhame próprio. De seguida, o molde volta à mesma posição, já com material alimentado para ser prensado.

No caso da Figura 7, os moldes são de maiores dimensões e apresentam forma paralelepípedica, obtendo-se blocos de cortiça que mais tarde vão dar origem à peça final. Após a etapa de moldação em contínuo dos blocos, estes serão sujeitos a etapas como, por exemplo, laminação, corte ou lixagem, dispostas em diferentes linhas de montagem, permitindo a circulação da peça ou “folhas” até alcançar o formato final, pronto a ser embalado (Figura 8).



Figura 7 - Moldação de Blocos em Contínuo

Fonte: APCOR, 2018a

Este sistema em contínuo permite a produção em série e armazenagem de vários blocos (Figura 9) em bruto, para posteriormente serem trabalhados em várias etapas, como referido anteriormente, dando depois origem a peças de pequenas dimensões, como é o caso das bases de quente para tachos de culinária.

Obviamente que este sistema funciona para grande parte dos produtos fabricados na indústria, mas muitos deles, com formas geométricas mais complexas, exigem moldes específicos e diferentes tempos de cura ou prensagem. Este parâmetro varia essencialmente com a espessura da peça, com a quantidade ou tipo de material, sendo que esta flexibilidade de produção de peças geometricamente mais complexas e delicadas é o principal incentivo ao estudo da viabilidade do processo de moldação por compressão em descontínuo (Figura 5).



Figura 8 - Folhas de Cortiça Laminadas

Fonte: *Amorim Cork Composites*



Figura 9 - Armazenagem de Blocos Moldados

Fonte: *Amorim Cork Composites*

O molde, tipicamente metálico em forma de paralelepípedo (Figura 6), onde será acomodada a mistura dos granulados de cortiça com a resina, depois fechado e trancado, será conduzido, já fora da prensa, para estufas ou fornos, onde é realizado o seu devido aquecimento e o material sofre a chamada “cura”, como foi explicado anteriormente, a polimerização das colas, podendo aqui atingir-se temperaturas elevadíssimas, não com recurso a resistências elétricas, como no processo descrito anteriormente, mas sim com sistemas de alta-frequência.

Tendo os moldes percorrido desde a prensagem até às estufas, seguidamente vão estabilizar (Figura 9), e as peças estão prontas para ser desmoldadas e arrefecidas (APCOR, 2018a).

Tabela 4 - Moldação contínua vs. descontínua

	Moldação em Contínuo	Moldação em Descontínuo
Benefícios	<ul style="list-style-type: none"> • Aqui o processo produtivo está organizado para produzir em grande quantidade e com custos reduzidos; • Mão-de-obra reduzida; • Processo automatizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade geométrica; • Facilidade de troca de ferramentas; • Possibilidade de testagem de várias matérias-primas.
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> • Menor flexibilidade na geometria das peças; • Investimento elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadência mais baixa; • Processo mais lento; • Envolve mais intervenção por parte dos operadores.

2.3 MOLDES

A Indústria dos moldes é, sem dúvida, a nível mundial, uma área de relevo e extrema importância, dada a sua elevada capacidade produtiva com base na tecnologia avançada e na mão-de-obra especializada. Um dos fatores a favor desta tecnologia, a inovação, surge aliada à indústria dos moldes, contribuindo para o seu progresso e evolução através da sua flexibilidade na adaptação às necessidades exigidas pelo mercado, contribuindo para a mudança do paradigma atual, isto é, a transferência da produção em massa para a personalização em massa, concentrando a atenção nas exigências do cliente e impondo uma constante atualização da tecnologia existente, que originará conseqüentemente uma crescente concorrência e uma tentativa de homogeneização no mercado dos produtos (Aicep Portugal Global, 2019; Dou *et al.*, 2018).

Em valores percentuais (Figura 10), algumas das indústrias mais dependentes do setor dos moldes são por exemplo: a indústria automóvel com 74% das encomendas, sendo que grandes marcas conhecidas são clientes dos moldes portugueses, e a indústria das embalagens com 10% das encomendas totais, que tem apresentado um crescimento contínuo e em desenvolvimento. No entanto, o setor continua a procurar novos potenciais clientes, como no setor aeronáutico ou médico, adaptando-se às transformações do mercado, com uma aposta em tecnologia de ponta, assim como mão-de-obra qualificada, inovação, desenvolvimento e qualidade única, que diferencia e acrescenta uma vantagem competitiva sobre outros setores, conferindo-lhe um reconhecimento internacional e posicionando Portugal entre os líderes mundiais na categoria (CCIP, 2020).

Na Figura 11 é apresentada uma análise do comércio externo português, salientando cinco principais destinos das exportações de moldes: Espanha (23%), Alemanha (22%), França (15%), República Checa (7%) e Reino Unido (4%). Como é perceptível, grande parte da região económica diz respeito ao mercado europeu, sem dúvida, comparativamente ao mercado americano, dado a transferência de algumas empresas deste último, para países com baixos custos de mão-de-obra (CEFAMOL, 2015).

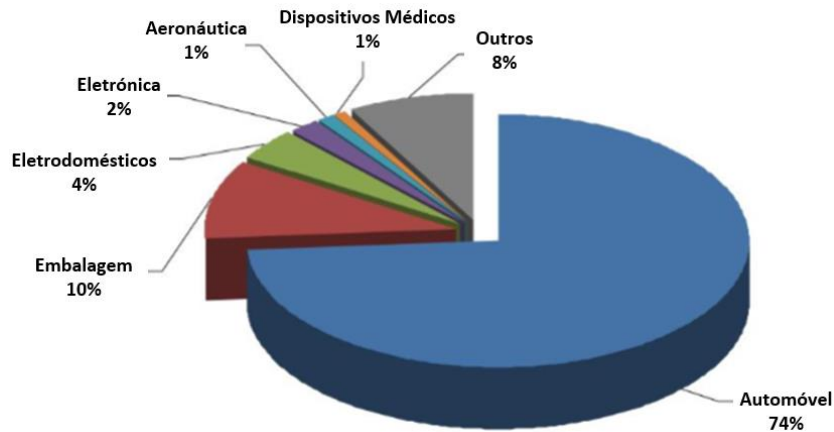


Figura 10 - Principais indústrias clientes (AICEP/CEFAMOL)

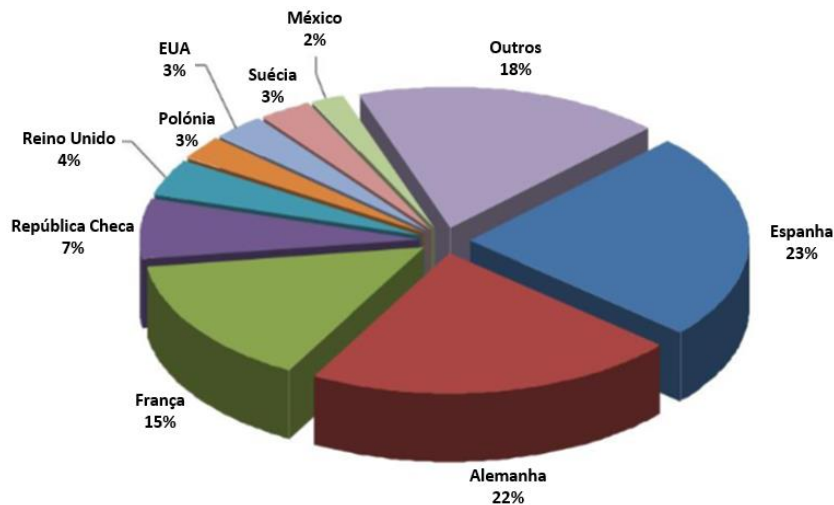


Figura 11 - Principais mercados da indústria dos moldes (AICEP/CEFAMOL)

2.3.1 ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DOS MOLDES

Um molde é uma ferramenta cujo objetivo passa por dar forma a um determinado material (Pinto *et al.*, 2017; Pinto *et al.*, 2019), conferindo-lhe calor e pressão, devendo este resistir ao aquecimento e para certos tipos de materiais, ao arrefecimento, podendo estes ser classificados conforme o tipo de matéria-prima ou tecnologia utilizada nos diferentes processos de fabrico, como apresentado na Tabela 5:

Tabela 5 - Diferentes materiais e processo de fabrico

Conforme:	Matéria-prima	Processos de Fabrico
	Termoplásticos	Injeção
	Termoendurecíveis	Compressão
	Borrachas	Extrusão
	Ligas Leves	Transferência
	Vidro	Sopro
	Cerâmicos	Termo Formação Rotacional

Com a passar do tempo, estas técnicas foram evoluindo, enquanto evoluiu o desenvolvimento do projeto de desenho dos moldes, em paralelo com uma transformação de todo o processo de conceção dos componentes a fabricar (Ferreira *et al.*, 2011). Esta evolução originou uma simplificação dos processos de fabrico e, conseqüentemente, permitiu uma maior economia do tempo e dos recursos humanos e materiais, e ainda a flexibilidade no que diz respeito à engenharia do produto, tanto a nível da matéria-prima usada, como na liberdade geométrica das peças produzidas (Nunes *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018; Chandrasekaran *et al.*, 2019).

2.3.1.1 MOLDES PARA SETOR VIDREIRO

É importante salientar que a origem da indústria dos moldes, em Portugal, assenta em dois grandes setores, o do plástico e do vidro, que se ergueram ainda antes da segunda guerra mundial por mão de Aires Roque, proprietário da “serralharia de moldes” mais famosa da altura para vidro, e que, dada a crescente procura e interesse de empresas nacionais por esta tecnologia, enveredou também pelo setor dos plásticos, ao mesmo tempo que começavam a surgir no país as primeiras fábricas para desenvolvimento de plásticos sintéticos, que foram facilmente integrados nos processos de fabrico, visto que, os métodos de conformação da matéria-prima plástica da altura eram bastante equivalentes aos do vidro, bem como os artigos a moldar eram bastante semelhantes (Beira *et al.*, 2003).

O processo de moldação de vidro (GMP) (Figura 12) requer moldes com requisitos delicados para garantir um bom desempenho e precisão na forma final, exigindo uma boa condução do calor durante o processo, qualidade e rigor nos seus acabamentos superficiais sujeitos a altas temperaturas e resistentes à oxidação e à deformação. Como material base, tipicamente são usadas ligas altamente duras, porém, nos últimos anos, tem vindo a aumentar a escolha da grafite como material de construção dos moldes para este setor, com resultados bastante satisfatórios (Ming *et al.*, 2020).

(Prater *et al.*, 2016) estudou quais as diferenças a nível de qualidade e estabilidade de moldes compostos por carbono vítreo, concluindo-se que no processo de conformação de vidro com precisão utilizando o respetivo material, são apresentados resultados promissores no que diz respeito à tecnologia, especialmente quando aplicado no fabrico de componentes de menor dimensão, apresentando-se bem mais económico e eficiente.

Desta forma, o processo de moldação de vidro, tecnologia com mais adeptos comparativamente aos processos tradicionais de fabrico de materiais de vidro, apresenta bastantes vantagens de alta precisão na conformação, com tempos de ciclo inferiores, logo, menores custos e menor taxa de poluição emitida (Ming *et al.*, 2020).

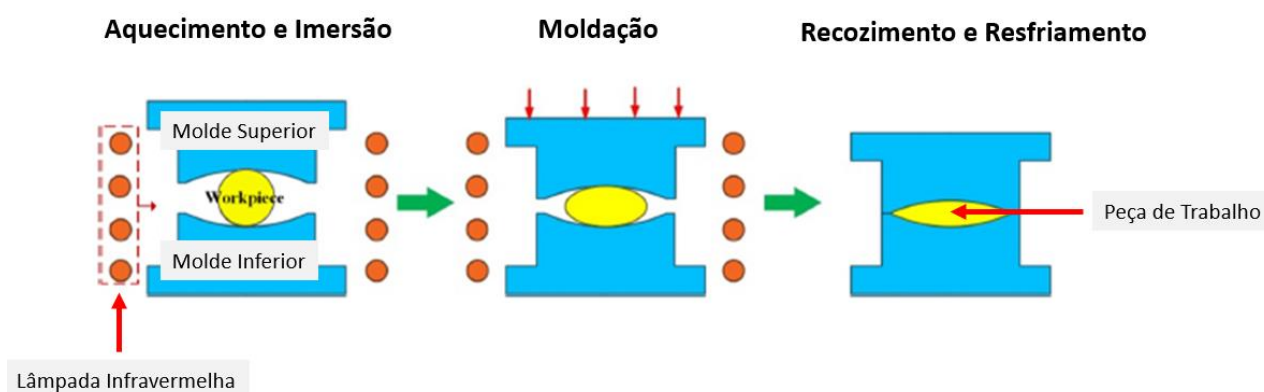


Figura 12 - Diagrama do Processo de Moldação de Vidro

Fonte: Adaptado de Ming *et al.*, 2020

2.3.1.2 MOLDES PARA INJEÇÃO DE PLÁSTICO

Este é sem dúvida o processo mais corrente e explorado em Portugal, conhecido em todo o mundo, e o qual consiste em injetar um determinado material fundido para dentro de um molde, que será aquecido a uma dada temperatura, de forma que o material preencha toda a cavidade do molde (Silva *et al.*, 2011; Martinho *et al.*, 2011).

Por norma, o molde, para este tipo de processo, é metálico e possui cavidades com as dimensões do componente que se deseja fabricar, sendo este ajustado para poder ser possível acoplar a uma máquina injetora que trata de fazer chegar, por meio de pressão, ao molde, o material plástico, já fundido, que irá preencher todo o volume da sua cavidade (Barbosa *et al.*, 2018). Durante o projeto e conceção do molde é necessário ter em conta certas considerações iniciais, os denominados *inputs*, desde peso, tamanho ou design da peça a fabricar para ser possível definir como irá ser constituído o molde relativamente ao número de cavidades, localização da entrada do material ou elementos de extração e ainda definir qual o tipo de máquina injetora ideal para o caso, tendo em conta dados como a capacidade de injeção, a força de fecho e a capacidade de plastificação (Harada, 2004; Silva *et al.*, 2021).

Neste processo, a rebarba pode ser um aspeto menos fácil de controlar comparativamente ao processo de moldação por transferência, com a moldação por compressão a ser tipicamente o mais difícil de controlar, podendo ser explicado através da pressão cavitária que, na moldação por injeção tende a ser dez vezes superior à da moldação por transferência, para uma mesma área de atuação (Stritzke, 2009).

Alguns dos fatores que têm interferência aquando da construção de um molde são:

- Tamanho e forma da peça;
- Número de cavidades;
- Tamanho e capacidade da máquina injetora;
- Linha de separação entre metades/Face de abertura do molde (faces devem estar perfeitamente paralelas após maquinagem);
- Extração da peça;
- Pontos de entrada de material nas cavidades (geralmente centrado com as peças, em moldes com cavidades simples de duas ou três placas, ou nas arestas da mesma caso seja molde de duas placas com cavidades múltiplas ou simples (ver Figura 13).

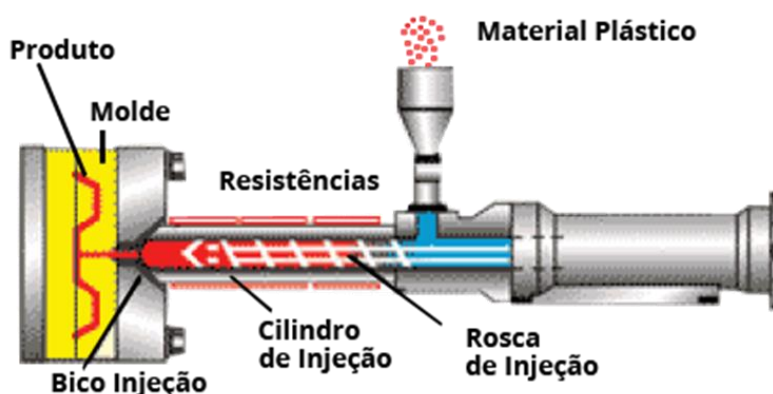


Figura 13 - Elementos do Processo de Injeção

2.3.1.3 MOLDES PARA MATERIAIS CERÂMICOS

No que diz respeito ao processamento de materiais cerâmicos, grande parte dos produtos são fabricados por aglomeração ou compactação de partículas, de forma a obter a geometria desejada que, posteriormente, serão aquecidas a uma determinada temperatura estudada, garantindo a ligação entre as partículas (Magalhães, 2006).

Para isso, as duas etapas principais de processamento dos materiais são:

- Preparação prévia dos materiais: conforme as propriedades finais desejadas, são inicialmente escolhidas as matérias-primas a usar e, obtendo a formulação correta, procede-se à mistura das partículas com os agentes ligantes/lubrificantes. Para aplicações menos exigentes, como o caso de tijolos, entre outros produtos argilosos, tipicamente é usado como agente na mistura, a água, havendo também casos em que a matéria-prima é processada a seco, junto com outros ligantes (Magalhães, 2006).

- **Conformação:** após obter a formulação já misturada e aglomerada, esta poderá ser conformada de várias formas: seco, líquido, ou com recurso ao método plástico. Para a conformação os métodos habituais são: prensagem, vazamento de suspensões e a extrusão. No caso da prensagem, geralmente é usada em aplicações para produtos refratários estruturais e componentes cerâmicos para o setor da eletrónica (Magalhães, 2006).

As peças cerâmicas são obtidas essencialmente por dois processos: Fusão ou Sinterização, sendo que o facto de possuírem temperaturas de fusão bastante elevadas, torna complexo, a nível financeiro e tecnológico, usar técnicas tradicionais de vazamento.

Na fase de preparação de materiais, são seleccionadas as matérias-primas (pós cerâmicos, ligantes, lubrificantes, desfloculantes e ajudantes de sinterização) e, posteriormente, estas serão moídas e misturadas devidamente, para ficarem prontas a serem prensadas (ver Figura 14).

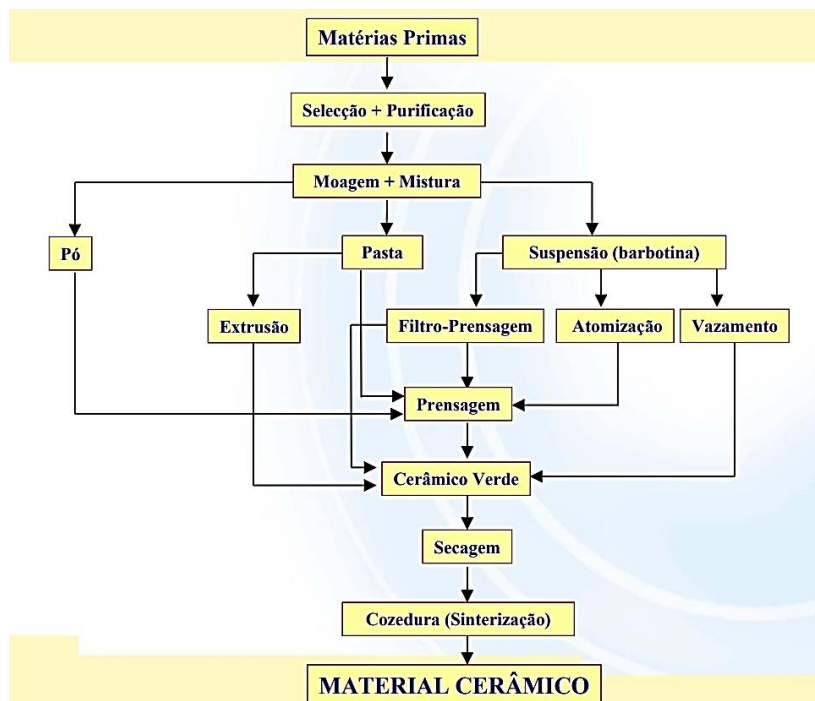


Figura 14 - Processo de obtenção de peça cerâmica

Fonte: Adaptado de Jorge Lino Alves (2005)

Seguidamente, na fase de conformação, o material pode ser submetido a diferentes processos, como mostra a Tabela 6:

Tabela 6 - Processos de conformação de materiais cerâmicos

Fonte: Adaptado de Jorge Lino Alves (2005)

Conformação	Sub Processos
Prensagem	Prensagem Uniaxial
	Prensagem Uniaxial a Frio
	Prensagem Uniaxial a Quente
	Prensagem Hidrostática a Frio
Prensagem Hidrostática	Prensagem Hidrostática a Quente
	Vazamento de Barbotinas em Moldes Porosos
Slip Casting	Vazamento de Barbotinas em Moldes não Porosos
	Processo dos Modelos Perdidos
	Processo da Cera Perdida (<i>Investment Casting</i>)
Extrusão	Extrusão com ou sem pistão (mediante o tipo de material)

Na fase de conformação, vários são os processos existentes, consoante o tipo de material cerâmico e o tipo de aplicação desejada. No caso da prensagem uniaxial a frio, tal como o nome refere, a mistura será prensada uniaxialmente num molde com a forma final da peça (contabilizando-se já as tolerâncias devido a diferenças de temperatura e eventuais contrações, e ainda contrasaídas, etc.) (Jorge Lino Alves, 2005).

As grandes vantagens deste processo são: a variedade de formas geométricas e a uniformidade das mesmas. Em contrapartida, pode haver variação das propriedades em diferentes zonas da peça (Jorge Lino Alves, 2005).

Na prensagem isostática a frio, a pré-forma é colocada num molde flexível dentro de uma câmara fechada e será aplicada uma pressão através de um fluido hidráulico (ex.: óleo) que compactará o pó em várias direções, obtendo-se a forma da peça final (exemplo de aplicação: ferramentas de corte ou velas de ignição). No caso do *Slip Casting*, este é mais utilizado para peças como: louça sanitária, jarros, etc., e caracteriza-se por serem utilizados moldes porosos ou não porosos, onde é vazada a mistura (barbotina) composta pelas partículas cerâmicas, água e aditivos.

O material moldado é, no fim, seco e desmoldado, seguindo-se uma preparação e pré-cozedura, geralmente a 900°C (chacotagem) e, finalmente, é aplicado o vidro, a pintura e uma última cozedura. Já no caso do processo de cera perdida, este é bastante flexível, ainda assim apresenta cadências de produção extremamente baixas e podem ser utilizados moldes: de silicone, de resina carregada com partículas de alumínio, ou ainda moldes maquinados em alumínio (Jorge Lino Alves, 2005).

Após a fase de conformação, os materiais cerâmicos podem ser submetidos ainda a mais duas etapas: densificação e a maquinagem, com devida avaliação da qualidade final do produto acabado.

2.4 ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIAS DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA E OUTROS MATERIAIS NATURAIS

A Tabela seguinte reúne diversos trabalhos e estudos que foram desenvolvidos no contexto das tecnologias direcionadas aos processos de moldação de cortiça e outros materiais naturais.

Tabela 7 - Estado da Arte em Tecnologias de Moldação de Cortiça e outros Materiais Naturais

Referências Bibliográficas	Descrição do Trabalho
(Martins, 2015)	O objetivo descrito neste trabalho passa por investigar e idealizar um novo processo de fabrico direcionado para uma classe de material muito específica, os aglomerados puros de cortiça. Ao invés da maquinagem, a idealização de um processo de moldação adaptado, com todos os utensílios necessários, revelou-se uma ótima alternativa, à semelhança do que é aplicado em outras indústrias, nomeadamente, do vidro ou do plástico.
(Luís Gil, 2009)	Sendo a cortiça um material com bastante relevo, atualmente, com uma vasta aplicabilidade, vários estudos e investigações estão a ser levados a cabo no sentido de espoletar novas indústrias e novos materiais à base de cortiça, com ou sem agente ligante. Face aos esforços na área, vários compósitos de cortiça encontram-se prontos a serem utilizados, sendo este um campo promissor no desenvolvimento de tecnologia da cortiça.

(Gupta & Maji, 2020)

Existem diversos tipos de materiais de construção produzidos a partir de cortiça, sendo parte deles produzidos a partir do processo de moldação por compressão a quente, sujeito a altas pressões e temperaturas, de forma a ligar as partículas e garantir uma forma final sólida, tendo em conta o efeito da densidade e porosidade dos mesmos. Este artigo centra-se na importância da aplicação destes materiais compósitos, à base de cortiça ou madeira, no setor da construção, como forma de isolamento, face o aumento dos custos energéticos ao longo dos anos.

(Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020)

Este estudo resultou no desenvolvimento de técnicas e procedimentos para a modificação de fibras naturais e resinas. Como resposta à crescente procura por materiais *eco-friendly* para diversas aplicações, torna-se imperativo conhecer e estudar as fibras naturais e todos os tipos e fontes de resina, bem como as técnicas de modificação das mesmas, ou ainda os processos de fabrico mais comuns como: Moldação por compressão, Moldação por Extrusão ou ainda Moldação por transferência de resina.

(Q. H. Zhang *et al.*, 2007)

Neste trabalho foi investigada e desenvolvida uma resina à base de madeira liquefeita para aplicação em moldação de materiais. A partir dos resultados satisfatórios obtidos, foi possível extrair que, a força de ligação de um contraplacado, usando resina de abeto e resina de choupo chinês, consegue alcançar os 1,54 MPa e 1,00 MPa, respetivamente. O uso destas resinas potencia certos parâmetros, tais como a perda no peso final das peças, ou ainda na redução da força de compressão necessária aquando da moldação do material.

(Nilsson *et al.*, 2012)

O estudo realizado neste trabalho realça a importância no conteúdo e estrutura da hemicelulose, em polpas químicas, no relacionamento das propriedades aquando do processo de moldação de madeira por compressão, examinando-se os bio compósitos da polpa. Os resultados concluem que a moldação por compressão de polpas químicas de madeira origina bio compósitos com propriedades mecânicas que podem ser comparadas ao método de "Polpação", onde fibras de celulose são extraídas de madeira ou outra matéria-prima como um princípio para o fabrico de papel.

(Robledo-Ortiz *et al.*, 2020)

Neste trabalho foi estudado o processo de moldação rotacional de materiais compósitos à base de polietileno verde (*Green-PE*) e fibras naturais (coco e agave). Os resultados demonstram positivamente que estes materiais combinam bastantes vantagens na sua utilização, uma vez que a formulação passa por combinar materiais como polímeros *biobased* e resíduos agroindustriais, de origem biológica, tais como fibras de agave e de coco, podendo as peças finais ser obtidas através de extrusão, moldação por compressão ou moldação injetada, havendo poucos estudos realizados sobre a moldação rotativa.

(Vijaya Ramnath *et al.*, 2016)

O objetivo deste artigo relaciona-se com a introdução de um novo material, bastante abundante e com imensas vantagens ecológicas, na indústria automóvel, embalagem e equipamento desportivo. Trata-se de compósito de fibra natural fabricado através de moldação por compressão assistida por vácuo. Os resultados demonstram que o compósito com fibra torcida e 45 graus de orientação das mesmas, apresenta melhores propriedades mecânicas.

(Mehta *et al.*, 2006)

Este trabalho pretende estudar a durabilidade de materiais bio compósitos utilizados em componentes de construção. Amostras de bio compósitos foram produzidas, através de moldação de compósitos em folhas (*Sheet Molding Compounding*) e/ou através da moldação por compressão. Os materiais são expostos numa câmara meteorológica acelerada de testes, e os resultados confirmaram que os bio compósitos oferecem bastantes vantagens comparativamente aos compósitos tradicionais, apesar da degradação dos mesmos face aos fenómenos naturais.

(Salit *et al.*, 2015)

O presente artigo apresenta uma investigação realizada em torno da moldação por injeção de um compósito termoplástico de fibra de madeira. É realizada também uma análise em separado ao material, bem como ao processo de moldação por injeção, incluindo as etapas de secagem, mistura e extrusão. Conclui-se que os compósitos termoplásticos reforçados com fibra de madeira apresentam um futuro promissor face à exploração e procura em novos âmbitos de aplicações e investigação, sendo também discutido neste artigo a tendência para o processamento de moldes finos e as propriedades de peças de paredes finas moldadas por injeção.

(Takahashi *et al.*, 2011)

Este trabalho pretende demonstrar a melhoria nas propriedades mecânicas de moldados compósitos termoplásticos de pó fino de madeira reforçados com fibra de bambu, processados através de moldação por compressão. Os resultados relativos aos ensaios demonstram que as fibras de bambu melhoram as propriedades mecânicas dos moldados à base de madeira.

(Jaafar *et al.*, 2019)

Neste estudo é realizada uma análise a parâmetros cruciais presentes no processo de moldação por compressão de materiais bio compósitos, tais como a temperatura, pressão e tempo de prensagem, que afetam, consequentemente, as propriedades dos compósitos poliméricos reforçados com fibra natural. O pré processamento e os aspetos durante o processo têm impacto significativo nas propriedades mecânicas finais, sendo que este trabalho contribui para um aprofundamento no conhecimento do processo e assim uma melhoria nas propriedades obtidas com estes materiais naturais.

(Guo & Kethineni, 2020)

Este trabalho pretende demonstrar a viabilidade de fabrico dos materiais compósitos híbridos madeira-plástico apenas com uma etapa, a partir do processo de moldação direta por injeção, garantindo uma enorme diversidade de aplicações estruturais de uma forma ecologicamente amigável e implicando menor intervenção ou manutenção. Em suma, o estudo garante que, ao otimizar as fibras utilizadas, estes materiais compósitos apresentarão uma relação desempenho - custo bastante favorável para diversos campos de aplicação.

(Jiang & Zeng, 2019)

Este trabalho desenvolvido na Universidade de Tecnológica da província de Hunan, no sul da China, compara o fabrico de caixas constituídas por compósitos madeira-plástico para embalagem, através de duas formas distintas, por *online extrusion-compression* e pelo método tradicional de moldação por injeção. Os resultados afirmam que o método tradicional é menos rentável no que toca a consumos energéticos, e que o *online extrusion-compression* consegue trabalhar estruturas mais irregulares e de maiores dimensões.

(Yallew *et al.*, 2020)

O presente estudo demonstra a facilidade na melhoria das propriedades mecânicas, de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, aquando da otimização dos parâmetros de processamento no fabrico dos mesmos. Os resultados obtidos deste estudo experimental, sob diferentes condições, confirmam que os parâmetros de moldação afetam a resistência à tração de exemplares fabricados, bem como as fibras de sisal são as mais eficazes como reforço de bio compósitos.

(AlMaadeed *et al.*, 2012)

Este trabalho centra-se na análise das propriedades mecânicas e térmicas de um compósito híbrido de polipropileno reciclado com dois reforços distintos, com percentagens diferentes, farinha de madeira e fibra de vidro. O processo de mistura foi realizado numa máquina extrusora, e preparada seguidamente numa máquina injetora. Os resultados confirmam que a aplicação de farinha de madeira como enchimento de compósitos reforçados com fibra de vidro reduzirá o custo, sem deteriorar significativamente as propriedades.

(Guo *et al.*, 2019)

O presente estudo, publicado a 29 de agosto do ano passado, pretende demonstrar a melhoria de propriedades mecânicas de compósitos híbridos de madeira-plástico, constituídos por polietileno altamente densificado, através da adição de fibra de carbono à matriz híbrida. Os resultados pressupõem que, esta adição sobre o processo de moldação por injeção direta, origina uma melhoria nas propriedades mecânicas, sem custos operacionais adicionais.

(J. Zhang *et al.*, 2019)

Este trabalho explora as propriedades sonoras e antivibráticas de materiais bio compósitos de fibras naturais, que podem ser aplicados em estruturas de construção e engenharia mais propícias à ameaça de vibrações constantes. Os resultados demonstram, satisfatoriamente, que os compósitos híbridos de bambu/algodão são viáveis para este tipo de aplicações, tendo em conta as propriedades de amortecimento.

(C. A. Silva *et al.*, 2007)

O presente trabalho, realizado na Universidade do Minho, departamento de Engenharia dos Polímeros, apresenta o comportamento e propriedades mecânicas de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de vidro, fabricados por rotação, expansão e moldação por compressão-injeção. O trabalho pretende mostrar que os moldes relativos aos processos anteriores inserem, preferencialmente segundo uma orientação ótima, fibras de vidro mais curtas na matriz de polipropileno, refletindo-se nas propriedades finais.

(Regazzi *et al.*, 2016)

Neste estudo, o processo de moldação por termocompressão foi usado para fabricar materiais para consumo, a partir de pó de amido. O objetivo passa por determinar os parâmetros essenciais do processo que possibilitam a união desses grânulos, preservando a sua cristalinidade, tais como, temperatura, pressão de compressão, quantidade de água presente na microestrutura e o seu efeito nas propriedades. Os resultados apontam para um controlo dos parâmetros de pós-processamento, evitando o aparecimento de eventuais defeitos.

(Suresh *et al.*, 2019)

O presente trabalho, publicado em 2019 na Índia, procura investigar as propriedades mecânicas de compósitos híbridos de matriz polimérica, reforçados com fibras naturais obtidas a partir de desperdícios biodegradáveis. Os resultados afirmam que este tipo de material preenche, positivamente, todos os requisitos, tais como resistência mecânica, temperatura de distorção elevada e peso leve com baixo custo.

(Williams & Wool, 2000)

Este estudo demonstra o desenvolvimento e teste de novos materiais compósitos constituídos por fibras e resinas provenientes de fontes de recursos renováveis. Desenvolvido na Universidade de Delaware, Estados Unidos, foram experienciados novos químicos para originar polímeros rígidos, a partir de óleos vegetais. Os resultados comprovam que os compósitos produzidos através do processo de moldação por transferência de resina, dispõem de um vasto campo de aplicação como, indústria automóvel, mobiliário ou indústria da construção.

(Pinto, 2013)

Neste trabalho, desenvolvido na escola de Engenharia da Universidade do Minho, foi desenvolvido e otimizado um sistema de moldação de aquecimento acelerado, denominado *Rapid Heat Cycle Molding (RHCM)* para aplicação num sistema convencional de moldação por injeção. O sistema de aquecimento escolhido foi a radiação infravermelha, de modo que a temperatura fosse mais elevada, tornando o processo mais eficiente e rápido na etapa de aquecimento do material.

(Oliveira, 2013)

Neste trabalho, foram estudados e desenvolvidos novos materiais de base polimérica, com recurso à tecnologia de moldação por injeção, para a finalidade de conceção de cápsulas. Uma das metodologias adotadas passa por diminuir o impacto ambiental do produto, através do estudo de materiais de origem natural e biodegradáveis. Assim, foi validado um novo material compósito, um novo material biodegradável e também, aumentada a produção de cápsulas na unidade industrial.

CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DOS PROCESSOS E DOS PROBLEMAS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DOS PROCESSOS E DOS PROBLEMAS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Este trabalho foi desenvolvido numa empresa pertencente à indústria corticeira, com cerca de 58 anos de experiência, cuja missão passa por acrescentar valor à cortiça, através do desenvolvimento de soluções de compósitos sustentáveis para múltiplas aplicações, localizada na zona de Stª Maria da Feira. Este programa teve duração de 8 meses, desde outubro de 2020 até maio de 2021, na qual a estrutura organizacional da empresa se encontra representada na Figura 15, sendo que o estágio decorreu na área de Inovação e Desenvolvimento, mais propriamente na fábrica piloto da empresa.

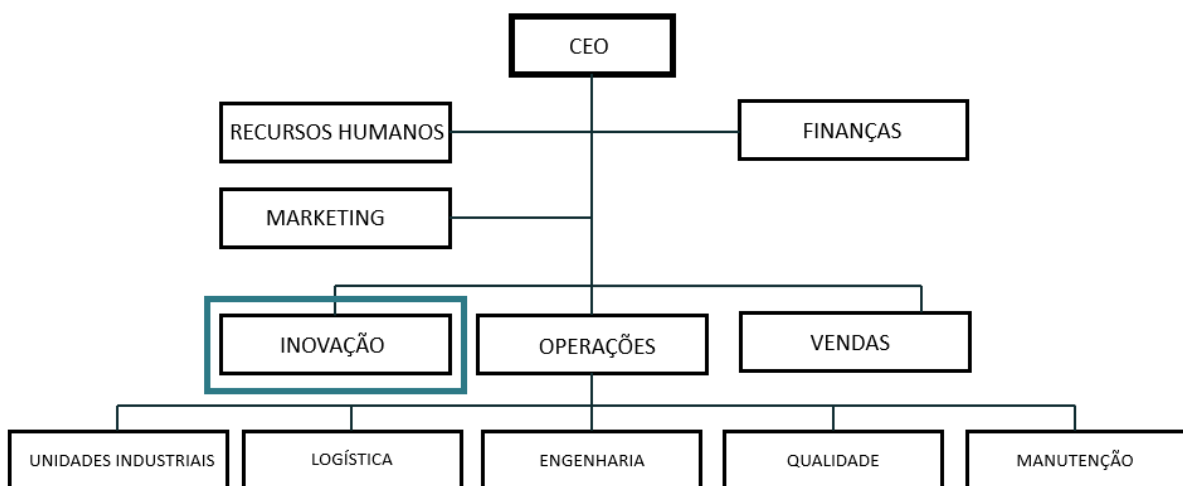


Figura 15 - Estrutura organizacional da empresa

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS

Sendo este um processo recente e em estudo na empresa, a prioridade deste trabalho assenta na definição e clarificação desta nova tecnologia, de forma a tornar viável uma aposta futura na industrialização.

O processo atual existente na empresa para moldação de cortiça por compressão destaca-se por apresentar uma capacidade e flexibilidade reduzida, uma vez que a prensa hidráulica que a empresa possui (ver Figura 16) serve simultaneamente para a realização de experiências de desenvolvimento e produção de peças protótipo, mas também para o cumprimento de algumas encomendas de produções piloto.

Torna-se assim mais complicado conjugar os projetos em desenvolvimento com produções pontuais que vão surgindo, além deste equipamento não possuir ainda o nível de automatização necessário para lidar com grandes produções em contínuo, o que implica um maior esforço por parte dos operadores alocados e um alongamento no tempo de entrega das encomendas.



Figura 16 - Prensa Hidráulica

Para o caso da produção de peças protótipo, são definidas através da realização de vários testes, quais as especificações do produto e processo, isto é, os parâmetros de trabalho ideais e a composição dos materiais a usar, de forma a validar os testes e conseguir realizar a produção para lançamento e comercialização do produto. Como prática habitual, em fase de testes, todas as formulações que sejam submetidas a experiências e ensaios na prensa serão registadas num documento próprio (Figura 17) da empresa, para que seja possível aceder a todas as versões de modificações efetuadas ao longo da fase de desenvolvimento.

Ref: Data:

Objectivo

Densidade Kg/m3

Composição:

Código MP	Produtos	Quantidade		1000
		Partes	%	Lab (g)
	BD 05/1	50,0	37,6	
	MF5	50,0	37,6	
	Voramex AG232	28,0	21,1	
	Anilina verde	5,0	3,8	
	Catalisador DABCO 4			
	Total	133,0	100	

Figura 17 - Documento para formulações

Numa formulação para os aglomerados moldados, geralmente são consideradas duas partes: o granulado de cortiça como um todo e o agente ligante, assim como a resina que efetuará a ligação entre os diferentes grânulos durante a mistura do material, sendo esta definida em função da quantidade de cortiça previamente estabelecida.

Toda a formulação está sujeita a alterações ou ajustes de quantidades à medida que forem produzidas e testadas novas peças protótipo, mediante o comportamento ou aspeto destas, bem como os parâmetros de temperatura ou tempo de prensagem, sendo estes, inevitavelmente, uma das principais dificuldades enfrentadas durante a fase de prototipagem, relacionados com a previsão do comportamento do material no momento da prensagem e densificação do mesmo a temperaturas elevadas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A capacidade atual do equipamento limita bastante as atividades que o departamento pretende colocar em prática, como é o caso de projetos em desenvolvimento e produções efetivas, o que levou à necessidade de pensar numa forma de automatização para o processo atual e, em paralelo, estudar uma tecnologia de moldação contínua que apresentasse capacidade de resposta para uma futura procura prevista, e conseguisse suportar a forma geométrica da peça moldada.

Neste trabalho será possível estudar e identificar todos os problemas que limitam a capacidade e potencial deste processo, otimizando os procedimentos em certas atividades críticas, e ainda a utilização dos recursos, tirando o maior proveito da capacidade da máquina e da matéria-prima capaz de ser usada para baixar o custo de operação final.

Assim, alguns dos problemas que foram identificados numa fase inicial, foram:

Tabela 8 - Identificação dos Problemas

Categoria	Problema	Descrição
Peças moldadas	Controlo dos parâmetros de processamento	Instabilidade no comportamento das peças após prensagem.
Automatização do processo	Alimentação e extração de peças moldadas	Inexistência de ferramenta ou utensílio que auxilie na alimentação da mistura (cola e cortiça) aos moldes e na extração das peças finais.
Aquecimento dos moldes	Otimização da transferência de calor	Fraco isolamento térmico no aquecimento dos moldes acarreta perdas energéticas e, consequentemente, gastos acumulados.
Custeio	Ferramenta para custeio de projetos de peças moldadas	Inexistência de ferramenta para cálculo de custos do processo.

DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 TEMPESTADE DE IDEIAS (BRAINSTORMING)

4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE

4.3 MELHORIAS E PROPOSTAS IMPLEMENTADAS

4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1 TEMPESTADE DE IDEIAS (*BRAINSTORMING*)

De forma a entender quais seriam realmente os pontos passíveis de ser otimizados no que respeita à tecnologia e ao processo na íntegra, foram acompanhadas algumas produções piloto, estabelecendo proximidade e comunicação com os operadores que se encontravam alocados no momento e, dada a experiência dos mesmos, conseguir gerar um maior número de ideias não só através de palavras, mas também com recurso a desenhos e esboços representativos, de forma a surgir um maior número de ideias.

Além do acompanhamento das produções piloto, foi possível reunir e discutir frequentemente com a equipa e ainda com o departamento de engenharia, explorando diversas alternativas com a possibilidade de experimentação de algumas ideias com recurso a construção de esboços, desenhos e protótipos. Tal como a ferramenta *Brainstorming* sugere, durante esta fase inicial foi importante estimular a criatividade e obter o máximo de informação relativa ao processo, na busca de soluções para determinados problemas.

Havendo a possibilidade, durante o estágio, de efetuar algumas experiências de prototipagem e, sendo este um dos objetivos do estágio curricular, foram recolhidos dados e testemunhos do processo e das suas limitações enquanto tecnologia experimental, de forma a serem analisados e discutidos em reuniões frequentes com o departamento de engenharia e com o gabinete de gestão de projetos do departamento de inovação.

Aqui foi possível discutir a evolução dos projetos, os requisitos futuros relativamente à tecnologia para produção em escala, e quais as possibilidades de matéria-prima a usar, de forma a estudar um processo em contínuo e rentável para a empresa.

Com base no princípio de “quantas mais ideias, melhor” ao envolver um maior número de pessoas, com diferentes funções no departamento, através de desenhos e construções, foi mais fácil alcançar as ideias para uma tecnologia de maior capacidade produtiva, que conseguisse responder às produções previstas futuramente em diversos campos de aplicação, dando uso a diferentes matérias-primas alternativas com o objetivo de baixar a densidade do material e, conseqüentemente, o custo final das peças, preservando o visual da cortiça.

Neste sentido, nos próximos subcapítulos serão ilustradas as diferentes atividades do fluxo produtivo, demonstrando como se processa cada uma delas e ainda algumas dificuldades presentes em certas operações, que afetam diretamente o desempenho do processo.

4.1.1 PREPARAÇÃO E MISTURA DO MATERIAL

No que diz respeito à preparação do material, este é arranjado conforme as quantidades estabelecidas na respetiva formulação, pesando-se a quantidade de cortiça e a quantidade de resina, sendo depois transportado para a estação de mistura onde, com o auxílio de um misturador vertical (ver Figura 18), todos os elementos serão envolvidos durante dois a três minutos conforme a quantidade de material introduzida, respeitando a ordem e colocando primeiramente o granulado, já com o misturador ligado e a tampa fechada e, só depois de conferir velocidade ao mesmo é introduzido o agente ligante, lentamente, para não criar grumos de cola na mistura final e, conseqüentemente, manchas (defeitos) no produto final. Após terminado o tempo de mistura, ainda com o misturador ligado, é reduzida a velocidade de rotação das pás verticais e aberta a pequena escapatória por onde o material sairá direto para uma caixa (ver Figura 19), e transportado para a prensa de moldação.



Figura 18 – Misturador vertical de matéria-prima



Figura 19 - Caixa de transporte da mistura

4.1.2 AUTOMATIZAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO E EXTRAÇÃO

Posteriormente, na prensa, com o molde devidamente preparado, são conferidos, mais uma vez, os parâmetros de prensagem, como é o caso da temperatura e do tempo de ciclo, através da leitura das informações apresentadas no painel da máquina. O tempo de ciclo irá definir quanto tempo permanecerá o molde fechado a realizar prensagem do material, e é definido aquando da criação da formulação associada ao produto moldado, podendo esta ser ajustada em função dos resultados que vão sendo extraídos à medida que vão sendo produzidas e experienciadas novas peças, tal como referido anteriormente.

Relativamente à temperatura de trabalho, fator importantíssimo no decorrer do processo, também estabelecida na formulação associada, encontra-se apresentada como “Temperatura Superior” e “Temperatura Inferior”, fazendo as leituras da temperatura, respetivamente, da metade superior e inferior do molde com recurso a um termopar que se encontra instalado junto à placa de fixação das metades do molde, enviando as leituras de temperatura para o painel controlador.

A temperatura de trabalho é um parâmetro muito importante e que deve ser respeitado com rigor no processo, para que o produto final esteja conforme o esperado. Não deve ser menor do que o estipulado, porque a peça necessita de curar na totalidade, nem maior, para evitar que a peça moldada queime. Observando uma prensa, foi testemunhada uma variação da temperatura dos moldes que é lida pela sonda que se encontra junto das resistências, e é transmitida para o painel eletrónico (Figura 20), constituindo assim um problema de eficiência térmica no processo, que vai ser dissecado no seguinte capítulo.

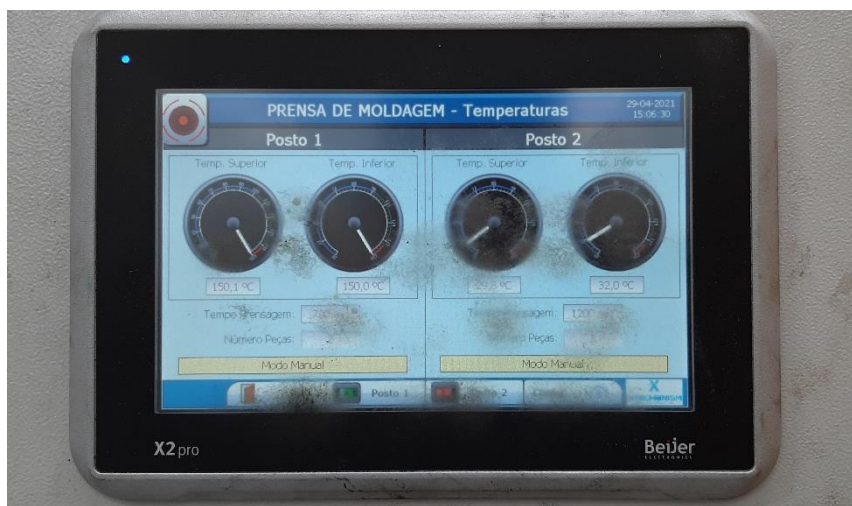


Figura 20 – Painel eletrônico da prensa

Após verificados todos os parâmetros de trabalho, o material que se encontra na caixa de transporte de mistura (Figura 19) é depositado sobre as cavidades do molde diretamente, e espalhado com recurso a uma ferramenta específica, de forma a distribuir grosseira e uniformemente o material nas cavidades do molde, conferindo um resultado semelhante ao da Figura 21. De seguida, já com o molde abastecido de mistura, é pressionado o botão para, automaticamente, a metade inferior do molde recuar, através de um movimento linear, para a posição de prensagem onde a metade superior irá descer e alinhar-se com a inferior, permanecendo nessa posição durante a temperatura de ciclo definida.



Figura 21 - Molde abastecido com mistura

Esta operação gera algumas dificuldades para o utilizador, visto que a mistura é despejada da caixa de transporte para o molde, o que implica ter um certo cuidado e despender algum tempo para que o material fique devidamente distribuído, de forma uniforme, por toda a cavidade do molde e assim, aquando da prensagem, não existam zonas mais densificadas que outras. Este é outro problema característico do processo produtivo e que origina alguns defeitos em peças produzidas.

Após decorrida a prensagem do material, o molde abre automaticamente, por atuação do sistema hidráulico presente na prensa, subindo a metade superior e avançando a metade inferior para o utilizador poder remover as peças com ajuda de uma pistola de ar comprimido, direcionando-a às cavidades do molde caso sejam peças de pequenas dimensões ou, no caso de serem peças com uma secção relativamente grande, é usada uma ventosa que se encontra ligada ao ar comprimido (sucção).

Como por vezes o número de peças a produzir é elevado, ou até no caso de se tratar de certas encomendas pontuais com prazos de entrega estabelecidos, torna-se mais difícil e demorado fazê-lo desta forma, pelo que se tornou necessário estudar sistemas alternativos mais eficientes com aplicações na área, que vão ser mostrados mais à frente.

4.1.3 OTIMIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A forma de fixação dos moldes nos pratos de aquecimento, com as resistências elétricas por debaixo destes últimos, implica um atraso significativo no aquecimento dos moldes. Os pequenos espaços, por onde é possível escapar o calor potencia certas perdas, ainda que residuais, uma vez que nessas aberturas o calor será transferido por convecção e radiação.

Como consequência, a resistência da transferência de calor aumenta, assim como, o tempo de aquecimento necessário.

Um outro aspeto relativo à otimização da eficiência térmica diz respeito à forma como se encontram alojadas as resistências elétricas. Neste sistema de aquecimento, existe um fraco desempenho do isolamento presente no lado contrário ao sentido de transferência de calor, ou seja, na parte inferior das resistências, no caso da Figura 22, onde se pretende aquecer no sentido ascendente.



Figura 22 - Sistema de aquecimento dos moldes

De salientar que o ajuste da temperatura dos moldes, conforme desejado, é realizado através de um controlador que garante sempre a temperatura constante definida previamente, acionando quando a temperatura desce da referência e desligando quando ultrapassa a mesma, sendo esta variação perceptível dada a presença de uma sonda que se encontra entre as duas resistências. Localizado sobre a placa de aquecimento de cada molde, este transmite a temperatura, em tempo real, ainda que seja esta uma temperatura aproximada do molde, pois a temperatura não é lida neste último, mas sim, na parte oposta dos pratos.

Este sistema atual obriga a que o calor tenha de atravessar o espesso prato e só depois chegue ao molde, sendo despendido bastante tempo até que o núcleo do molde atinga as temperaturas desejadas, apesar de ser todo ele em Alumínio.

4.1.4 ELIMINAÇÃO DA REBARBA EXCEDENTE

É importante garantir que, a quantidade de material adicionada ao molde foi pesada previamente para que não seja adicionada matéria em excesso, interferindo com o processo e com a qualidade da peça final.

Para isso é preciso haver precisão e cuidado extras na elaboração e definição das especificações da peça, sendo que, para o volume da peça dimensionado na caixa de enchimento do molde, poderá haver uma maior densificação do material consoante a quantidade de material adicionado e a tipologia de granulado que é usado no processo.

Todos estes conceitos devem ser estudados e analisados de forma a obter-se uma peça adequadamente densa, que cumpra todos os requisitos impostos, sendo isto apenas validado através de sucessivas experimentações e testes práticos. Logo à partida, os dados a ter em conta serão:

- Volume da peça a produzir;
- Massa volúmica requerida para a peça final;
- Massa volúmica inicial do granulado de cortiça.

Com esta informação, é possível estimar qual será o volume inicial, ou seja, o volume da cavidade de enchimento do molde que será alimentada com a mistura antes da prensagem, não invalidando posteriores correções ou ajustes a nível da quantidade de matéria, partindo das seguintes equações:

$$massa_{inicial} = massa_{final} \quad (1)$$

Sabendo que:

$$\rho = \frac{massa}{volume} \quad (2)$$

Vem que:

$$\rho_{inicial} \times V_{inicial} = \rho_{final} \times V_{final} \quad (3)$$

Assim, realizando o correto enchimento volumétrico das cavidades, ao decorrer a prensagem do material, por muita precisão que exista no emprego de moldes positivos, irá resultar sempre em matéria excedente que é expulsa no sentido ascendente (Figura 23 e Figura 24). Este excesso é expulso por um espaço altamente estreito entre o macho da metade superior e as paredes da metade inferior, não sendo esta submetida à pressão de compressão e, no final, ao ser obtida a peça moldada, irá apresentar ao longo da superfície de partição um excesso de material chamado de rebarba.

Este fenómeno é uma consequência do processo, pelo que se tornou urgente pensar em como contornar este tipo de imperfeições nas peças, para aplicar em futuras produções piloto.

Nas próximas figuras, é possível observar o efeito que a rebarba tem na peça final, motivo pela qual surgiu a necessidade de trabalhar na geometria das peças.



Figura 23 - Rebarba em peças de várias geometrias



Figura 24 - Rebarba em peça de geometria circular

4.1.5 PREVISÃO DA DENSIDADE FINAL NAS PEÇAS MOLDADAS

Relativamente ao comportamento das peças durante o processo de moldação, pode-se afirmar que se trata de um fenómeno difícil de prever, no sentido em que existem vários fatores que impactam diretamente com a estabilidade das peças, tornando mais difícil conseguir prever qual será a distribuição de densidade que as peças apresentarão no final da prensagem e, para isso, foi necessário investigar no sentido de apurar, juntamente com a equipa do departamento, quais os aspetos mais sensíveis durante a atividade de prensagem a quente.

Claramente, o tipo de problemas identificados encontra-se relacionado com os parâmetros de trabalho, como por exemplo: temperatura, tempo de prensagem, quantidade e densidade do material adicionado, ou ainda o nível de humidade presente no granulado, tendo sido realizada produção e ensaio de peças protótipo, com base em diferentes formulações.

Foi avaliado, juntamente com a equipa, o comportamento das peças perante diferentes valores dos parâmetros de trabalho, de modo a antecipar a reação das peças dentro dos moldes, envolvendo ao máximo a equipa técnica do departamento que teve um papel fundamental na influência e sugestão de ideias para desenvolver soluções criativas, afastando-as dos problemas e obstáculos (Figura 25 a Figura 27).



Figura 25 - Protótipo nº 1



Figura 26 - Protótipo nº 2



Figura 27 - Protótipo nº 3

4.1.6 FERRAMENTA DE CUSTEIO PARA O PROCESSO DE MOLDAÇÃO

Atualmente, o departamento possui um ficheiro muito incompleto e pouco realista daquilo que são os custos inerentes ao processo de fabrico e, face à existência de vários projetos simultaneamente em desenvolvimento, uns mais avançados que outros, surgiu a necessidade de criar uma ferramenta onde fosse possível reunir toda a informação relevante relacionada com o projeto, desde os materiais que são usados na conceção do produto e os seus custos, a previsão dos custos de operação no processamento do mesmo, bem como a amortização dos investimentos efetuados numa fase inicial, contabilizada no custo unitário, de forma a obter um custo total por peça produzida, onde fosse claro quais as etapas mais dispendiosas ao longo do processo de fabrico, possíveis de ser trabalhadas no sentido de minimizar o custo final. Neste sentido, um dos objetivos deste projeto passou pela criação de uma ferramenta de controlo do custeio, onde fosse possível reunir toda a informação relativa ao projeto, mais propriamente no que diz respeito ao processo produtivo e custos correspondentes.

A necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta de custeio surge com a intenção de ser possível reunir toda a informação, vinda de diversas áreas, num só sítio, de fácil acesso e alteração, tornando o ficheiro mais detalhado e o custo final apresentado seja o mais completo e preciso possível perante as modificações que vão sendo realizadas à medida que o projeto vai evoluindo na fase de desenvolvimento.

Para isso, para a elaboração deste custeio, é fundamental existir um plano de produção validado no qual sejam conhecidas as capacidades produtivas, adaptadas à procura prevista, e as restrições (humanas e de capital) do mesmo, descrevendo todos os custos diretos e indiretos ao pormenor, bem como a amortização dos investimentos realizados.

Esta ferramenta surge com o intuito de conseguir estimar custos diretos e indiretos do processo produtivo das peças moldadas, e assim estipular um preço de venda final onde estará incluída uma margem interna.

4.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Todas as ideias e novos conceitos que foram surgindo ao longo do trabalho necessitam de ser analisados, e para isso foi construída uma tabela síntese onde são descritos os pontos fracos e oportunidades a retirar de cada um, resultando a seguinte tabela:

Tabela 9 - Análise de Viabilidade

Ideia	Pontos Fracos	Oportunidades
Automatização do Processo	A necessidade de tornar o processo mais sistemático, surge do facto de nas diferentes atividades inerentes ao processo haver uma crescente dificuldade por parte dos utilizadores da prensa em realizar as devidas funções, como é o caso da alimentação do material nos moldes ser realizada de uma forma básica e morosa, o mesmo acontecendo na extração das peças onde não existe uma ferramenta que auxilie na função.	<ul style="list-style-type: none"> • Economia do tempo; • Economia dos recursos humanos; • Menor desperdício de material; • Menor esforço por parte dos utilizadores; • Menos tempo despendido entre as atividades; • Maior flexibilidade; • Entre outras oportunidades.
Otimização da transferência de calor	<p>O sistema de aquecimento da prensa gera perdas térmicas, facilmente evitáveis, constituindo um processo moroso para aquecimento dos moldes e exigindo um maior esforço por parte das resistências elétricas.</p> <p>As perdas térmicas despoletam oscilações nas temperaturas de trabalho, o que influenciará na cura da peça moldada, podendo originar peças defeituosas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calor aplicado diretamente nos moldes; • Redução de perdas energéticas; • Aquecimento mais eficaz; • Redução do tempo de <i>setup</i> da máquina.
Eliminação de Rebarba	Sendo esta uma consequência do processo, surge a necessidade de trabalhar na geometria e desenho das peças, bem como, no formato dos moldes, evitando ao máximo a criação da matéria excedente.	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor aparência das peças moldadas.

Ferramenta de Custeio

Sendo este um processo novo, com várias frentes de trabalho, desde a matéria-prima à automatização do processo perante vários projetos em simultâneo, torna-se indispensável a criação de um ficheiro que organize todos os custos de cada projeto associado ao processo de moldação por compressão.

- Organização dos custos associados a cada processo;
- Melhoria do fluxo de informação;
- Ferramenta bastante útil e facilmente atingível.

4.3 MELHORIAS E PROPOSTAS IMPLEMENTADAS

4.3.1 PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO

Tal como foi referido anteriormente, um dos principais problemas deste processo de fabrico prende-se com a alimentação da mistura de material nos moldes e a subsequente extração das peças moldadas, onde numa fase inicial, os moldes eram alimentados pelos utilizadores, de forma manual, despejando a mistura a partir de caixas diretamente para o molde ou com recurso a copos de plástico, pelo que foi necessário auxiliar a empresa na modelação de um sistema de alimentação autónomo, capaz de realizar um movimento linear, em que é percorrida a prensa desde a parte das traseiras até à parte da frente, passando pelo molde em questão e expulsando o material, de forma a realizar um enchimento volumétrico das cavidades do molde em questão.

O modelo desenhado encontra-se apresentado na Figura 29 e foi construído com o auxílio do *Software* de Modelação 3D *Solidworks*®, sendo que, numa fase inicial, foi ainda realizado um esboço à mão da prensa hidráulica (Figura 28) para melhor compreender todo o seu funcionamento.

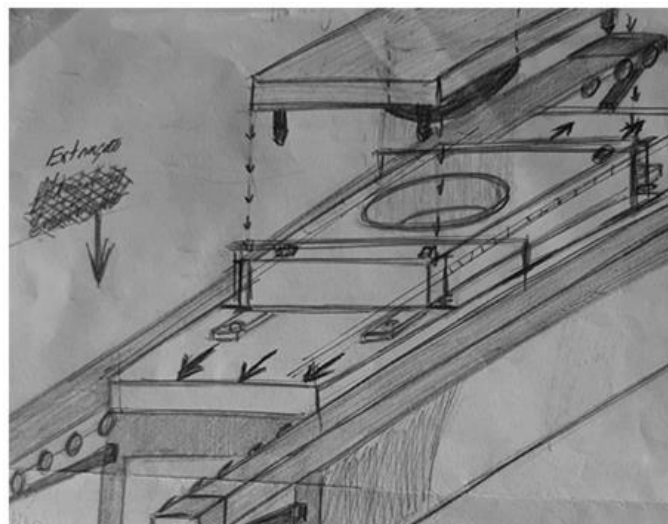


Figura 28 - Esboço Inicial da Prensa

Seguidamente, após recorrer à empresa externa, foram-lhes fornecidos ainda desenhos técnicos do equipamento construído com as cotas de atravancamento necessárias, tal como é exibido na figura seguinte, para que fosse enviada uma contraproposta por parte da empresa, mais trabalhada.

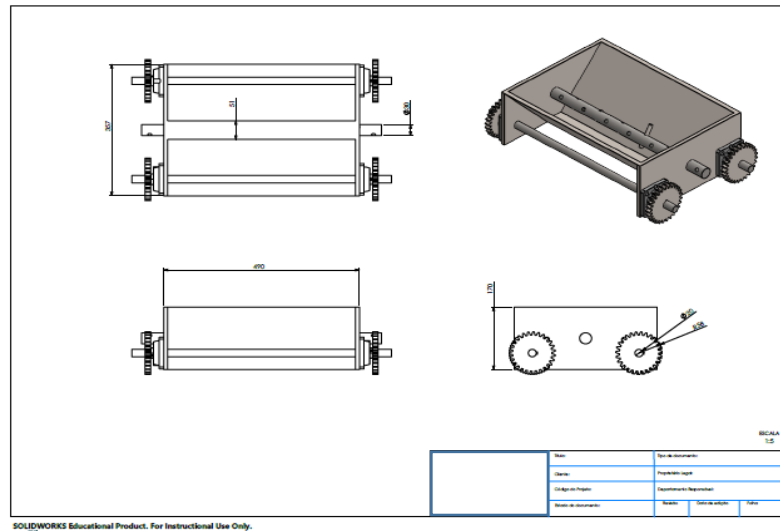


Figura 31 – Proposta Inicial para Sistema de Alimentação

Após várias reuniões e troca de informação com a empresa externa foi possível obter uma proposta final de um sistema automatizado possível de ser integrado na prensa hidráulica.

Consiste este sistema numa simples estrutura composta por uma Moega que irá transportar o material, para enchimento dos moldes, à medida que o material vai sendo misturado com recurso a um veio central que realiza a quebra do produto.

O movimento é conferido à moega através de uma corrente, acionada por um motoredutor de 0,55 kW, que se encontra fixa em quatro pinhões assentes em mancais de duplo rolamento.

Este sistema (Figura 32) possui ainda um sistema de sensores que irá limitar o movimento de avanço e recuo durante a etapa.

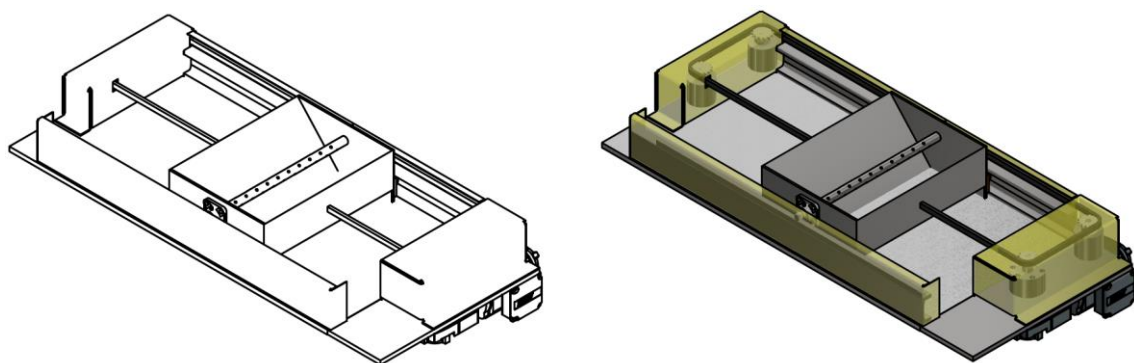


Figura 32 - Proposta Final para Sistema de Alimentação

Numa segunda instância, foi ainda trabalhada a parte de extração das peças moldadas obtidas no fim do processo, dado que não existia nenhum mecanismo próprio para o efeito e todas as peças, independentemente da forma geométrica, eram retiradas com recurso a uma pistola de ar comprimido.

Esta ferramenta não revelou ser muito eficaz e muitas vezes nem era possível retirar as peças desta forma, sendo necessário usar ferramentas nas laterais da cavidade do molde, provocando danos no *teflon*[®] e, mesmo assim, nem sempre era bem-sucedido, tornando-se urgente estudar um novo conceito onde fosse possível extrair várias peças em simultâneo.

Assim, foram estudadas várias opções de sistemas eficazes e, pesquisadas várias aplicações semelhantes, tendo-se chegado a alguns consensos, após o debate de várias ideias, de possíveis modelos aplicáveis ao caso prático. Na Tabela 10 encontram-se listadas as soluções pensadas e as suas vantagens e inconvenientes:

Tabela 10 - Soluções para extração das peças

Ideia	Descrição	Vantagem	Inconveniente
Remoção punção	com Aqui, o objetivo passa por, findo o tempo de prensagem, com a atuação de um punção, as peças saírem pela parte inferior do molde.	Sendo a força aplicada no sentido descendente, isto ajudará na remoção das peças, fazendo com que estas caiam todas de uma só vez.	Exige um custo extra no fabrico dos moldes, pois estes necessitariam de uma abertura na parte inferior que abrisse na altura de atuação do punção, e dada a diversidade de formas geométricas, isto iria prejudicar a prensagem.
Remoção ventosas sucção	com de As peças são removidas através de um sistema de vácuo que realiza a sucção das mesmas no sentido ascendente.	Evita gastos adicionais no trabalho do molde e pode ser ajustável e facilmente manipulado, consoante a dimensão do molde.	Alguma imprecisão na altura de sucção, para geometrias mais pequenas, ou quando se está perante peças com maior número de impurezas fazendo escapar o vácuo. Força de sucção necessária engloba a força da peça e a força necessária para deslocar a peça das paredes do molde, devido à presença do agente ligante.

Neste sentido, a solução mais exequível foi a de remoção com ventosas de sucção, pelo que foi projetado um modelo de um sistema autónomo de remoção de peças para uma tipologia de molde, neste caso o mais problemático no sentido da existência de várias geometrias, diferentes cotas e, conseqüentemente, diferentes caixas de enchimento, como é perceptível nas imagens das Figuras 33 e 34:



Figura 33 - Molde de Ensaio

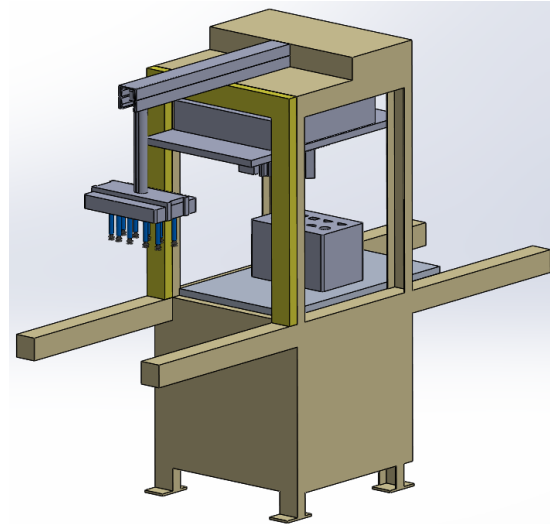


Figura 34 - Sistema de extração autônomo

Assim, com recurso mais uma vez ao *software* de modelação 3D *Solidworks*[®], foi possível projetar uma solução que fosse de encontro às necessidades do processo e, para tal, foi desenhado um modelo aplicado ao caso prático, de forma a estudar as dimensões e cotas de atravancamento do sistema, como é apresentado na Figura 34.

Este sistema de ventosas por sucção teve a possibilidade de ser parcialmente testado na fábrica piloto, com o auxílio de uma bomba de vácuo que, ligado à rede de ar comprimido, estabelecia o vácuo necessário, e este era distribuído para diferentes canais alinhados com a face de cada peça.

Através da seleção deste sistema, foi dimensionado o sistema de ventosas utilizadas para retirar as peças do molde e transportá-las para um local próprio, assumindo para efeito de cálculo um caso de carga vertical onde as equações necessárias são as apresentadas na Tabela 11, e o caso de um molde de grandes dimensões de 100 cavidades, para um sistema de 50 ventosas.

Tabela 11 - Cálculos para dimensionamento das ventosas

Descrição	Equação
Força Teórica de Retenção - F_{tr}	$F_{tr} = m \times g + a \times S$ (4)
Força de Sucção - F_s	$F_s = \frac{F_{tr}}{n}$ (5)

Taxa de Sucção do Gerador a vácuo - V

$$V = n \times V_s \quad (6)$$

Onde:

F_{tr} é a força teórica de retenção [N]

m é o peso da peça [kg]

g é a aceleração da gravidade [m/s^2]

a é a aceleração do sistema [m/s^2]

S é o fator de segurança

F_s é força de sucção [N]

n é o número de ventosas

V é a taxa de sucção [m^3/h , l/min]

V_s é a capacidade de sucção [m^3/h , l/min]



Figura 35 - Molde de grandes dimensões de peças cúbicas

Tendo em conta o molde de 100 cavidades da Figura 35, foi pensado um sistema mais fácil de operar por parte do utilizador, optando-se por uma estrutura de 50 ventosas no total, obrigando a duas retiradas seguidas das peças.

Tabela 12 - Resultados do dimensionamento das ventosas

Equação	Variáveis	Resultado
(4)	$m = 20 \text{ g}$ $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ $a = 0,01 \text{ m/s}^2$ $S = 2 \text{ (peças porosas)}$	$F_{tr} = 0,39 \text{ N}$
(5)	$F_{tr} = 0,39 \text{ N}$ $n = 50$	$F_s = 19,5 \text{ N}$
(6)	$n = 50$ $V_s = 8,3 \text{ l/min (Anexo O)}$	$V = 415 \text{ l/min}$

A partir da força de sucção, foi possível selecionar qual a ventosa ideal, presente no catálogo do fornecedor, para efetuar testes nas peças, bem como selecionar a bomba de vácuo ideal consoante a taxa de sucção necessária para o sistema de 50 ventosas.

A seleção das ventosas tem de ter em conta as condições de funcionamento, como é o caso da temperatura de trabalho dentro do molde, número de turnos, tempo de funcionamento e os ambientes químicos e tipo de material e superfícies em contacto (lisas, rugosas, frágeis ou oleosas).

A geometria da peça é dos fatores mais críticos, tendo-se optado por uma ventosa adequada à geometria da superfície (ventosa plana) da marca *Piab*, através dos representantes *Teclena*, em Portugal, cujos modelos são os F15 FCM (Figura 37) e F20 e uma bomba de vácuo adequada (Figura 36), tendo em conta a taxa de sucção (415 l/min) a uma pressão de trabalho de 100 bar (Teclena, 2021).

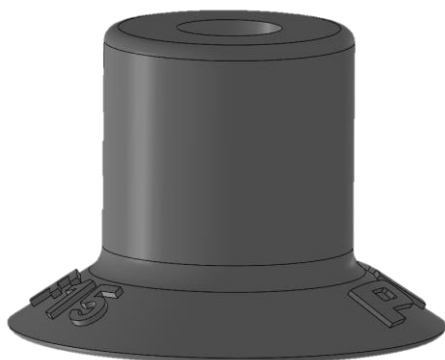


Figura 37 - Ventosa F15 silicone FCM



Figura 36 - Bomba de vácuo piab

4.3.2 OTIMIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Um outro problema surge associado ao fenómeno de transferência de calor que ocorre ao longo do processo, isto é, o calor que é fornecido por parte das resistências elétricas ao molde e, por conseguinte, fornecido ao material, garantindo a sua cura total durante o tempo de prensagem, criando-se aqui um importante balanço entre estas três variáveis: tempo, temperatura e pressão.

Os moldes utilizados pela empresa, fabricados por maquinagem direta numa empresa fornecedora, são constituídos por alumínio e ainda revestidos superficialmente com *teflon*[®], para que estes consigam alcançar propriedades antiaderentes e anticorrosivas, aumentando também a sua durabilidade e facilidade de desmoldagem, especialmente devido à presença de agente ligante na mistura, principalmente quando estamos perante moldes de grandes dimensões, de espessura considerável.

O tempo que estes levam a atingir a temperatura desejada é sempre mais elevado do que no caso de moldes de baixa espessura, além de que, no caso dos moldes maiores, o sistema de fixação é diferente, apresentando-se fixo sobre duas chapas compridas, uma de cada lado do molde, de espessura de 10 mm, que aparafusam diretamente na chapa base de suporte do molde, ao invés de estarem simplesmente dispostos sobre estas bases, dado as suas dimensões, pelo que o aspeto é o apresentado na Figura 38.



Figura 38 - Fixação de moldes de grandes dimensões

Todos estes aspetos contribuem para uma transferência de calor pouco direta no molde, constituindo potenciais pontos de perda calorífica, e contribuindo para um aquecimento pouco preciso, originando uma cura incompleta e ainda uma instabilidade dimensional na peça final, como é perceptível na imagem anterior. As aberturas existentes na parte inferior do molde aumentam a área do molde em contacto com o ar, dificultando a transferência de calor até à superfície onde se dá a cura do material. Seguidamente, será apresentado o esquema de aquecimento inicial da prensa (ver Figura 37) que foi estudado.

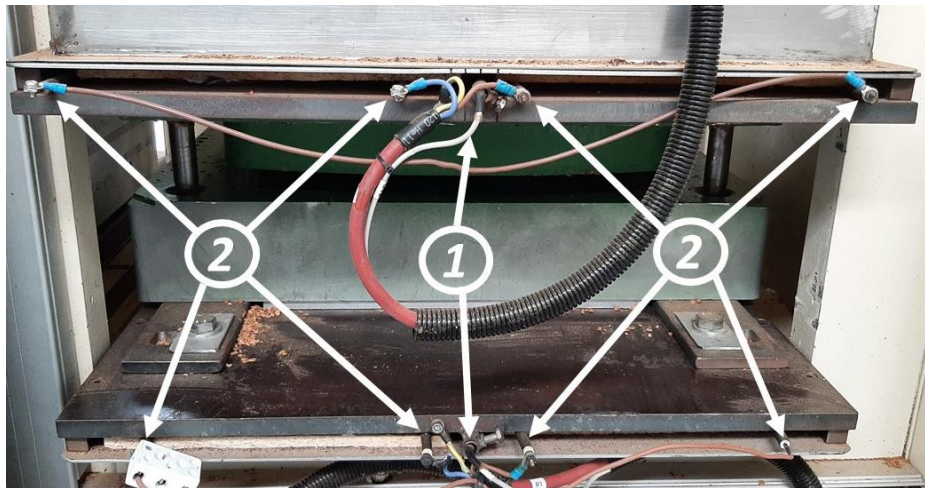


Figura 39 - Sistema de aquecimento da prensa (1 - Sonda; 2 – Resistências Elétricas)

Este sistema de aquecimento existente na prensa hidráulica da fábrica piloto implica que o calor gerado pelas resistências seja conduzido através do prato, passando deste para o molde, iniciando assim o aquecimento deste último, para a cortiça ser imediatamente aquecida, sendo esta energia essencial e não constituindo assim uma perda. Porém, depois de atingida a temperatura de trabalho, qualquer energia usada para manter a temperatura no nível desejado é considerada uma perda, com exceção daquela que é transmitida diretamente à cortiça.

Com o intuito de quantificar as perdas energéticas com base nos diferentes fenômenos de transferência de calor, foi utilizada como exemplo uma das tipologias de molde e o respetivo prato de fixação, para efeito dos cálculos teóricos, cujas dimensões são as seguintes (Tabela 13):

Tabela 13 - Dimensões do molde e prato de fixação

	Comprimento [mm]	Largura [mm]	Altura [mm]
Meio Molde [Inferior]	500	600	160
Meio Molde [Superior]	500	600	30
Prato de Fixação	900	700	15

Tabela 14 - Propriedades do ar

	T [°C]	ρ [kg/m ³]	c_p [kJ/kg.K]	k [W.m ⁻¹ .k ⁻¹]	ν [m ² .s ⁻¹]	B	Pr	g
Valor	55	1,076	1,14	$2,77 \times 10^{-2}$	$1,80 \times 10^{-5}$	$3,07 \times 10^{-3}$	0,708	9,81

4.3.2.1 CÁLCULO TEÓRICO DE PERDAS

Para a realização dos cálculos teóricos de forma mais automatizada, foi utilizada uma folha de cálculo do *Microsoft Excel*[®], de forma a economizar tempo no cálculo da energia perdida, tendo em consideração todos os fenómenos de transferência de calor.

Para o caso do fenómeno de transferência de calor por condução, este resume-se ao transporte molecular de calor quando existe um gradiente de temperatura, o que irá resultar num movimento de energia da temperatura mais elevada para a temperatura mais baixa, seja esta através de um meio sólido ou fluido em repouso.

A equação essencial da transferência de calor por condução, de nome Equação ou Lei de Fourier, está descrita na equação 7.

$$q''_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (7)$$

Onde:

q''_x é o fluxo de calor [$W \cdot m^{-2}$]

k é a condutividade térmica do material [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

$\frac{\partial T}{\partial x}$ é a variação da temperatura em ordem à espessura [$K \cdot m^{-1}$]

Neste sentido, quando se pretende conhecer a potência de calor que atravessa uma secção de um sólido e se conhece o fluxo de calor que passa por esta secção, utiliza-se a seguinte equação:

$$q_x = q''_x \times A \quad (8)$$

Onde:

q_x é a potência calorífica [W]

A é a área de secção [m^2]

Assim, considerando o caso da transferência por condução monodimensional, com temperaturas constantes em dois pontos, é possível determinar a troca de calor a partir da equação 9:

$$q = -k \times A \times \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (9)$$

Onde:

q é o calor transferido [W]

k é a condutividade térmica do material [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

A é a área de secção [m^2]

T_i é a temperatura na superfície i [K] ou [$^{\circ}C$]

L é a distância entre os dois pontos [m]

Conhecendo ainda o conceito de resistência térmica, que analisa para regimes constantes e monodimensionais a dificuldade do calor em atravessar uma dada secção, ou seja, quanto maior essa resistência, mais dificuldade menor o fluxo e vice-versa, a resistência à condução pode ser calculada pela equação seguinte:

$$R_{condução} = \frac{L}{k \times A} \quad (10)$$

Logo,

$$q = \frac{T_2 - T_1}{R_{condução}} \quad (11)$$

Onde:

$R_{condução}$ é a resistência térmica de condução [$K \cdot W^{-1}$]

L é a distância entre os dois pontos [m]

A é a área da secção [m^2]

k é a condutibilidade térmica do material [$W \cdot m^{-1} \cdot k^{-1}$]

T_i é a temperatura na superfície i [K] ou [$^{\circ}C$]

Por outro lado, quando uma superfície está exposta a forças mássicas provocadas por um fluido em movimento a diferentes temperaturas, estamos perante o fenómeno de convecção, de modo que, o fluxo de calor entre a superfície e o fluido pode ser calculado pela equação 12 e a potência calorífica pela equação 13.

$$q'' = h_{conv.} \cdot T_s - T_{\infty} \quad (12)$$

$$q = \bar{h}_{conv.} \times A \times T_s - T_{\infty} \quad (13)$$

Onde:

q''_x é o fluxo de calor [$W \cdot m^{-2}$]

q é a potência calorífica [W]

h_{conv} é o coeficiente de convecção local [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

\bar{h}_{conv} é o coeficiente de convecção médio [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

A é a área da superfície [m^2]

T_∞ é a temperatura ambiente [K] ou [$^\circ C$]

T_s é a temperatura da superfície [K] ou [$^\circ C$]

Como o valor do coeficiente de convecção está dependente das temperaturas da superfície e do ambiente, número de Reynolds, propriedades do fluido ou ainda geometria da peça em estudo, as equações 14, 15 e 16, representam respetivamente, o número de Grashof, o número de Rayley e o número de Nusselt, que serão usados como valores adimensionais para simplificar o uso das equações.

$$Gr_L = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_\infty) \times L^3}{\nu^2} \quad (14)$$

$$Ra_L = Gr_L \times Pr \quad (15)$$

$$\overline{Nu}_L = C \times Ra_{L_{ref}}^m \quad (16)$$

$$h = \frac{Nu \times k}{L} \quad (17)$$

Sendo que,

$$L_{ref} = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}} \quad (18)$$

Onde,

Gr_L é o número de Grashof [-]

Pr é o número de Prandtl [-]

\overline{Nu} é o número de Nusselt médio [-]

Ra_L é o número de Rayley [-]

L é o comprimento característico da superfície [m]

g é a aceleração gravítica [$m \cdot s^{-2}$]

ν é a viscosidade cinemática do fluido [$m^2 \cdot s^{-1}$]

k é a condutibilidade térmica do material [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

h é o coeficiente de convecção local [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

C e m são constantes para o cálculo de Nu e variam consoante o escoamento e orientação da placa [$m^2 \cdot s^{-1}$]

De salientar que para as propriedades do fluido, foi estipulada a temperatura do filme de fluido como a temperatura média entre a temperatura da superfície e a temperatura ambiente (equação 19).

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (19)$$

Onde:

T_∞ é a temperatura ambiente [K] ou [$^\circ C$]

T_s é a temperatura da superfície [K] ou [$^\circ C$]

T_f é a temperatura do filme de fluido [K] ou [$^\circ C$]

Para os cálculos relativos à convecção, não foi considerado o conceito de convecção forçada, isto é, um movimento externo imposto, como por exemplo, a aplicação de ar comprimido no local que se encontra a ser aquecido, por representar uma perda mínima e irrelevante.

Neste sentido, para o caso da convecção natural, no cálculo do valor de Nusselt, existem várias possibilidades, tendo em conta a orientação das superfícies e o escoamento, pelo que as constantes C e m podem tomar diferentes valores e, assumindo o caso prático de estudo onde a placa se encontra no plano horizontal, os valores das constantes para os diferentes escoamentos são os seguintes (Tabela 15):

Tabela 15 - Valores de C e m para cálculo do número de Nusselt para convecção natural

Correlação	Escoamento	L	Condições	C	m
------------	------------	---	-----------	---	---

	Laminar	$\frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}$	$10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$ $Pr \geq 0,7$	0,54	$\frac{1}{4}$
<i>Lloyd e Moran</i>					
	Turbulento	$\frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}$	$10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$ Qualquer Pr	0,15	$\frac{1}{4}$
<i>Radziemska e Lewandowski</i>					
	Laminar	$\frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}}$	$10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$ $Pr \geq 0,7$	0,52	$\frac{1}{5}$

No caso do fenómeno de transferência de calor por radiação, onde não é necessária matéria como meio de transporte da energia, o conceito ideal de um corpo negro é o que serve de padrão comparativo das propriedades radiativas com as superfícies reais, pelo que as suas propriedades são as seguintes:

- Absorve toda a radiação que nele incide;
- A radiação que um corpo negro emite depende de λ (comprimento de onda) e de T (temperatura);
- Para certos valores de λ e T, nenhum corpo emite mais energia que o corpo negro.

Neste sentido, as propriedades radiativas das superfícies reais são: a emissividade ε e os coeficientes de absorção (α), reflexão (ρ) e transmissão (τ) e, o poder emissivo, isto é, potência calorífica emitida por unidade de área, a qual pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E_b = \sigma \times T^4 \quad (20)$$

Onde:

E_b é o poder emissivo de um corpo negro [$W \cdot m^{-2}$]

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$, representa a constante de *Stefan-Boltzman* [$W \cdot m^{-2} \cdot K^4$]

T é a temperatura de superfície [K]

Quando uma radiação incide numa superfície, ela pode ser absorvida pelo corpo, refletida ou pode simplesmente atravessar esse corpo e assim, em conformidade com a lei da conservação da energia, a energia irradiante, ou radiação que incide nessa superfície é igual à soma da radiação absorvida, refletida e transmitida, tal como é apresentado na equação 21.

$$G = G_{\text{refletida}} + G_{\text{absorvida}} + G_{\text{transmitida}} \quad (21)$$

Sendo que,

$$G_{\text{refletida}} = \rho \cdot G \quad (22)$$

$$G_{\text{absorvida}} = \alpha \cdot G \quad (23)$$

$$G_{\text{transmitida}} = \tau \cdot G \quad (24)$$

Assumindo que,

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (25)$$

Onde:

G é a irradiação, ou energia radiante total [$W \cdot m^{-2}$]

$G_{\text{refletida}}$ é o fluxo de radiação refletida [$W \cdot m^{-2}$]

$G_{\text{absorvida}}$ é o fluxo de radiação absorvida [$W \cdot m^{-2}$]

$G_{\text{transmitida}}$ é o fluxo de radiação transmitida [$W \cdot m^{-2}$]

ρ é o coeficiente de reflexão [—]

α é o coeficiente de absorção [—]

τ é o coeficiente de transmissão [—]

No que diz respeito à troca de energia com um volume fechado, o fator de forma “F” representa a fração de radiação que sai de uma determinada superfície para outra, onde F_{i-j} traduz a fração de energia que sai da superfície “i” e atinge a superfície “j”, e pode ser calculado pela equação 26 para o caso de superfícies elementares (Figura 40), pela equação 27, entre uma

superfície elementar e uma superfície finita, ou entre duas superfícies finitas (Figura 41) pela equação 28:

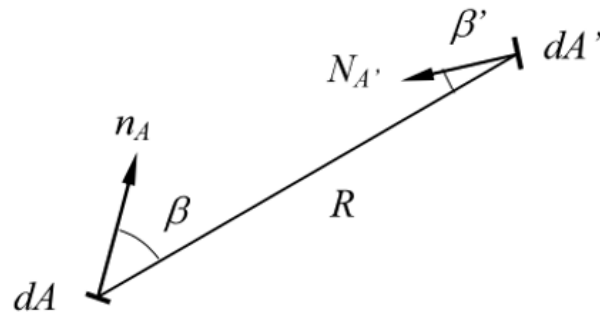


Figura 40 - Cálculo do fator de forma entre superfícies elementares

$$F_{dA-dA'} = \frac{\cos \beta \cdot \cos \beta'}{\pi \cdot R^2} \cdot dA' \quad (26)$$

$$F_{dA-A'} = \int_{A'} \frac{\cos \beta \cdot \cos \beta'}{\pi \cdot R^2} \cdot dA' \quad (27)$$

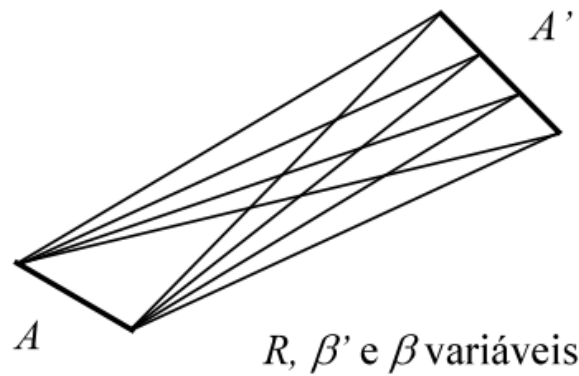


Figura 41 - Cálculo do fator de forma entre superfícies finitas

$$F_{A-A'} = \int_A \int_{A'} \frac{\cos \beta \cdot \cos \beta'}{\pi \cdot R^2} \cdot dA' \quad (28)$$

De forma a simplificar o cálculo, foram consultadas equações para situações específicas de fatores de forma aplicado a geometrias comuns tridimensionais, sendo que estes cálculos

dependem essencialmente da geometria e das orientações das superfícies a analisar, bem como das suas temperaturas e propriedades.

Para isso, foi calculado o fator de forma, grandeza adimensional e geométrica, para situações de superfícies paralelas ou perpendiculares, como é apresentado nas Figuras 42 e 43:

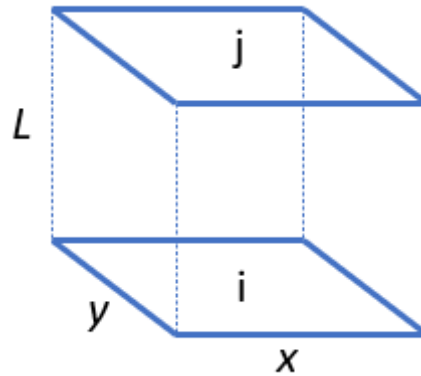


Figura 42 - Orientação de superfícies paralelas

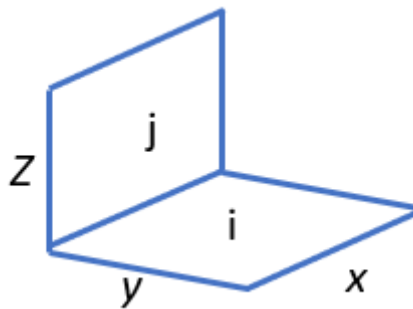


Figura 43 - Orientação de superfícies perpendiculares

No caso da Figura 40:

$$\bar{X} = \frac{x}{L} \quad (29)$$

$$\bar{Y} = \frac{y}{L} \quad (30)$$

Aplicando em:

$$F_{ij} = \frac{2}{\pi XY} \left\{ \begin{aligned} & \ln \left[\frac{(1 + \bar{X}^2) \times (1 + \bar{Y}^2)}{1 + \bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \right]^{1/2} + \bar{X} \cdot (1 + \bar{Y}^2) \times \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{1 + \bar{Y}^2} + \\ & + \bar{Y} \times (1 + \bar{X}^2)^{1/2} \cdot \tan^{-1} \frac{\bar{Y}}{1 + \bar{X}^2} - \bar{X} \cdot \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \cdot \tan^{-1} \bar{Y} \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Já no caso da Figura 41:

$$H = \frac{z}{x} \quad (32)$$

$$W = \frac{y}{x} \quad (33)$$

Aplicando em:

$$F_{ij} = \frac{1}{\pi W} \left\{ \begin{aligned} & W \cdot \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \cdot \tan^{-1} \frac{1}{H} - (H^2 + W^2)^{1/2} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{(H^2 + W^2)^{1/2}} + \\ & + \frac{1}{4} \cdot \ln \left\{ \frac{1 + W^2}{1 + W^2 + H^2} \cdot \frac{1 + H^2}{(1 + W^2) \cdot (W^2 + H^2)} \right\}^{W^2} \times \left\{ \frac{H^2 \cdot (1 + H^2 + W^2)}{(1 + H^2)(H^2 + W^2)} \right\}^{H^2} \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

E por fim, caso seja realizado um estudo sobre um volume fechado com n superfícies, pode-se concluir que:

$$\sum_{j=1}^n F_{1-j} = 1 \quad (35)$$

4.3.2.2 RESULTADOS TEÓRICOS

Posto isto, foi escolhida uma tipologia de molde que estivesse a ser utilizado no momento, para conseguir extrair todos os dados necessários para cálculos das perdas na transferência de calor por condução, convecção e radiação, sendo as características do molde e do prato apresentadas na Tabela 14 e o diagrama de aquecimento apresentado na Figura 44, realizado no *software* CAD *Solidworks*®. No caso das temperaturas, estas foram medidas com recurso a um termopar tipo *J*.

Tabela 16 - Informações sobre o molde e prato de aquecimento

	Prato	Molde [mm]
Comprimento [mm]	900	500
Largura [mm]	700	600
Espessura [mm]	15	190
Emissividade	0,70 ¹	0,25 ¹
Temperatura [°C]	80	98
Temperatura Exterior [°C]		30
Aceleração Gravítica [$m \cdot s^{-2}$]		9,81
Constante <i>Stefan Boltzman</i>		$5,67 \times 10^{-8}$
Tempo de Molde Aberto		10-50%

¹ Valores disponíveis em: <http://www.matweb.com/>
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO DE CORTIÇA POR COMPRESSÃO

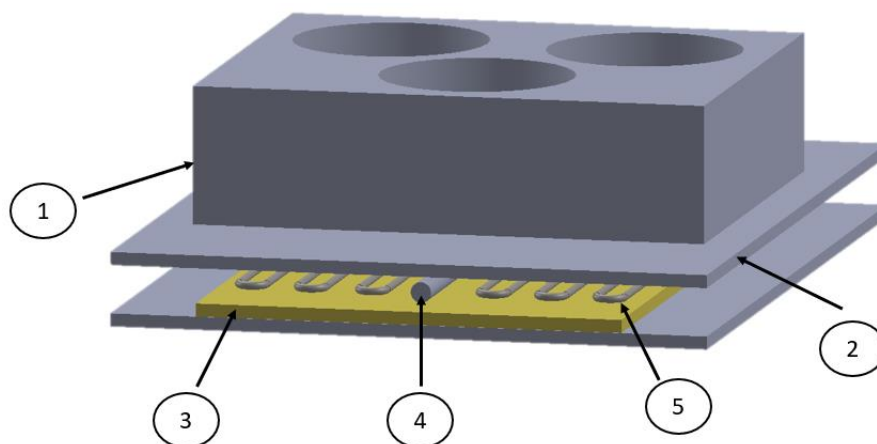


Figura 44 - Diagrama de aquecimento

No diagrama de aquecimento apresentado anteriormente, é possível identificar diferentes elementos, tais como:

- 1- Molde
- 2- Prato de fixação do molde
- 3- Isolamento
- 4- Sonda
- 5- Resistências elétricas

Assim, para o caso da condução, foram realizados os cálculos com base nas fórmulas descritas no capítulo anterior, e a condutividade térmica utilizada para a cortiça foi de $0,0315 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, pelo que os resultados obtidos foram os seguintes (Tabela 17):

Tabela 17 - Perdas por condução no prato de fixação

Parâmetro	Valor
Tipo de Isolamento	Lã de Rocha
$K [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	0,0315
T1 (acima do isolamento) [°C]	51,1
T2 (acima do isolamento) [°C]	80,3
L (acima do isolamento) [mm]	0,010
A (acima do isolamento) [m ²]	0,400
R (acima do isolamento) [K · w ⁻¹]	0,794
Perdas (acima do isolamento) [W]	36,79
T1 (abaixo do isolamento) [°C]	58,7
T2 (abaixo do isolamento) [°C]	80
L (abaixo do isolamento) [mm]	0,010
A (abaixo do isolamento) [m ²]	0,400
R (abaixo do isolamento) [K · w ⁻¹]	0,794
Perdas (abaixo do isolamento) [W]	26,84
Total de Perdas [W]	63,63

No caso das perdas por convecção, o conjunto prato mais molde foi dividido em várias partes, de modo a simplificar o cálculo dos coeficientes de convecção natural, uma vez que, no caso da convecção forçada, que existe, por exemplo, quando o operador dirige o ar comprimido sobre o molde, as perdas são mínimas e irrelevantes e foram assim desprezadas para o caso de estudo. Assim, as localizações relevantes para os cálculos foram: A) Superfície do prato, B) Lateral do molde, C) Lateral do prato, como é possível observar na Figura 45.

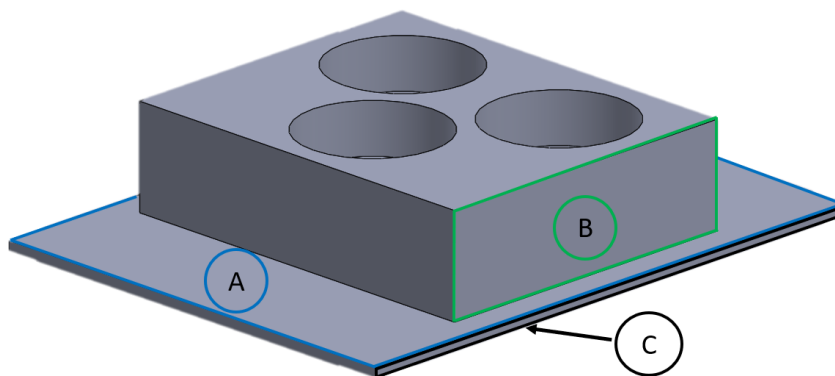


Figura 45 - Divisão do conjunto prato + molde

Deste modo, usando as equações referidas no capítulo anterior, foi possível calcular os coeficientes de convecção para cada metade de molde e o respetivo calor perdido, exibido na Tabela 18.

Tabela 18 - Perdas por convecção

	Superior Prato	Lateral Prato	Lateral Molde
L [mm]	0,196875	0,015	0,115
Gr [-]	3,55E+07	1,57E+04	7,08E+06
Ra [-]	2,51E+07	1,11E+04	5,01E+06
Nu [-]	4,37E+01	5,54E+00	2,55E+01
C [-]	0,15	0,54	0,54
m [-]	0,333	0,25	0,25
h [$W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$]	6,15	10,25	6,16
A [m^2]	0,33	0,054	0,24
Perdas [W]	101,49	27,66	73,88
Perdas Totais [W]		203,03	
L [mm]	0,18	0,015	0,035
Gr [-]	2,71E+07	1,57E+04	1,99E+05
Ra [-]	1,92E+07	1,11E+04	1,41E+05
Nu [-]	4,00E+01	5,54E+00	1,05E+01
C [-]	0,15	0,54	0,54
m [-]	0,333	0,25	0,25
h [$W \cdot m^{-2} \cdot k^{-1}$]	6,15	10,25	8,29
A [m^2]	0,246	0,054	0,06
Perdas [W]	75,66	27,66	24,87
Perdas Totais [W]		128,19	

Relativamente às perdas por radiação, para além das temperaturas medidas, outra parte fundamental tem a ver com o cálculo do fator de forma, discutido no capítulo anterior, entre as superfícies quentes e as que se encontram em redor, e que potenciam uma perda. Assumindo que a área das superfícies quentes é muito inferior à das superfícies exteriores, usando as equações 31 e 34, foi possível estimar o fator de forma entre as várias superfícies, que se encontram esquematizadas no Anexo A.

Os cálculos intermédios do fator de forma encontram-se apresentados nos Anexos B, C, D e, os resultados das perdas encontram-se descritos na Tabela 19.

Tabela 19 – Perdas por radiação

Situação	Superfícies	Emissividade [-]	Área [m ²]	Fator de Forma	T1 [°C]	T2 [°C]	Perda [W]
Molde Fechado	Base Inferior – Base Superior	0,80	0,63	0,1646295	122	114	0,30
	Base Pratos – Laterais do Molde	0,80	0,63	0,0958065	122	85	0,57
	Base Pratos – Ambiente	0,80	0,63	0,1451053	122	25	0,73
Total				1,60 W			
Molde Aberto - Inferior	Base Inferior – Base Superior	0,80	0,63	0,1760631	122	114	0,32
	Base Pratos – Laterais do Molde	0,80	0,63	0,0891836	122	85	0,53
	Base Pratos – Ambiente	0,80	0,63	0,1436854	122	25	0,73
Total				1,57 W			
Molde Aberto - Superior	Base Inferior – Base Superior	0,80	0,63	0,3144343	122	114	0,55
	Base Pratos – Laterais do Molde	0,80	0,63	0,0255910	122	85	0,15
	Base Pratos – Ambiente	0,80	0,63	0,0561423	122	25	0,29
Total				0,99 W			
Total de perdas por Radiação [W]				4,16			

Foi possível concluir deste estudo de perdas pelos diferentes fenómenos de calor (Condução, Convecção e Radiação) que as perdas por convecção representam cerca de 71% do balanço total de perdas caloríficas.

Como forma adicional para estudo das perdas, foi realizado um balanço energético com o intuito de quantificar a energia que está, ao longo do processo, a passar para a cortiça em si, sendo que o restante constitui eventuais perdas caloríficas, não rejeitando eventuais perdas inevitáveis durante o aquecimento.

Este balanço é uma forma alternativa para quantificar as perdas, sem ter de contabilizar todos os fenómenos de transferência de calor discutidos anteriormente, pelo que a fórmula utilizada foi a seguinte:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (36)$$

Onde:

Q é a energia transferida para a cortiça durante o aquecimento [kJ]

m é a massa de material [kg]

c_p é o calor específico da cortiça a 20 °C [kJ/kg·°C]

ΔT é a diferença entre a temperatura de entrada e saída da cortiça [°C]

Devido à variedade nos tamanhos dos grãos, torna-se difícil estimar um valor para o calor específico da cortiça. Porém, segundo alguma bibliografia, foi estipulado para o c_p o valor de 1,8 kJ/kg. °C (Luis Gil, 2007) e para a massa de material, segundo a produção que estava a decorrer no momento, foi definido o valor de 1 quilograma.

Para a medição das temperaturas de entrada da cortiça no molde antes da prensagem e depois da prensagem, foi utilizado um sensor de medição de temperatura do tipo J (ver Figura 44), ainda que seja reconhecido que a temperatura da cortiça não irá estabilizar de forma uniforme durante o tempo de aquecimento, e que a temperatura da superfície da peça, apesar desta apresentar uma espessura relativamente baixa, não irá ser igual à temperatura do núcleo da peça, devido às características naturais do material.

Neste sentido, a temperatura medida na superfície da cortiça à entrada foi de 25°C, pelo que o valor desta na saída foi de 150°C, e desta forma totaliza 225 kJ de energia transferida no processo, o que equivale, durante o tempo de prensagem, a 922 W.

Tendo conhecimento prévio, através de medição no local com um multímetro (Figura 46), que as potências das resistências rondam os 2500 W, através deste balanço energético é possível concluir, grosseiramente, que apenas 38% da energia total fornecida pelas resistências elétricas é aproveitada para o aquecimento, ou seja, é a energia útil.



Figura 46 – Sensor de medição de temperatura

4.3.2.3 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Para contrariar todas as perdas constantes discutidas e calculadas nos capítulos anteriores, tornou-se crucial pensar em alternativas que melhorassem os fenômenos de transferência de calor que se dão ao longo do processo de fabrico, e foram pensadas soluções, como por exemplo, modificar o material isolante, ou a sua espessura, que se encontra junto às resistências elétricas e evitar que o calor se propague na direção oposta à de aquecimento, para o resto da máquina, trabalhando assim na diminuição das perdas por condução. Por outro lado, para diminuir os excessivos valores de perdas por convecção, a melhor resposta passaria por diminuir a diferença de temperatura entre o exterior e o ar interior. Porém, seria necessário vedar ou fechar mesmo a prensa, para criar uma atmosfera controlada e evitar a exposição ao ar em demasia dos moldes. No entanto, isso não é possível, uma vez que o sistema foi desenhado de forma que os moldes possam avançar para o operador poder tirar as peças sem dificuldade e sem perigo e assim, caso isso acontecesse, o operador iria ficar com acesso limitado ou inexistente à prensa.

As perdas associadas à radiação, são na verdade superiores às perdas teóricas calculadas, considerando o tempo que o molde permanece aberto, quando avança até à extração das peças moldadas. Porém, as superfícies do molde não podem ser cobertas com isolante, pois iria afetar o processo, dado que a superfície possui um revestimento de *teflon*[®] cuja função é intensificar a transferência de calor e diminuir a aderência do material.

Assim, foi pensada uma solução que passa por incorporar resistências elétricas mais próximo do molde, para evitar perdas no trajeto do calor desde a parte inferior do prato até ao núcleo do molde. Porém, esta solução acarreta um custo monetário moderado e uma necessidade de realizar modificações nos diferentes moldes.

A solução desenvolvida passa por alojar resistências elétricas de cartucho, com forma tubular, diretamente na parte superior e inferior dos moldes, atingindo-se de forma mais rápida e precisa as temperaturas de trabalho, como é apresentado na Figura 47, o que está em linha com soluções anteriormente encontradas na pultrusão (Silva *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2014).



Figura 47 – Solução proposta

Esta solução implicou a furação de rasgos perfeitos ao longo do molde e do prato de fixação, criando-se assim locais de alojamento para as resistências que se fazem acompanhar também por um isolante de lã, dada a sua baixa condutividade térmica, tornando esta etapa muito mais eficiente.

Devido à duração do estágio, após a instalação deste novo sistema, não houve possibilidade de dar continuidade à solução, no sentido de efetuar novas medições para ser avaliado o impacto da mesma.

4.3.3 DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA ACABAMENTO DE PEÇAS MOLDADAS

No que respeita à peça obtida pelo processo, tal como foi referido no capítulo 4.1.4 – Eliminação da Rebarba Excedente, e como fenómeno natural do processo, a existência de uma matéria excedente em torno da peça foi um ponto trabalhado, no sentido de encontrar qual a causa e assim conseguir contorná-la com sucesso.

Para apurar quais os problemas em jogo, foi realizada uma tabela síntese dos problemas, causas e propostas de ação.

Tabela 20 - Problemas, causas e propostas

Problema	Causa	Proposta
Rebarba	Geometria	Trabalhar a geometria da peça.
Geometria da Peça	Molde	Retificar molde e realizar ajuste de tolerâncias entre a metade inferior e superior, para evitar escape de matéria na prensagem.
Rebarba residual melhorada	Processo	Encontrar uma solução para tratamento superficial. Pós processamento.

Tendo em conta os problemas listados anteriormente, foi trabalhada e simplificada a geometria das peças discutidas no capítulo 4.1.4 de forma que, conseqüentemente, os moldes fossem ajustados, e assim testada a nova geometria das peças, a qual foi discutida previamente com o cliente.

Tabela 21 - Geometria inicial e melhorada

Geometria Inicial	Geometria Modificada
	

O ajuste da geometria passa por substituir os cantos boleados da peça por cantos chanfrados e assim, com esta orientação, a rebarba formava-se de forma mais residual e de forma mais horizontal, facilitando, através de um pós-processamento, o seu tratamento e remoção. Foram ainda realizados ajustes nas outras formas geométricas, com recurso ao *Software* de Modelação 3D *Solidworks*[®], sendo que os desenhos técnicos respetivos se encontram em anexo (Anexo P).

Para lidar com a pequena rebarba ainda existente na geometria melhorada, como é possível observar na tabela anterior, foram pesquisados equipamentos na área dos abrasivos para tratamento deste tipo de peças, pelo que, após contacto com um fornecedor na área, foi possível adquirir um equipamento de abrasão por vibração (ver Figura 48) para realizar testes às peças, tendo o processo sido validado com sucesso.



Figura 48 - Equipamento de abrasão

Tabela 22 - Geometria antes e depois da abrasão

Geometria Modificada s/ Abrasão	Geometria Modificada c/ Abrasão
A fotografia mostra um bloco de cortiça com cantos arredondados e uma superfície com uma textura irregular e fibrosa.	A fotografia mostra um bloco de cortiça com cantos chanfrados e uma superfície que parece mais lisa e uniforme após o processo de abrasão.

4.3.4 DIMENSIONAMENTO DE NOVA PRENSA HIDRÁULICA PARA MOLDADOS

Como foi abordado no capítulo 2.2.1 – “Funcionamento das Prensas de Granulados”, o processo de moldação em contínuo é um sistema com uma elevada capacidade produtiva, dado o seu modo de funcionamento, ainda que, em contrapartida, a flexibilidade geométrica seja muito limitada e reduzida, isto é, para que a automação seja eficaz e funcione, o molde tem de ter uma forma relativamente simples, como por exemplo circular, quadrada ou retangular de forma a facilitar a alimentação automática do material, bem como garantir uma extração das peças que não provoque problemas ao processo.

Por outro lado, a moldação em descontínuo é um processo muito mais flexível e com custos inferiores, pelo que, neste capítulo, é realizada uma análise à resposta de ambos os sistemas perante as necessidades previstas para produção, e aos custos implicados.

Como método de trabalho, primeiramente foram contactadas várias empresas que operam na área e que, ao longo do tempo, foram enviando algumas das propostas de orçamento para sistemas de moldação, que vão de encontro às necessidades discutidas durante as reuniões que foram decorrendo numa fase inicial do projeto.

Estas propostas foram sendo analisadas consoante os cálculos que foram efetuados, e que vão ser acompanhados no próximo subcapítulo e, ao mesmo tempo, foram sendo comparados com a prensa que já se encontrava dentro de portas, de forma a permitir tomar uma decisão final.

4.3.4.1 CÁLCULOS EFETUADOS

A peça moldada que se encontra na base deste projeto, destaca-se por apresentar uma geometria relativamente simples, possível de ser misturada com diversas matérias-primas naturais, misturadas com cortiça, possibilitando no final um custo inferior e um desempenho tão bom ou ainda melhor.

Como ponto de partida para este dimensionamento, foi estipulado um patamar para a densidade do produto moldado, fixado nos 500 kg/m^3 , e que foi usado como valor de referência para os cálculos efetuados mais à frente.

Inicialmente, foi usado o equipamento da Figura 49, um quadro de reação eletromecânico da marca *MTS*, para realizar ensaios de compressão e determinar qual a força necessária a ser aplicada num certo granulado de baixa densidade, existente dentro de portas, para o densificar com o objetivo de atingir 500 kg/m^3 sobre a área experimental apresentada, exibida a seguir.

Através do *software* próprio do equipamento, foi possível obter os valores e gráficos para as forças e pressões aplicadas, que serão discutidos mais à frente.



Figura 49 – Equipamento de compressão



Figura 50 - Compressão da cortiça

Como não era possível colocar diretamente no equipamento a densidade limite desejada para o granulado em causa, foi necessário efetuar cálculos intermédios para estimar qual o deslocamento que o punção teria de ter dentro do volume experimental, até atingir a densidade final pretendida do granulado, assumindo que a massa inicial seria a mesma no fim, ou seja:

$$massa_{inicial} = massa_{final} \quad (37)$$

Da mesma forma que são conhecidos os valores da densidade inicial e final, é também conhecido o valor do volume inicial que corresponde ao volume do copo experimental, que antes do ensaio se encontrava totalmente cheio de granulado, igual a $1,92325 \times 10^{-4} m^3$, sendo que se encontram reunidos os dados para conseguir desenvolver a equação 36, partindo de:

$$\rho = \frac{massa}{volume} \quad (38)$$

Vem que:

$$\rho_{inicial} \times Volume_{inicial} = \rho_{final} \times Volume_{final} \quad (39)$$

Assim sendo, obtém-se um volume final de $2,3 \times 10^{-5} m^3$, e daí resulta que:

Tabela 23 - Cálculo da altura final

Volume Final	Volume	Área da Base	Altura Final
$2,3 \times 10^{-5} m^3$	$\text{Área da Base} \times \text{Altura}$	$3,9 \times 10^{-3} m^2$	$6 \times 10^{-3} m$

Tabela 24 - Cálculo do deslocamento do punção

Altura Final	Altura Inicial	Deslocamento = Altura Final – Altura Inicial
$6 \times 10^{-3} m = 6 mm$	50 mm	$50 - 6 = 44 mm$

Finalmente, é obtido o deslocamento que representa quanto o punção terá de descer na prática, comprimindo o material até à densidade objetivo e aí parar, obtendo-se uma leitura do valor da força e, relacionando com a área experimental, o valor da pressão máxima. Desta forma, foi então realizado o ponto zero na máquina (correspondente ao topo do copo), e foi imediatamente realizada a compressão ao longo dos 44 *mm* de profundidade, ficando a máquina com o aspeto da Figura 51.



Figura 51 - Ensaio de compressão do granulado

Foi então possível retirar os dados relativos ao ensaio, pelo que os valores e os respetivos gráficos “Força vs. Deslocamento” e “Pressão vs. Deslocamento” encontram-se nos Anexos G e H, e então os valores máximos foram, respetivamente, os seguintes:

Tabela 25 - Força e pressão de compressão do granulado

	Força Máxima	Pressão Máxima
Valor	7,36 kN	1,91 MPa

Com estes valores, sabe-se então que para densificar um granulado de densidade mais baixa (existente dentro de portas) a cerca de 500 kg/m^3 , é necessária uma pressão de cerca de 1,91 MPa e, sabendo que 1 bar corresponde a 0,1 MPa, estamos perante uma pressão de 19,1 bar determinada em laboratório.

Seguidamente, relacionou-se a pressão obtida com a área real da peça (ver Figura 52) em estudo, obtendo-se a força de prensagem submetida ao granulado, valor este que serve apenas como patamar para o dimensionamento da prensa. A Figura 50 representa um modelo 3D da peça, construído com recurso ao *Software* de Modelação 3D *Solidworks*®.

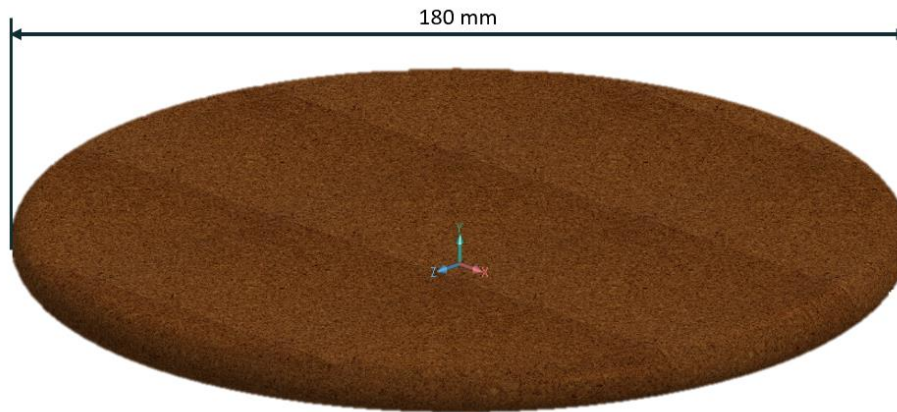


Figura 52 - Peça moldada em estudo

Desta forma, segundo a equação:

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad (40)$$

Vem que,

Tabela 26 - Cálculo da força de prensagem

	Pressão [bar]	Área [m ²]	Força de Prensagem [kN]
Valor	19,1	0,03	57,32

Isto significa que, tendo em conta a área da peça em estudo, será necessária uma força de 57,32 kN para densificar o granulado totalmente, e para isso foi necessário dimensionar a bomba hidráulica responsável por realizar esse trabalho, para um curso vertical de subida e descida estipulado nos 500 mm, durante cerca de 5 segundos.

Sabendo que a velocidade corresponde à razão entre o deslocamento e o tempo, resulta daqui que a velocidade é aproximadamente 1 dm/s e assim torna-se possível calcular o caudal de óleo necessário para realizar o curso no sistema hidráulico à velocidade definida, bem como calcular a potência de trabalho, consoante as seguintes fórmulas, respetivamente, equação 41 e 42.

$$q = v \times A \quad (41)$$

$$\text{Press\~{a}o}_{\text{trabalho}} = \frac{F}{A} \quad (42)$$

Onde:

v é a velocidade de avanço do cilindro [dm/min]

A é a área do cilindro [dm^2]

q é o caudal do fluido [$litro/minuto$]

F é a força de prensagem [N]

Resulta que:

Tabela 27 - Cálculo do caudal e potência de trabalho

Equação	Variáveis	Resultado
(41)	$v = 1 \text{ dm/s}$ $A = 2,011 \text{ dm}^2$	$q = 120,66 \text{ l/min}$
(42)	$F = \text{Força de Prensagem} = 57320 \text{ N}$ $A = 201,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	$P_{\text{Trabalho}} = 2,85 \times 10^6 \text{ Pa}$ $= 28,5 \text{ bar}$

Admitindo cerca de 5 bar referentes a um total de perdas de carga no circuito, a pressão de trabalho da bomba totaliza 33,5 bar (28,5 bar + 5 bar) que, através da observação de uma tabela de dados técnicos de um fabricante escolhido previamente, presente no Anexo J, representa uma bomba de tamanho nominal 100, onde é permitido um caudal até ao limite de 145,6 l/min .

Posteriormente, verifica-se no gráfico das curvas características (Anexo K), para o tamanho construtivo 4, que a uma pressão de 33,5 bar, é debitado um caudal de cerca de 135 l/min para o tamanho nominal 100.

Com este caudal, é possível agora determinar a potência de acionamento (equação 39), fornecida pelo motor elétrico e que deverá ter em conta a pressão imposta pela válvula limitadora de pressão, que realiza o ajuste da pressão máxima do circuito hidráulico, protegendo a bomba e outros componentes a partir de uma pressão excessiva, mantendo uma pressão constante no circuito.

Neste caso, a pressão máxima foi estabelecida 30% acima da pressão de trabalho anteriormente calculada, correspondendo a 43,55 bar (1,3 x 33,5 bar), e o caudal corresponde ao anteriormente consultado no Anexo J.

$$Potência_{acionamento} = \frac{p_{m\acute{a}x.} \times q}{600 \times \eta_g} \quad (43)$$

Onde:

$p_{m\acute{a}x.}$ é a pressão imposta pela válvula limitadora de pressão [bar]

q é o caudal do fluido [litro/minuto]

η_g é o rendimento global da bomba [%] (Anexo L)

Resulta que:

Tabela 28 - Cálculo da potência de acionamento

Equação	Variáveis	Resultado
(43)	$p_{m\acute{a}x.} = 1,3 \times 33,5 = 43,55 \text{ bar}$ $q = 135 \text{ l/min}$ $\eta_g = 87\%$	$P_{Acionamento} = 11,26 \text{ kW}$

A potência do motor elétrico que faz o acionamento da bomba hidráulica, calculada anteriormente é superior à potência da unidade hidráulica que a empresa tem atualmente (4 kW), reforçando a necessidade e interesse em adquirir uma nova prensa hidráulica direcionada para tipos de produções como esta aspira a ser, de grande escala.

Além do dimensionamento da bomba para ser possível realizar a prensagem do material, é preciso contabilizar o peso do molde e do prato de fixação que o cilindro hidráulico vai suportar, e para isso será necessário determinar a pressão de regulação da válvula de contrapressão para o cilindro avançar e recuar na devida altura.

O objetivo destas válvulas é evitar que o peso que está a ser transportado possa cair de forma incontrollável, mantendo a pressão em níveis admissíveis e proporcionando um equilíbrio de forças que evitam a aceleração da carga devido ao seu próprio peso, assegurando ainda uma ausência de fugas e protegendo contra falhas na linha hidráulica, ou contra choques de pressão causados por forças externas ou por sobrecargas.

Geralmente, este tipo de válvula, está ligada a jusante do cilindro, permitindo apenas a passagem do caudal apenas num sentido, bloqueando o retorno ao tanque e criando uma contrapressão na saída deste, sendo regulada para cerca de 30% mais do que a pressão produzida pelo peso associado da carga.

Tendo como valor de referência 160 mm para o diâmetro do cilindro com base em dados fornecidos por um dos fabricantes contactados na área, foi tido em conta esse valor, para efeito dos cálculos seguintes, onde, seguidamente, foi determinado o diâmetro da haste do cilindro através da equação 43.

$$d_{haste} \geq \sqrt[4]{\frac{64 \times l_0^2 \times F_a \times S}{\pi^3 \times E}} \quad (44)$$

Onde:

d_{haste} é o diâmetro da haste [cm]

l_0 é o comprimento de encurvadura da haste [cm] [Anexo M]

F_a é a força de avanço [cm]

S é o coeficiente de segurança [3,5]

E é o Módulo de Young [N/cm^2]

Tabela 29 - Cálculo do diâmetro da haste do cilindro

Equação	Variáveis	Resultado
(44)	$l_0 = 400 \text{ mm}$ $F_a = 5000 \text{ N}$ $S = 3,5$ $E = 2,1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$	$D_{haste} \sim 20 \text{ mm}$

Com o diâmetro da haste calculado, foi agora consultada uma tabela de diâmetros comerciais (Anexo N), e foi escolhido o diâmetro de 70 mm que é a dimensão logo a seguir à calculada, para cilindros de diâmetro de 160 mm.

Com estas dimensões, foram calculadas as áreas dos respetivos diâmetros, como se encontra apresentado na figura seguinte, para dar continuidade aos cálculos:

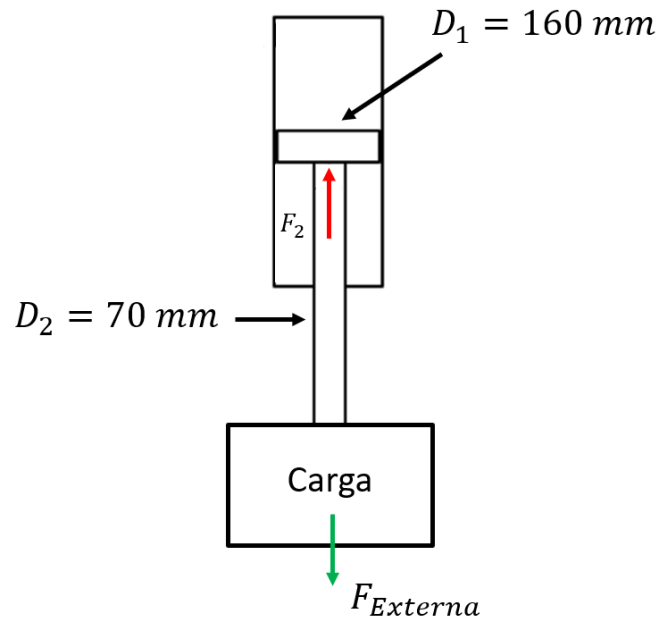


Figura 53 - Esquema Cilindro Hidráulico

Seguidamente, foi calculado o valor da pressão de contrapressão, partindo de um equilíbrio de forças entre F_2 e F_{Externa} :

$$F_1(\text{contrapressão}) = F_{\text{ext.}}(\text{externa}) \quad (45)$$

$$p_{\text{contrapressão}} \times (A_1 - A_2) = F_{\text{ext.}} \quad (46)$$

$$p_{\text{contrapressão}} = \frac{F_{\text{ext.}}}{A_1 - A_2} \quad (47)$$

Tabela 30 - Cálculo do valor de contrapressão

Equação	Variáveis	Resultado
(47)	$F_{\text{ext}} = 5000 \text{ N}$ $A_1 - A_2 = 162,62 \text{ cm}^2$	$P_{\text{contrapressão}} \sim 3 \text{ bar}$

Ao valor calculado anteriormente, no sentido de compensação das forças de atrito que se opõe ao movimento das partes móveis do cilindro, são adicionados 30%, pelo que o valor da pressão final passa a ser de 4 bar ($3 \text{ bar} \times 1,3$). Além da pressão de contrapressão, instalada na câmara inferior do cilindro, é possível ainda determinar a força devido à contrapressão e ainda a força a desenvolver pela câmara superior.

$$F_{cp} = p_{cp} \times (A_1 - A_2) \quad (48)$$

$$F_{pe} > F_{cp} - F_{ext} \quad (49)$$

$$F_{pe} = p_e \times A_1 \quad (50)$$

Onde:

F_{cp} é a força de contrapressão [N]

p_{cp} é a pressão relativa à contrapressão [Pa]

F_{pe} é a força relativa à pressão de entrada [N]

p_e é a pressão de entrada [Pa]

Tabela 31 - Cálculo da Força Relativa à Pressão de Entrada

Equação	Variáveis	Resultado
(48)	$p_{cp} = 4 \times 10^5 \text{ Pa}$ $A_1 = 201,1 \text{ cm}^2$ $A_2 = 38,48 \text{ cm}^2$	$F_{contrapressão} \sim 6504,6 \text{ N}$
(49)	$F_{cp} = 6504,6 \text{ N}$ $F_{ext} = 5000 \text{ N}$	$F_{pe} > 1504,6 \text{ N}$
(50)	$F_{pe} = 1504,6 \text{ N}$ $A_1 = 201,1 \text{ cm}^2$	$p_e > 1 \text{ bar}$

Significa isto que a instalação desta válvula é necessária para, quando atingida uma pressão superior a 1 bar na câmara superior, com a abertura da válvula de contrapressão, a carga consiga realizar o movimento descendente e assim efetuar-se a prensagem do material, e o caudal de óleo, conseqüentemente, irá passar para o tanque.

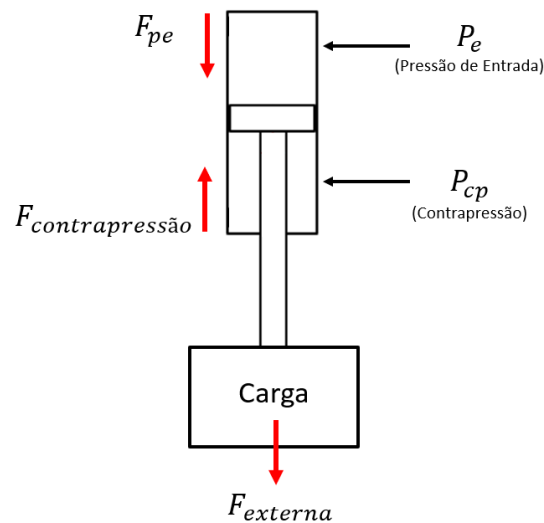


Figura 54 - Força a desenvolver pela câmara superior

Estes cálculos permitem perceber que o sistema que está a ser dimensionado, para corresponder às necessidades, precisa apresentar uma boa eficiência e trabalhar com potências superiores às praticadas na prensa atual, mais dedicada para a produção de protótipos.

Aqui, trata-se de uma produção em grande escala, que vai exigir muito tempo de trabalho por parte da unidade hidráulica, responsável pela movimentação de toda a máquina, e na qual será importante ter em conta as especificações acima descritas.

A empresa descartou logo a hipótese de utilizar a prensa atual para iniciar a produção em grande escala, dada a sua potência instalada (ver Figura 55). Ainda assim, foi possível efetuar alguns testes à peça nesta prensa dedicada ao desenvolvimento, em moldes de pequenas dimensões, para também validar o conceito e a geometria da peça (ver Figura 57).



Figura 55 - Características da unidade hidráulica



Figura 56 - Unidade hidráulica da prensa



Figura 57 - Molde para ensaio da geometria e condições de operação

4.3.4.2 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Depois de reunidas todas estas informações úteis para o dimensionamento de uma prensa hidráulica através de várias reuniões, todos os aspetos relevantes foram discutidos, de forma a ser possível tomar uma decisão unânime que fosse ao encontro das necessidades previstas, com base em todas as propostas que foram sendo recebidas e avaliadas.

Após dar continuidade à pesquisa de empresas, com domínio no setor hidráulico, no sentido de elaborar uma resposta ao problema, sucedeu uma reunião com uma empresa italiana, com vasta experiência na indústria corticeira, nomeadamente no setor rolheiro, onde grande parte das rolhas são obtidas através de processos automáticos e contínuos de aglomeração.

No fundo, a peça em questão apresenta uma geometria muito próxima de uma rolha, porém espalmada, e daí surgiu a ideia de apostar num equipamento idêntico, dedicado a geometrias mais simples, como é o caso, diminuindo a complexidade dos moldes e acelerando a produção, garantindo que, desde a parte da alimentação de matéria-prima (cola e cortiça) até à extração da peça, fosse tudo automático.

Após diversas reuniões com o fornecedor, e após discutir as especificações desenvolvidas no capítulo anterior, foi recebida uma proposta para uma prensa hidráulica, automática, equivalente a um sistema em contínuo de moldação (ver Figura 58).

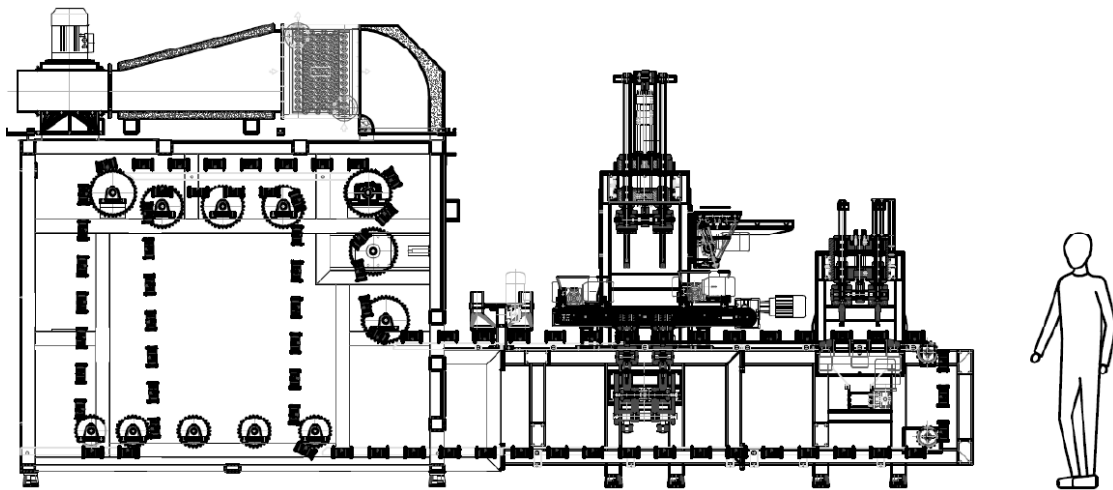


Figura 58 - Sistema hidráulico de moldação em contínuo

Este sistema em “carrossel” caracteriza-se por conseguir ter em simultâneo até 40 moldes em alumínio, revestidos a *teflon*[®], a circular no sistema, para facilitar a transferência de calor e diminuir a aderência do material, especialmente por causa da presença de resinas. Cada molde possui 5 cavidades de enchimento, ou seja, tem um *output* de 5 peças.

Este sistema necessitará de estar conectado com o misturador já existente dentro de portas, para que a matéria seja conduzida até ao posto de abastecimento de onde cairá de uma moega para o molde, enchendo-o de forma volumétrica, e avançando seguidamente para o forno, onde irá permanecer cerca de 5 minutos, de forma a concluir a prensagem e polimerização da cola a uma temperatura que ronda cerca dos 150°C, sem arrefecimento posterior.

O tipo de aquecimento poderá ser realizado através de bateria a vapor, ou termofluido, e com uma potência total instalada que ronda os 35 kW, conseguindo cobrir todas as necessidades.

Adicionalmente, surge a necessidade de incluir um sistema de refrigeração, dado o número de horas que o sistema irá trabalhar diariamente, prevenindo o seu sobreaquecimento.

Este sistema possibilita uma cadência estimada de 1900/2000 peças horas, o que equivale a um tempo de ciclo, por molde, de aproximadamente 9-10 segundos.

4.3.5 CRIAÇÃO DE FERRAMENTA DE PREVISÃO DE CUSTEIO

O objetivo da ferramenta, como foi explicado no capítulo 4.1.6, passa por responder às necessidades do departamento na organização de toda a informação relativa à produção de peças moldadas.

Como este custeio, é direcionado para o departamento de inovação e desenvolvimento, não existe, numa situação inicial, um ficheiro único que sirva para descrever todos os custos relativos ao processo de fabrico, pelas seguintes razões: como já foi referido anteriormente, este processo é recente na empresa e não está ainda concebido para ser industrializado, logo não existe um custeio industrial com centros de trabalho definidos e, conseqüentemente, com centros de custos associados a atividades realizadas durante a produção ali realizada. Mas, por outro lado, existe a necessidade por parte da gestão de projetos de reunir toda a informação relativa à produção, com a finalidade de averiguar custos de produção, desde energia, manutenção, etc. considerados como custos indiretos, ou até eventuais investimentos efetuados, assim como custos mais básicos, como é o caso da matéria-prima ou mão de obra alocada nos diferentes turnos, denominados por custos primários.

É importante mencionar que o preço do produto fabricado tem uma grande influência, principalmente para mercados onde existe alguma concorrência, e nestes casos, geralmente, os preços e custos são estabelecidos de cima para baixo, na perspetiva de *top down*, com vista à obtenção de lucro, conforme a Figura 59, uma adaptação de Chang na obra: “*Product Cost Estimating. Product Manufacturing and Cost Estimating Using Cad/Cae*” (Hua Chang, 2013).

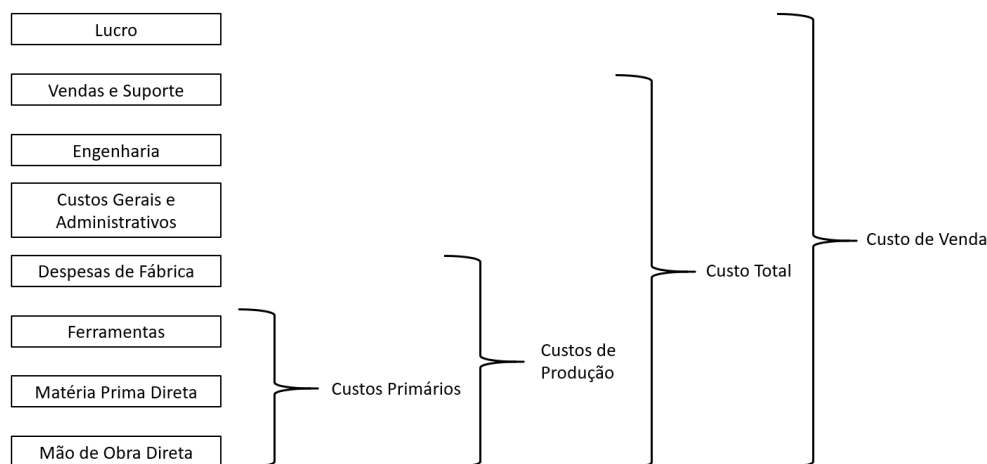


Figura 59 - Informação constituinte de um custeio

Fonte: Adaptado de (Hua Chang, 2013)

O intuito do ficheiro é organizar a informação de uma forma lógica e devidamente separada, contrariamente àquilo que existia no ficheiro antigo (ver Figura 60), em que todos os campos estavam dispostos consecutivamente, sem qualquer distinção nem separação, tornando a interpretação mais confusa para quem o utilize.

	€/kg	
Densidade final (kg/m3)		
Volume moldado m3		
Peso (gr)	0,0	
Custo Molde		
Resina		
Custo Resina (€/peça)	2,0	€ -
Pigmento (€/kg)	16,7	
custo pigmento		€ -
Quebra %		10%
Lote 2-4	1,588	
% cortiça		
BD 2-3	2,895	
BD 1-2	2,95	
BD 0,5-1	2,4	
MF5	1,2	
Custo Cortiça €/kg		€ -
Custo Materiais (€/un)		€ -
Tempo de ciclo (min.)		
Cadência máquina (ciclo/hr)		#DIV/0!
Cavidades/molde ou prensa		
Peças/hr		#DIV/0!
Alocação RH (min/ciclo)		
Alocação RH (%)		50%
Consumo Energia (Kwh)		2
Custo Energia		0,16 €
Amortização Prensa €/h		1,76 €
Amortização do misturar		
Novo teflon		
Peças que vai fazer		
Quebra %		10%
Mão de Obra €/h		8,44 €
Custos Indiretos		2,07 €
Custo Processo (€/hr)		13,81 €
Custo Unitário processo		#DIV/0!
Custo Unitário + MP's com Packaging		#DIV/0!
PTI (majoração 5%) (€) 7,53%		#DIV/0!

Figura 60 – Ficheiro inicial

Respondendo às necessidades do departamento, no ficheiro é englobada toda a informação relativa ao material consumido e custos respetivos, às operações e recursos humanos, e ainda aos investimentos efetuados, com a devida amortização ao longo dos anos. Como é possível observar na Figura 61, o material consumido e as suas quantidades vão de encontro ao que ficou clarificado na formulação do moldado, desde os materiais constituintes, densidade final ou peso da peça, implicando uma grande comunicação entre a fábrica piloto onde são desenvolvidos os protótipos, e o gabinete de gestão de projetos que tratará a parte do custeio.

Para que o custeio tente ser o mais próximo da realidade, este separador faz comunicação com uma página oculta onde estão listados todos os PTIs (Preço de Transação Interna) para que, ao ser feita referência à matéria-prima, automaticamente surja o preço por quilograma da mesma (€/kg), devidamente atualizado.

Descrição Projeto: _____
 Código Projeto: _____
 Realizado por: _____

Densidade [kg/m3]	Volume [m3]	Peso [gr]
300	0,00027	81,0

Material	Quantidade	€/kg	€/peça	Custo Materiais
	%	Lab (g)		
Resina A5	10%	8,1	€ 2,65	€ 0,02
GRAN MD 0,5/2	90%	72,9	€ 1,40	€ 0,10
Pigmento				
Outros				
Total	100%			
Quebra			€ 1,53	€ 0,12
5%				€ 0,13

Figura 61 - Ficheiro melhorado - Material consumido

4.3.5.1 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

Após reuniões sucessivas com os responsáveis pela gestão dos projetos, foi possível colocar a ferramenta em prática e validá-la, conjuntamente com o departamento de Engenharia, no âmbito do processo, e foi ainda possível, numa fase final, trabalhar no âmbito do produto e das formulações, de modo a testar novas matérias-primas com custos inferiores, como por exemplo fibra de madeira ou casca de amêndoa, substituindo grande parte do granulado por essas MP e poupando no custo final da peça, mantendo o visual de cortiça.

Através desta ferramenta, desenvolvida com recurso ao programa *Microsoft Excel*[®], foi possível colmatar alguns dos principais problemas ou ambiguidades, e discutir eventuais ajustes ou melhorias futuras.

Assim, a constante comunicação e a troca de ideias via *Brainstorming* foi um fator fundamental para levar a cabo com sucesso esta parte integrante do trabalho.

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES FACE AOS OBJETIVOS

5.2 TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Por último, neste capítulo, é efetuada uma síntese de todo o trabalho desenvolvido face aos objetivos inicialmente propostos. Para além disso, foram apresentados os mais importantes contributos do processo de fabrico de moldação por compressão, abordados futuros projetos e outros concebidos e iniciados, mas não concluídos, porque, entretanto, terminou o estágio.

5.1 CONCLUSÕES FACE AOS OBJETIVOS

Ao longo deste trabalho, foi possível abordar na íntegra o processo de moldação de cortiça por compressão que, ao longo dos anos, tem vindo a ganhar relevo com o desenvolvimento de novos materiais compósitos de cortiça, possíveis de ser trabalhos de uma forma tão simples. Aliado ao facto desta matéria-prima ser 100% natural e reciclável, abriu as portas à criatividade e permitiu a criação de diversas formas complexas, com diferentes aplicações e diferentes mercados alvo. Essas propriedades, únicas e juntas num só material, isto é, impermeável a líquidos e gases, resistente ao fogo, isolante, elasticidade, baixa densidade, muito suave ao toque, leve e hipoalergénica, permitiram a criação de diversos produtos distintos, desde o mobiliário à decoração.

A simplificação e otimização do processo, transformando-o num procedimento mais claro e viável para a empresa, contou com diferentes frentes de trabalho, sendo que a mais importante foi, inquestionavelmente, a automatização do sistema, partindo de uma técnica promissora e em fase de incubação, para um *scale-up* da tecnologia, com vista a futuras encomendas de grande escala.

As propostas de automatização contaram com a ajuda de várias pessoas tanto da empresa como de fora, dado a importância que este tema representa. Assim, desenharam-se imensas possibilidades que pudessem ser trabalhadas no projeto de novas máquinas, capazes de realizar produções piloto e ensaios de validação do conceito. Foi, também, importante o contributo da parte da engenharia de moldes e, ainda, no que diz respeito às formulações de material. A automatização contou com o desenho de várias estruturas de alimentação de mistura (granulado e cola) nos moldes ou, ainda, com o estudo de várias possibilidades de extração de peças, onde se conclui que a melhor opção para remover peças de diversas geometrias e tamanhos, seria através de sistemas de ventosas com sucção por vácuo.



Realizou-se também um estudo de balanço energético, para perceber qual seria a principal causa na origem de perdas térmicas associadas ao processo e que dificultava, por vezes, a correta produção dos protótipos, a fim de otimizar a transferência de calor e minimizar perdas em demasia. Aqui, foram também estudadas diversas possibilidades, pelo que a melhor opção, para evitar perdas de calor durante o aquecimento, incidiu sobre a abertura de rasgos, ao longo do molde, de maneira a ser possível acoplar resistências nos topos do molde e, assim, evitar longos tempos de *setup* à espera que o calor percorresse os pratos de fixação e o molde.

Foi realizado ainda um dimensionamento de um sistema de prensagem para moldação em contínuo para futuras produções em grande escala, dentro de portas, tendo-se estabelecido um contacto com uma empresa italiana, de grande renome na área da indústria corticeira, de onde surgiu uma proposta para uma prensa de cortiça aglomerada, que respondeu às necessidades produtivas da empresa, rentabilizando o processo.

Outro resultado muito importante foi a criação de uma ferramenta de custeio para as peças moldadas, onde é possível fazer um balanço generalizado dos elementos constituintes do processo de moldação, relativamente a projetos que se encontrem em desenvolvimento. Esta ferramenta, em formato ficheiro, destaca-se por fazer a ligação entre a engenharia do produto e do processo. Este pode ser complementado, caso necessário, no que diz respeito ao processo, tornando os indicadores mais realistas e permitindo uma análise mais rápida e eficiente da informação disponível e relevante.

De forma a situar o trabalho desenvolvido, apresenta-se a seguinte tabela (Tabela 32), onde se encontram expostos os objetivos organizacionais traçados numa fase inicial e os respetivos estados atuais.

Tabela 32 - Análise conclusiva dos Objetivos Iniciais

Objetivo	Descrição	Estado
Análise do Funcionamento do Processo de Moldação e dos seus constituintes	Compreender, através de produções piloto, toda a transformação decorrida no processo produtivo, desde a matéria-prima natural, até à peça final moldada, bem como, os fatores que afetam a densidade final do produto.	
Proposta de Automatização do Processo	Desenho e idealização de novos conceitos para automatização do processo: <ul style="list-style-type: none"> Estrutura de alimentação do material; Sistema de vácuo para extração das peças moldadas. 	

Proposta de sistema alternativo para realização da transferência de calor

Estudo e implementação de alternativa mais eficiente para transferência de calor durante a prensagem do material.



Proposta para tecnologia alternativa de moldação de cortiça

Estudo e planeamento de aquisição de nova tecnologia mais viável para moldação em contínuo, em grande escala.



Proposta de tecnologia alternativa para acabamento superficial de peças moldadas

Investigação e aquisição de nova tecnologia que permita um melhor acabamento das peças pós moldação, eliminando rebarba natural.



Utilização de materiais alternativos para fabrico de peças moldadas com visual cortiça

Averiguação do comportamento e compatibilidade, durante a prensagem, de outros materiais naturais (por ex: fibra de madeira), com o intuito de baixar a quantidade de cortiça, e assim baixar densidade e custo na peça final.



Criação de ferramenta de custeio para peças moldadas

Criação de um documento único para realização do custeio do processo e dos seus envolventes associado aos projetos/produções em curso.



Por fim, com a realização deste projeto, desenvolvido em ambiente empresarial, realçam-se os seguintes aspetos: a aprendizagem extraída com impacto a nível pessoal e profissional; o reconhecimento da elevada importância e valor para a empresa, por se tratar de uma tecnologia em desenvolvimento, com vista à sua aplicação em diversos setores de negócio e possibilidade de ampliar a sua capacidade produtiva, libertando certas linhas de fabrico atuais e renovando a competitividade de alguns produtos, devido ao seu destaque enquanto tecnologia versátil e inovadora; a importância que representou também para a empresa porque, até ao momento, existem poucos estudos na área.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

No que diz respeito ao trabalho futuro, sendo este um projeto de carácter inovador e, tendo em conta a duração do estágio, foram surgindo intenções de continuidade do trabalho desenvolvido como, por exemplo, o acompanhamento das futuras produções no campo e o estudo da viabilidade de um braço robótico, que atuasse na retirada das peças moldadas, com o sistema de ventosas incorporado.

Outro estudo interessante de ser acompanhado, seria a aplicação do novo sistema de aquecimento, e qual o impacto que teria na produção de peças moldadas comparativamente ao sistema anterior, sendo quantificados todos os ganhos obtidos, bem como, a amortização do investimento relacionado com o fabrico personalizado dos novos moldes.

Outra área de estudo, seria a moldação por alta frequência, como um novo processo alternativo à moldação de cortiça por compressão convencional, geralmente aplicável à indústria da madeira, onde é utilizado um sistema hidráulico. Este novo processo permitiria a entrada de pressão, a partir de uma direção ou de três direções diferentes, facilitando a dobragem da peça em vários ângulos. Além disto, uma das principais vantagens deste sistema, relativamente à moldação convencional, é o rápido tempo de cura da cola, normalmente menos de 3 minutos (Hf-woodworking, n.d.), daí o interesse da empresa em estudar a capacidade produtiva deste sistema e a nível competitivo avaliar as vantagens que poderá trazer, perante diferentes setores de negócio.

REFERÊNCIAS

6 REFERÊNCIAS

Aicep Portugal Global. (2019). Moldes Portugueses - Uma Indústria Recohecida Muldialmente. *Portugal Global*. Disponível em: <http://portugalglobal.pt/PT/RevistaPortugalglobal/2019/Documents/revista-117-fevereiro.pdf>. Acedido em Junho de 2021.

AlMaadeed, M. A., Kahraman, R., Noorunnisa Khanam, P., & Madi, N. (2012). Date palm wood flour/glass fibre reinforced hybrid composites of recycled polypropylene: Mechanical and thermal properties. *Materials and Design*, 42, 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.05.055>

Aluminum, Al. MatWeb. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=0cd1edf33ac145ee93a0aa6fc666c0e0>

APCOR. (2018a). *Aglomerados Compostos*. Disponível em: <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerados-compostos/>. Acedido em Junho de 2021.

APCOR. (2018b). *APCOR - Associação Portuguesa da Cortiça*. Disponível em: <https://www.apcor.pt/cortica/o-que-e/>. Acedido em Junho de 2021

Barbosa, R.C.N, Campilho, R.D.S.G., Silva, F.J.G. (2018). Injection molding design for a plastic component with blowing agent. *Procedia Manufacturing*, 17, 774-782. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.128>.

Beira, E., Crespo, C., Gomes, N., & Menezes, J. (2003). *Dos moldes à engenharia do produto, a trajetória de um cluster*. Mercados e Negócios: Dinâmicas e Estratégias.

CCIP. (2020). *MOLDES, UMA INDÚSTRIA VIRADA PARA O FUTURO*. Disponível em: <https://www.ccip.pt/pt/newsletter-internacional/638-moldes-uma-industria-virada-para-o-futuro>

CEFAMOL. (2015). *A Indústria Portuguesa de Moldes*. Disponível em: https://issuu.com/cefamol/docs/ipm_janeiro_2015_pt. Acedido em Maio de 2021.

Chandrasekaran, R., Campilho, R.D.S.G., Silva, F.J.G. (2019). Reduction of scrap percentage of cast parts by optimizing the process parameters, *Procedia Manufacturing*, 38, 1050-1057. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.191>.

Corticeira Amorim, S. G. P. S., S.A. (2014). *A Arte da Cortiça*. Disponível em: https://www.amorim.com/xms/files/v1/Documentacao/Brochura_Arte_Cortiça_PT_Smal1.pdf. Acedido em Abril de 2021.

Dou, R., Lin, D., Nan, G., & Lei, S. (2018). A method for product personalized design based on

- prospect theory improved with interval reference. *Computers and Industrial Engineering*, 125, 708–719. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.056>
- Eden, C., & Ackermann, F. (2018). Theory into practice, practice to theory: Action research in method development. *European Journal of Operational Research*, 271(3), 1145–1155. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.061>
- Ferreira, L. P., Gómez, E. A., Lourido, G. P., & Tjahjono, B. (2011). Optimization of a multiphase multiproduct production line based on virtual cells. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, WCE 2011*, 616–621.
- Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2020). A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. In *Journal of Materials Science*, 55(3). Springer US, 829–880. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>.
- Gil, Luis. (2007). *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*. Disponível em https://www.academia.edu/9138885/A_cortiça_como_material_de_construção. Acedido em Abril de 2021.
- Gil, Luís. (2009). Cork composites: A review, *Materials*, 2(3), 776–789. <https://doi.org/10.3390/ma2030776>
- Gil, Luís. (2012). CORTIÇA. In IST - Instituto Superior Técnico (Ed.), *CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO* (11th ed., pp. 663–716).
- Guo, G., Finkenstadt, V. L., & Nimmagadda, Y. (2019). Mechanical properties and water absorption behavior of injection-molded wood fiber/carbon fiber high-density polyethylene hybrid composites. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2(4), 690–700. <https://doi.org/10.1007/s42114-019-00116-5>.
- Guo, G., & Kethineni, C. (2020). Direct injection molding of hybrid polypropylene/wood-fiber composites reinforced with glass fiber and carbon fiber. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(1–2), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04572-7>.
- Gupta, P., & Maji, P. K. (2020). Characterization of Wood, Cork and Their Composites for Building Insulation. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, Vol. 2, 44–59. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10591-0>.
- Harada, J. (2004). *Moldes para Injeção de Termoplásticos: projetos e princípios básicos*. Artliber Editora Ltda. São Paulo. ISBN: 8588098180
- Hf-woodworking. (n.d.). *Prensa para Madeira Compensada Curvada*. Disponível em: <http://hf-woodworking.com/3-high-frequency-curved-plywood-press/187643/>. Acedido em Maio de 2021.
- Ho, M. P., Wang, H., Lee, J. H., Ho, C. K., Lau, K. T., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549–3562. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.001>
- Hua Chang, K. (2013). *Product Cost Estimating. Product Manufacturing and Cost Estimating Using Cad/Cae*. 1ª Edição. Academic Press. ISBN: 978-0-12-401745-0

- Hydraulics, P. (2015). *Cilindros Hidráulicos*. Disponível em: https://www.parker.com/parkerimages/br/download/hydraulics/pdf/hy_2017_br.pdf. Acedido em Maio de 2019.
- Jaafar, J., Siregar, J. P., Tezara, C., Hamdan, M. H. M., & Rihayat, T. (2019). A review of important considerations in the compression molding process of short natural fiber composites. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(7–8), 3437–3450. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04466-8>
- Jiang, T., & Zeng, G. (2019). An Online Extrusion-compression Molding Method to Produce Wood Plastic Composite Packaging Boxes. *Fibers and Polymers*, 20(4), 804–810. <https://doi.org/10.1007/s12221-019-1053-8>
- Jorge Lino Alves, F. (2005). *MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA II (EM307)*. Disponível em: <http://docplayer.com.br/8647398-Materiais-de-construcao-mecanica-ii-em307-2o-semester-2005-06-4-processamento-de-materiais-ceramicos.html>. Acedido em Maio de 2021.
- Magalhães, A. (2006). NOÇÕES BREVES SOBRE MATERIAIS CERÂMICOS. *INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO*.
- Mano, J. F. (2002). The viscoelastic properties of cork. *Journal of Materials Science*, 37(2), 257–263. <https://doi.org/10.1023/A:1013635809035>
- Martinho, R.P., Silva, F.J.G., Alexandre, R.J.D., Baptista, A.P.M. (2011). TiB₂ nanostructured coating for GFRP injection moulds, *Journal of nanoscience and nanotechnology* 11 (6), 5374-5382. <https://doi.org/10.1166/jnn.2011.3772>.
- Martins, F. M. C. (2015). *Aglomerção de cortiça por compressão a quente*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 157 pp.
- Mehta, G., Mohanty, A. K., Drzal, L. T., Kamdem, D. P., & Misra, M. (2006). Effect of accelerated weathering on biocomposites processed by SMC and compression molding. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(4), 359–368. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0029-0>.
- Ming, W., Chen, Z., Du, J., Zhang, Z., Zhang, G., He, W., Ma, J., & Shen, F. (2020). A comprehensive review of theory and technology of glass molding process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(5–6), 2671–2706. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05051-0>.
- Nestorproenzaperez. (2014). *Atuadores Hidráulicos - Sistemas Fluidomecânicos*. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/nestorproenzaperez/sfm-2014-aula-36.pdf>. Acedido em Agosto de 2021.
- Nilsson, H., Galland, S., Larsson, P. T., Gamstedt, E. K., & Iversen, T. (2012). Compression molded wood pulp biocomposites: A study of hemicellulose influence on cellulose supramolecular structure and material properties. *Cellulose*, 19(3), 751–760. <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9688-2>.
- Nunes, V. Silva, F.J.G., Andrade, M.F., Alexandre, R., Baptista, A.P.M. (2017). Increasing the lifespan of high-pressure die cast molds subjected to severe wear. *Surface and Coatings*

- Technology*, 332, 319-331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.05.098>.
- Oliveira, S. C. B. de. (2013). *Estudo de novos compósitos termoplásticos para a produção de cápsulas*. Tese de Mestrado em Engenharia Química. Universidade de Aveiro. 107 pp.
- Overview of materials for Stainless Steel. MatWeb. Disponível em:
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=71396e57ff5940b791ece120e4d563e0>
- Pereira, H. (2007). *Cork: Biology, Production and Uses - 1st Edition*. Elsevier Science. ISBN: 9780080476865.
- Pinto, H. M. (2013). *Henrique Manuel Pinto Desenvolvimento de uma tecnologia não convencional de moldação : Rapid Heat Cycle Molding system*. Tese de Mestrado em Engenharia de Polímeros. Universidade do Minho. 115 pp.
- Pinto, H., Silva, F.J.G. (2017). Optimisation of die casting process in Zamak alloys, *Procedia Manufacturing*, 11, 517-525. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.145>.
- Pinto, H., Silva, F.J.G., Martinho, R.P., Campilho, R.D.S.G., Pinto, A.G. (2019). Improvement and validation of Zamak die casting moulds, *Procedia Manufacturing*, 38, 1547-1557. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.131>.
- Prater, K., Dukwen, J., Scharf, T., Herzig, H. P., Plöger, S., & Hermerschmidt, A. (2016). Micro-structuring of glassy carbon for precision glass molding of binary diffractive optical elements. *Optical Materials Express*, 6(11), 3407. <https://doi.org/10.1364/ome.6.003407>.
- Regazzi, A., Dumont, P. J. J., Harthong, B., Imbault, D., Peyroux, R., & Putaux, J. L. (2016). Effectiveness of thermo-compression for manufacturing native starch bulk materials. *Journal of Materials Science*, 51(11), 5146–5159. <https://doi.org/10.1007/s10853-016-9817-7>.
- Robledo-Ortiz, J. R., González-López, M. E., Rodrigue, D., Gutiérrez-Ruiz, J. F., Prezas-Lara, F., & Pérez-Fonseca, A. A. (2020). Improving the Compatibility and Mechanical Properties of Natural Fibers/Green Polyethylene Biocomposites Produced by Rotational Molding. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(3), 1040–1049. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01667-1>.
- Salit, M. S., Jawaid, M., Yusoff, N. Bin, & Hoque, M. E. (2015). Manufacturing of natural fibre reinforced polymer composites. *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, 331–349. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-07944-8>.
- Silva, C. A., Viana, J. C., Van Hattum, F. W. J., & Cunha, A. M. (2007). Mechanical properties of glass fibre reinforced polypropylene disks produced by rotating, expansion and compression injection moulding. *Journal of Materials Science*, 42(13), 5203–5216. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0577-7>.
- Silva, A. F. O. da. (2015). *Novos aglomerados de cortiça com outros materiais*. Tese de Mestrado em Engenharia Química. Universidade de Aveiro. 82 pp.
- Silva, F.J.G., Martinho, R.P., Alexandre, R.J.D., Baptista, A.P.M. (2011). Increasing the wear resistance of molds for injection of glass fiber reinforced plastics. *Wear*, 271 (9-10), 2494-2499. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.074>.

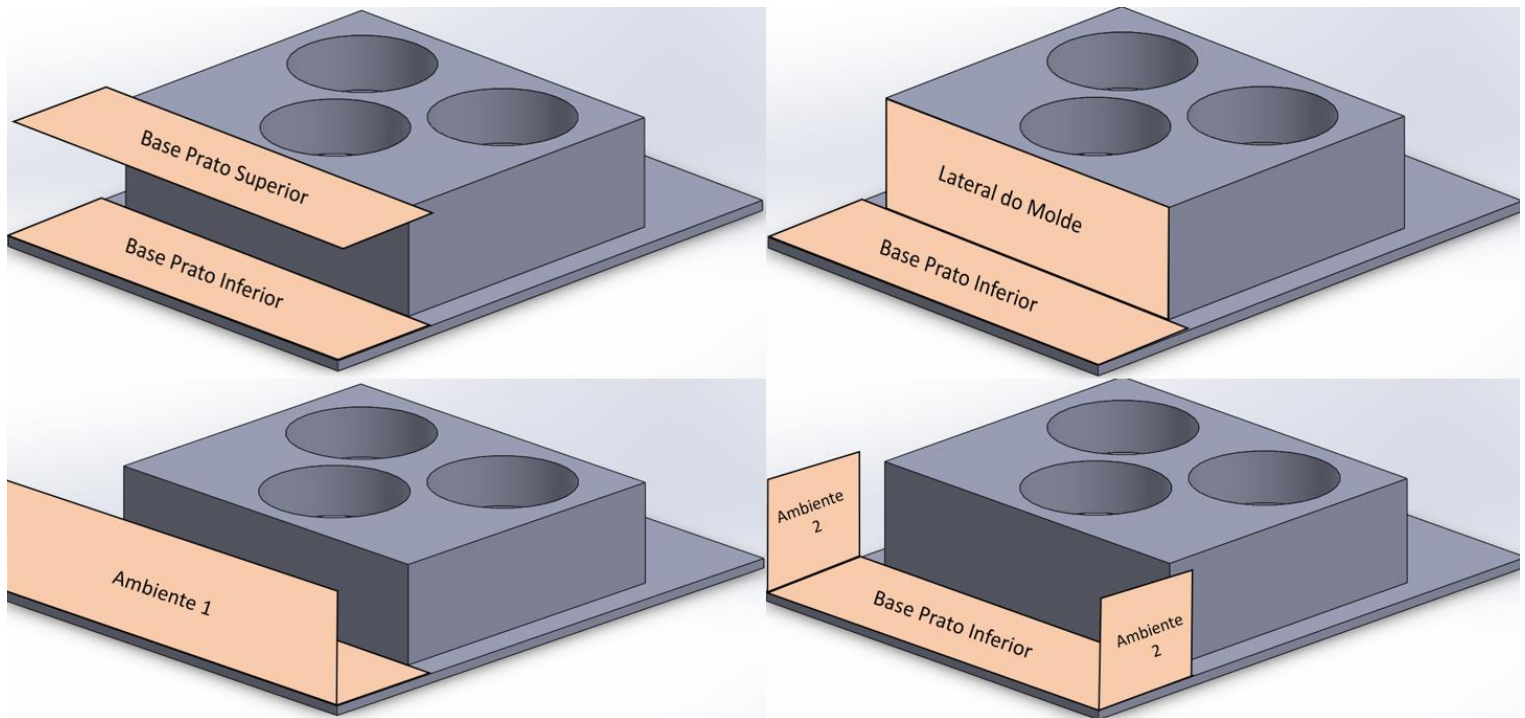
- Silva, F.J.G., Ferreira, F., Costa, C. Ribeiro, M.C.S., Castro, M.R.A. (2012). Comparative study about heating systems for pultrusion process. *Composites Part B*, 43, 1823-1829. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.01.057>.
- Silva, F.J.G., Ferreira, F., Costa, C. Ribeiro, M.C.S., Castro, A.C.M., Castro, M.R.A., Dinis, M.L., Fiúza, A. (2014). Optimising the energy consumption on pultrusion process. *Composites Part B*, 57, 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.035>.
- Silva, F.J.G., Campilho, R.D.S.G., Ferreira, L.P., Pereira, M.T. (2018). Establishing Guidelines to Improve the High-Pressure Die Casting Process of Complex Aesthetics Parts. *Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry 4.0*, 887-896. M. Peruzzini et al. (Eds.), IOS Press. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-898-3-887>.
- Silva, F.J.G., Soares, M.R., Ferreira, L.P., Alves, A.C., Brito, M., Campilho, R.D.S.G., Sousa, V.F.C. A Novel Automated System for the Handling of Car Seat Wires on Plastic Over-Injection Molding Machines, *Machines*, 9, 141. <https://doi.org/10.3390/machines9080141>.
- Stritzke, B. (2009). Custom Molding of Thermoset Elastomers. In *Custom Molding of Thermoset Elastomers A Comprehensive Approach to Materials, Mold Design, and Processing*, pp. I–XIV.
- Suresh, S., Sudhakara, D., & Vinod, B. (2019). Investigation of bio-waste natural fiber–reinforced polymer hybrid composite: effect on mechanical and tribological characteristics of biodegradable composites. *Mechanics of Soft Materials*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42558-019-0014-0>
- Takahashi, I., Sugimoto, T., Takasu, Y., Yamasaki, M., Sasaki, Y., & Kikata, Y. (2011). Bamboo fiber reinforced thermoplastic molding made of steamed wood flour. *Journal of Materials Science*, 46(21), 6841–6849. <https://doi.org/10.1007/s10853-011-5644-z>
- Teclena. (2021). *Teclena - Automação Industrial*. Disponível em: <https://teclena.pt/sobre/>. Acedido em Agosto de 2021.
- Vijaya Ramnath, B., Rajesh, S., Elanchezian, C., Santosh Shankar, A., Pithchai Pandian, S., Vickneshwaran, S., & Sundar Rajan, R. (2016). Investigation on mechanical behaviour of twisted natural fiber hybrid composite fabricated by vacuum assisted compression molding technique. *Fibers and Polymers*, 17(1), 80–87. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-5276-7>
- Williams, G. I., & Wool, R. P. (2000). Composites from natural fibers and soy oil resins. *Applied Composite Materials*, 7(5–6), 421–432. <https://doi.org/10.1023/A:1026583404899>
- Yallem, T. B., Kassegn, E., Aregawi, S., & Gebresias, A. (2020). Study on effect of process parameters on tensile properties of compression molded natural fiber reinforced polymer composites. *SN Applied Sciences*, 2(3), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2101-0>
- Zhang, J., Khatibi, A. A., Castanet, E., Baum, T., Komeily-Nia, Z., Vroman, P., & Wang, X. (2019). Effect of natural fibre reinforcement on the sound and vibration damping properties of bio-composites compression moulded by nonwoven mats. *Composites Communications*, 13(February), 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.02.002>

Zhang, Q. H., Zhao, G. J., Yu, L. L., & Jie, S. J. (2007). Preparation of liquefied wood-based resins and their application in molding material. *Forestry Studies in China*, 9(1), 51–56.
<https://doi.org/10.1007/s11632-007-0009-z>

ANEXOS

7 ANEXOS

7.1 ANEXO A – SUPERFÍCIES PARA CÁLCULO DO FATOR DE FORMA



7.2 ANEXO B – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE FECHADO

	Y [mm]	X [mm]	L [mm]	X	Y	Fator de Forma 1	Área 1 [mm ²]
Dimensão	200	600	190	3,16	1,05	0,43	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 2	Área 2 [mm ²]
Dimensão	200	190	600	0,32	0,33	0,25	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 3	Área 3 [mm ²]
Dimensão	200	190	600	0,32	0,33	0,25	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 4	Área 4 [mm ²]
Dimensão	600	190	200	0,95	3,00	0,06	240 000

Superfícies	i	Fator de Forma
Fator Base Inferior – Base Superior	i = 1	0,1646295
Fator Base Pratos – Laterais do Molde	i = 2	0,0958065
Fator Base Pratos – Ambiente	i = 3 + 4	0,1451053

7.3 ANEXO C – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE ABERTO PARTE INFERIOR

	Y [mm]	X [mm]	L [mm]	X	Y	Fator de Forma 1	Área 1 [mm ²]
Dimensão	200	600	160	3,75	1,25	0,46	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 2	Área 2 [mm ²]
Dimensão	200	160	600	0,27	0,33	0,23	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 3	Área 3 [mm ²]
Dimensão	200	160	600	0,27	0,33	0,23	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 4	Área 4 [mm ²]
Dimensão	600	160	200	0,80	3	0,07	240 000

Superfícies	i	Fator de Forma
Fator Base Inferior – Base Ambiente Superior	i = 1	0,1760631
Fator Base Pratos – Laterais do Molde	i = 2	0,0891836
Fator Base Pratos – Ambiente	i = 3 + 4	0,1436854

7.4 ANEXO D – CÁLCULOS INTERMÉDIOS RADIAÇÃO – SITUAÇÃO MOLDE ABERTO PARTE SUPERIOR

	Y [mm]	X [mm]	L [mm]	X	Y	Fator de Forma 1	Área 1 [mm ²]
Dimensão	200	600	30	20	6,67	0,83	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 4	Área 2 [mm ²]
Dimensão	200	30	600	0,05	0,33	0,07	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 4	Área 3 [mm ²]
Dimensão	200	30	600	0,05	0,33	0,07	120 000

	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma 4	Área 4 [mm ²]
Dimensão	600	30	200	0,15	3	0,04	240 000

Superfícies	i	Fator de Forma
Fator Base Inferior – Base Ambiente Superior	i = 1	0,3144343
Fator Base Pratos – Laterais do Molde	i = 2	0,0255910
Fator Base Pratos – Ambiente	i = 3 + 4	0,0561423

7.5 ANEXO E – FERRAMENTA EXCEL AUTOMÁTICA PARA CÁLCULO DO FATOR DE FORMA PARA O FENÓMENO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

Molde Assento - Aberto Inferior
Perdas Radiação

Local 1	Local 2	Emissividade 1	Área 1 [m2]	Fator de forma	T1 [K]	T2 [K]	Perdas [W]	
Base Inferior	Base Superior	0.90	0.63	0.16	122.00	114.00	0.32	
Base Pratos	Lateral Molde	0.90	0.63	0.09	122.00	85.00	0.53	
Base Pratos	Ambiente	0.90	0.42	0.14	122.00	25.00	0.73	
							1.57	Σ

	l [mm]	c [mm]	h [mm]	Área Prato Exposto [mm2]	Área Lateral Molde [mm2]
Molde	600.00	500.00	190.00	630 100	418 000

Base Pratos Inferior - Base Ambiente Superior								
Superfícies	Y [mm]	X [mm]	L [mm]	X	Y	Fator de Forma	Área	
BaseInfPratos1	BaseAmbiente2	200.00	600.00	160.00	3.75	1.25	0.46	120 000.00

Fator Base Inferior - Base Ambiente Superior
0.1790511

Base Pratos - Lateral Molde								
Superfícies	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma	Área	
BaseInfPratos1	LateralMolde1	200.00	160.00	600.00	0.27	0.33	0.23	120 000.00

Fator Base Pratos - Laterais do Molde
0.0091236

Base Pratos - Ambiente 1								
Superfícies	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma	Área	
BaseInfPratos1	Ambiente1	200.00	160.00	600.00	0.27	0.33	0.23	120 000.00

Fator Base Pratos - Ambiente
0.1456054

Base Pratos - Ambiente 2								
Superfícies	Y [mm]	Z [mm]	X [mm]	H	W	Fator de Forma	Área	
BaseInfPratos1	Ambiente2	600.00	160.00	200.00	0.90	3.00	0.07	240 000.00

Σ = 1.00

Propriedades do Ar:

Local	Ct	K	T [C]
T prato inf	80.00	353.15	1.08
T molde	94.00	371.15	1.14
T oo	30.00	303.15	0.03
T f	55.00	328.15	0.00
			0.00
			0.71
			9.81

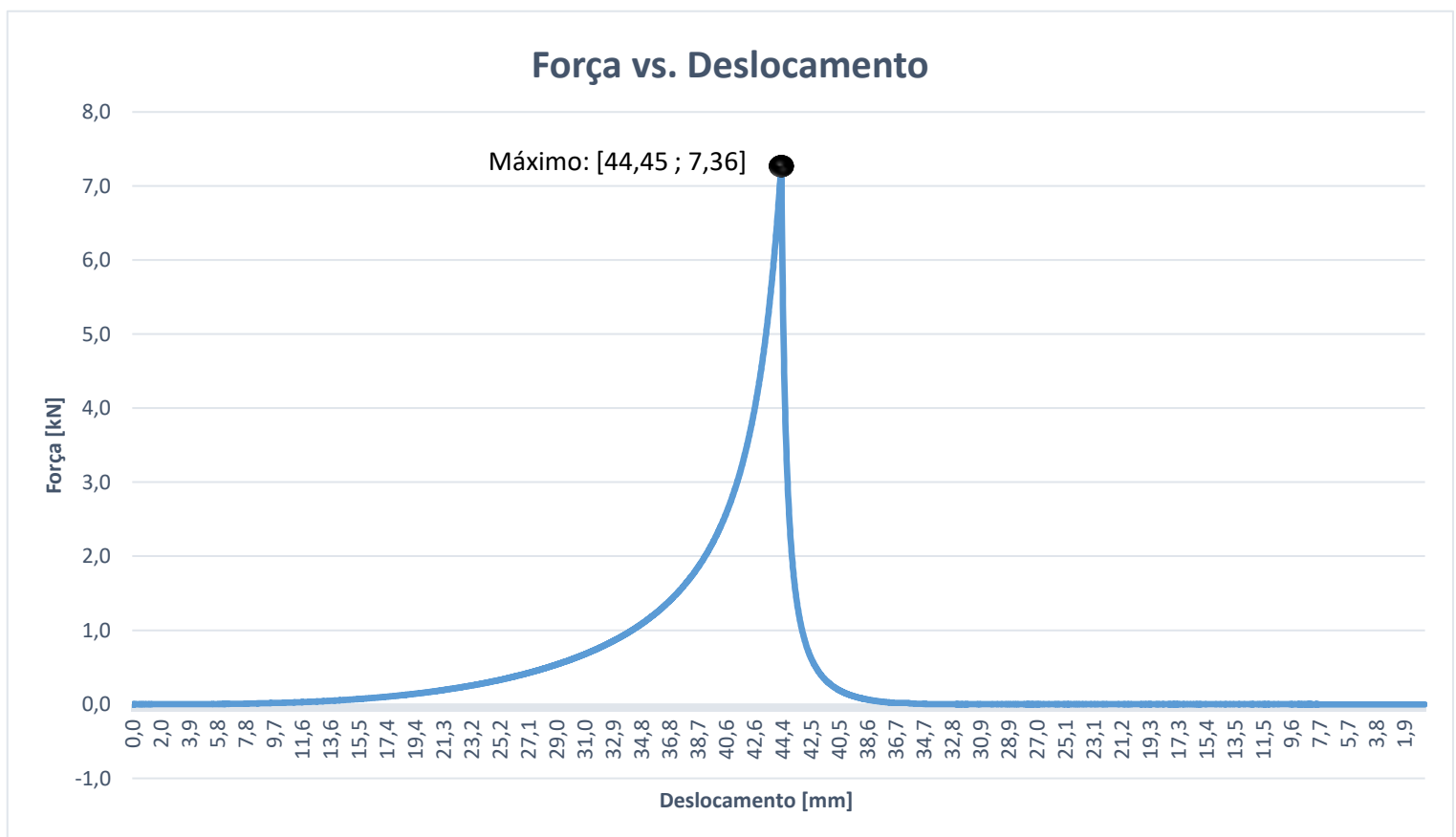
Tamanhos:

	c [mm]	l [mm]	h [mm]	L lateral [m]	L topo [m]
Prato	900.00	700.00	15.00	15.00	190.00
Mesa do Molde Inf	500.00	600.00	160.00	100.00	
Mesa do Molde Sup	500.00	600.00	30.00	20.00	

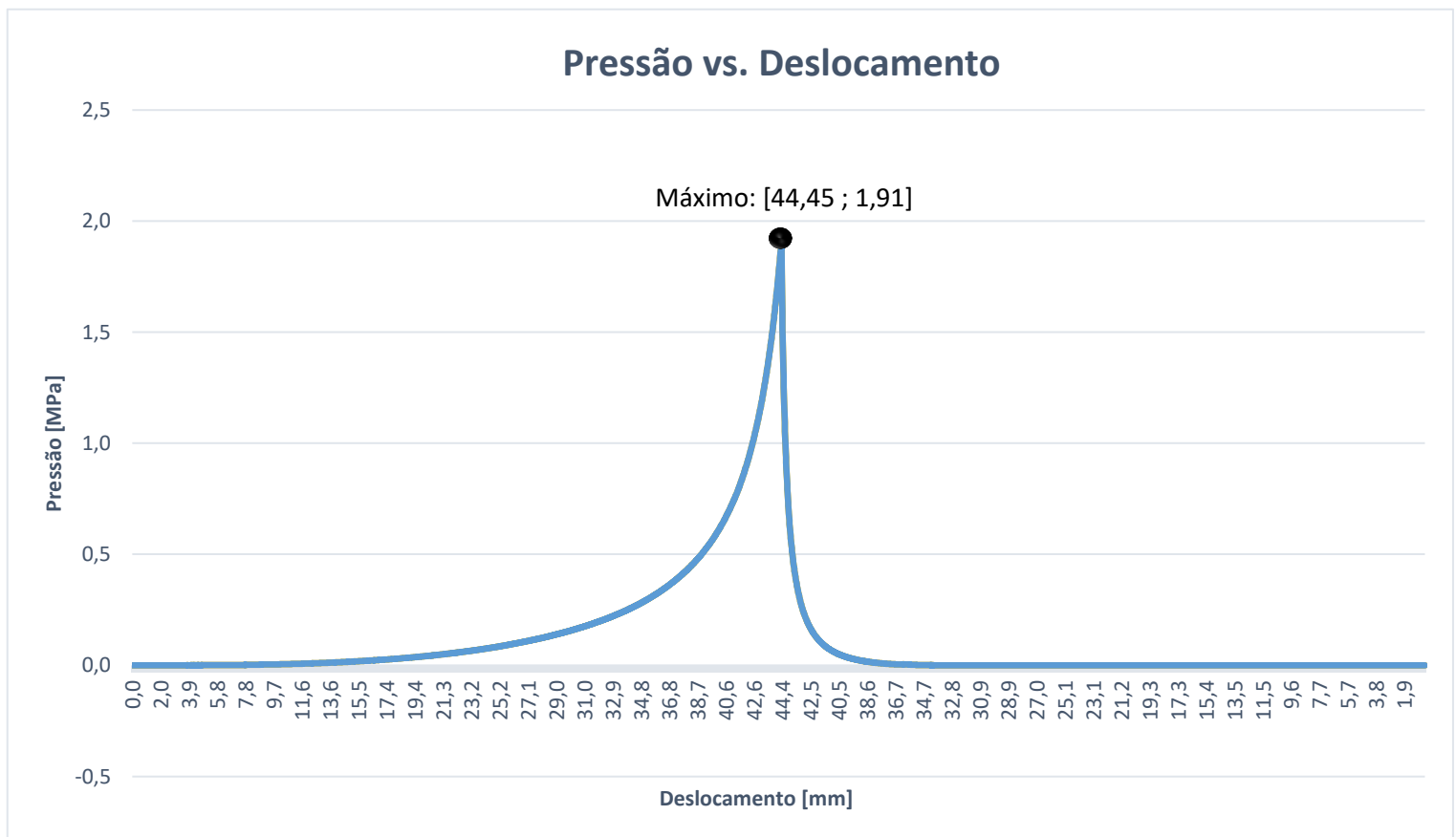
7.6 ANEXO F – TABELA EXCEL EXTRAÍDA DO SOFTWARE DO EQUIPAMENTO DE ENSAIO DE COMPRESSIBILIDADE DA CORTIÇA

	pressão		força		pressão		força	
	BD 0.5-1		Para densidade final de 500		BD 0.5-1 / MF5 50% 50%		Para densidade final de 500	
	mm	MPa	mm	kN	mm	MPa	mm	kN
7	0,036503	-2,14E-05	0,036503	-8,21E-05	0,016349	-0,000172607	0,016349	-0,00066
8	0,052203	-4,21E-05	0,052203	-0,000161873	0,032178	-0,000154226	0,032178	-0,00059
9	0,068898	0,000119	0,068898	0,00045617	0,049176	-0,000251491	0,049176	-0,00097
10	0,086544	0,00013	0,086544	0,000501412	0,066519	-0,000157503	0,066519	-0,00061
11	0,102461	1,59E-05	0,102461	6,10E-05	0,082306	-9,50E-05	0,082306	-0,00037
12	0,118679	-2,50E-05	0,118679	-9,60E-05	0,098914	-0,000241469	0,098914	-0,00093
13	0,136282	0,000162	0,136282	0,00062353	0,116517	-0,000237291	0,116517	-0,00091
14	0,152891	0,000121	0,152891	0,000464746	0,13252	-0,000215828	0,13252	-0,00083
15	0,168677	5,39E-05	0,168677	0,000207286	0,148782	-0,000170951	0,148782	-0,00066
16	0,185977	-2,27E-05	0,185977	-8,75E-05	0,166298	-0,00028109	0,166298	-0,00108
17	0,203191	0,000148	0,203191	0,000570984	0,18295	-0,000141024	0,18295	-0,00054
18	0,218848	0,000142	0,218848	0,000546637	0,198693	-0,000300849	0,198693	-0,00116
19	0,235586	0,000191	0,235586	0,000735258	0,216036	-0,000358442	0,216036	-0,00138
20	0,253232	0,000215	0,253232	0,000825227	0,233293	-0,000513136	0,233293	-0,00197
21	0,269018	0,000101	0,269018	0,000390346	0,248777	-0,000217003	0,248777	-0,00083
22	0,28541	9,80E-05	0,28541	0,000376734	0,265731	-0,000283192	0,265731	-0,00109
23	0,303186	0,000198	0,303186	0,000760329	0,283378	-0,000319307	0,283378	-0,00123
24	0,319405	0,00012	0,319405	0,000460465	0,299034	-0,000242074	0,299034	-0,00093
25	0,335408	0,000205	0,335408	0,000790005	0,315513	-0,000288199	0,315513	-0,00111
26	0,352881	0,000142	0,352881	0,000545006	0,333245	-0,000249985	0,333245	-0,00096
27	0,369576	0,000206	0,369576	0,000790594	0,349508	-0,000254849	0,349508	-0,00098
28	0,385492	0,00017	0,385492	0,000652536	0,365337	-0,000289962	0,365337	-0,00112
29	0,402403	0,000187	0,402403	0,000719774	0,38294	-0,00029628	0,38294	-0,00114
30	0,419833	0,000253	0,419833	0,000971956	0,399721	-0,000259541	0,399721	-0,001
31	0,435619	0,000202	0,435619	0,00077671	0,415465	-0,000303794	0,415465	-0,00117
32	0,452271	0,000193	0,452271	0,000740363	0,432549	-0,000335048	0,432549	-0,00129
33	0,469874	0,000175	0,469874	0,000674824	0,450065	-0,000455794	0,450065	-0,00175
34	0,48579	0,000136	0,48579	0,000521433	0,465679	-0,000319359	0,465679	-0,00123
35	0,502268	0,000136	0,502268	0,000524565	0,482287	-0,000268285	0,482287	-0,00103
36	0,519655	0,0001	0,519655	0,000385433	0,500063	-0,000325278	0,500063	-0,00125
37	0,535917	0,000106	0,535917	0,00040904	0,515936	-0,000227418	0,515936	-0,00087

7.7 ANEXO G – GRÁFICO FORÇA VS. DESLOCAMENTO



7.8 ANEXO H – GRÁFICO PRESSÃO VS. DESLOCAMENTO



7.9 ANEXO I – VISÃO GERAL DA FERRAMENTA DE CUSTEIO PARA PEÇAS MOLDADAS

Descrição Projeto: _____
 Código Projeto: _____
 Realizado por: _____

16/jun/21

Densidade [g/cm ³]	Voluma [cm ³]	Peso [gr]
300	0,00027	810


Material	Quantidade	€/kg	€/peça	Custo Material
	%	Lab (g)		
Resina AS	100%	8,1	€ 2,85	100%
GRAN MD 0,5/2	100%	7,22	€ 1,40	100%
Pigmento				
Outros				
Total	100%			
Quilbra			€ 1,53	€ 0,12
5%				€ 0,13

Processo		Investimento	
Tempo de Ciclo	0,35 minutos	Pressa	300.000 €
Cadência [ciclo/hora]	160	Misturador	20.000 €
Capacidades do Molde	5	Refrigeração Hidráulica	6.000 €
Postos de Trabalho	1	Linha Lixagem	10.000 €
Peças/hora	1.600	Moldes	
kg/hora	152		
kg/ano	1.076.800		
		Total	336.000 €

Custos de Operação	
Investimento	336.000 €
Amortização %	30%
Amortização/ano	100.800 €
Amortização/hora	2,82 €
Amortização/peça	0,20 €
EH/hora	20 €
EH/peça	0,12 €
Custo operação/hora	€ 27,17
Custo operação/kg	€ 0,17
Custo operação/peça	€ 0,014
PTI/kg	1,75 €
PTI/peça	0,34 €

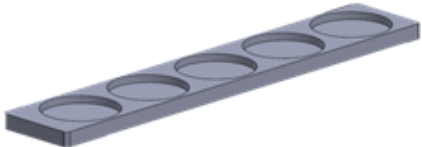
Recursos Humanos	
Alocação RH	1 pessoa
Turnos	3 turnos
horas/ano	2.160
horas/ano/pessoa	5328
€/hora/pessoa	20
€/ano/pessoa	106.560

Informação da Peça

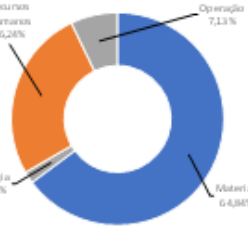


Notas: _____

Informação do Molde



Notas: verificar dimensões do molde com o fabricante
dimensões a partir de 5 para número de cavidades.

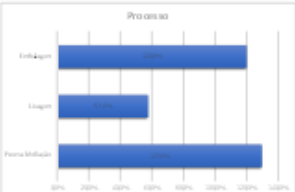


Materiais	€ 0,124	64,8%
Energia	€ 0,008	1,8%
Recursos Humanos	€ 0,050	26,2%
Operação	€ 0,014	7,1%
Total	€ 0,19	100%



Quantidades		Capacidades Previstas		Quantidades Previstas [kg]	
Quantidades Previstas		Anual	35.200.000	Anual	1.708.000
Anual	21.000.000	Mensal	1.350.000	Mensal	141.750
Mensal	1.750.000	Dia	45.000	Dia	6.750
Dia	58.333	Hora	2.000	Hora	300
Hora	2.593				
		Déficit de Necessidade:	4.600.000		

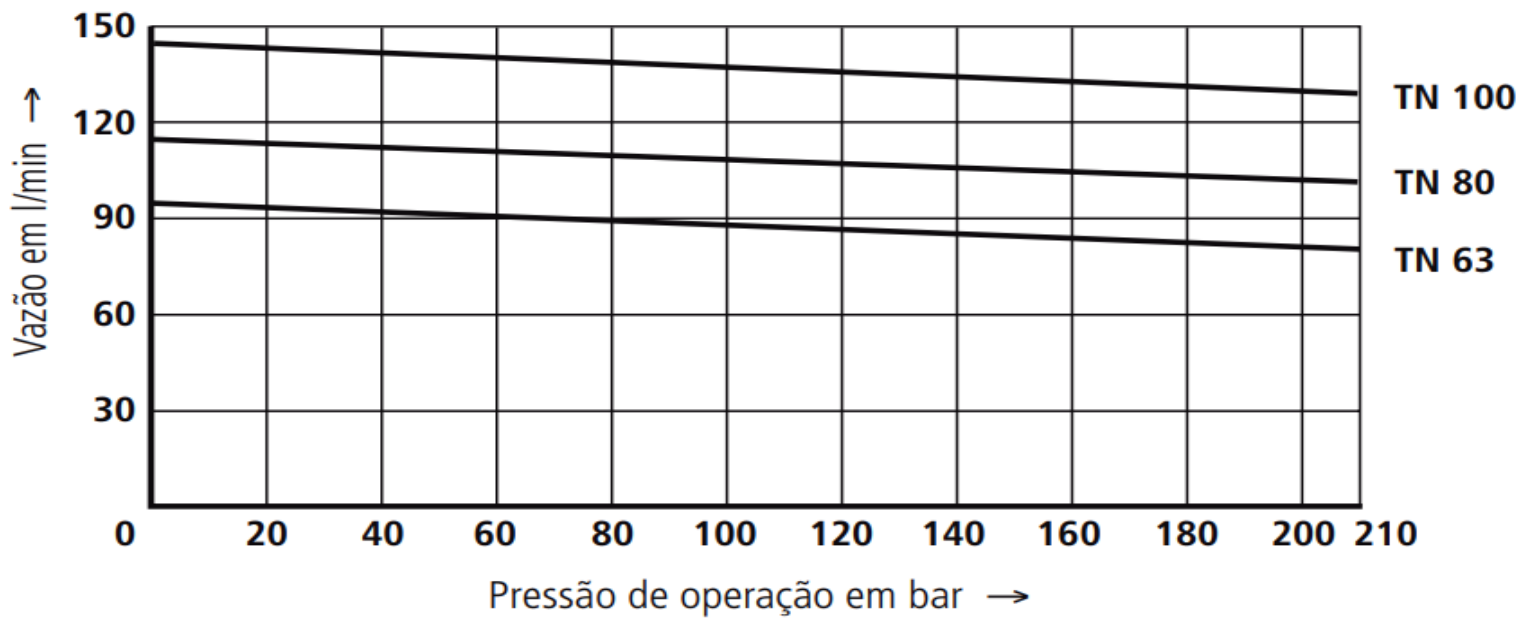
Máquina	Capacidade Mensal Bruta		Graup/ 1.750.000 peças	Taxa Ocupação
	Horas	Unid. Produto		
Pressa Moldação	6,75	1.350.000	8,75	120,6%
Lixagem	6,75	3.087.500	3,89	57,6%
Embalagem	6,75	1.458.000	8,10	120,0%



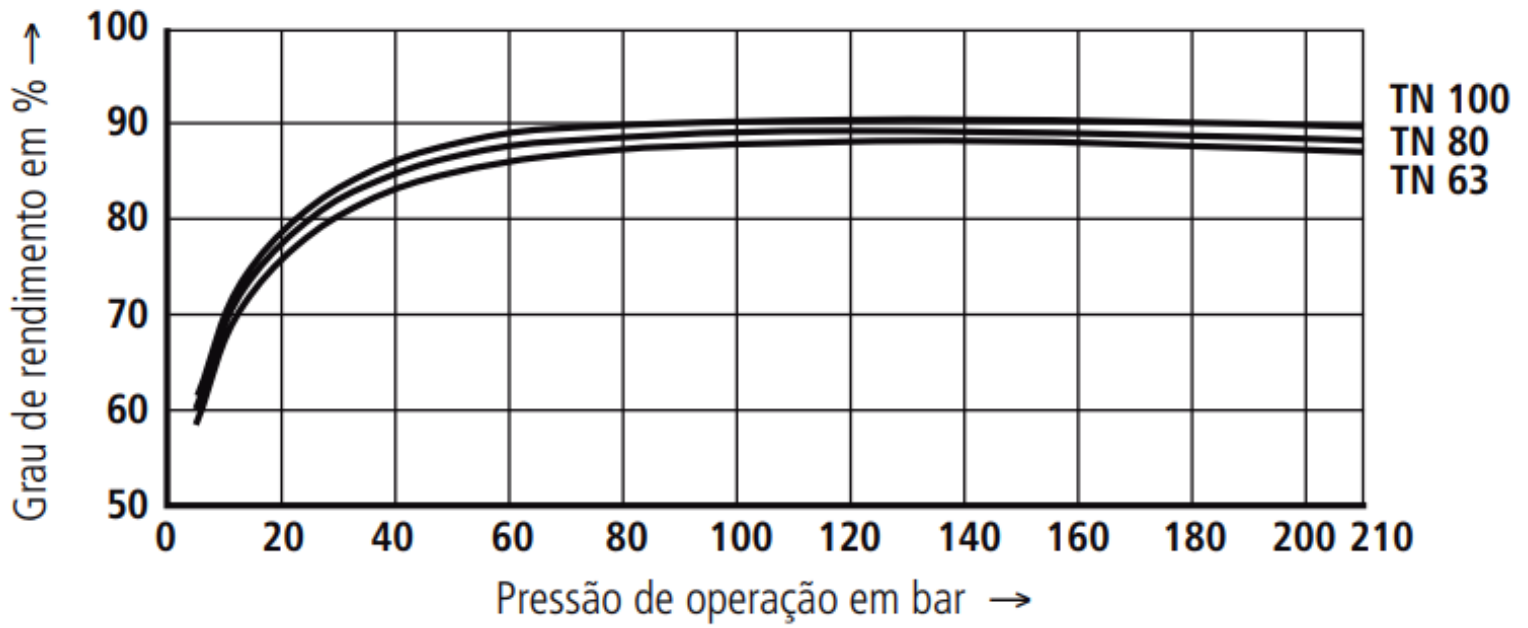
7.10 ANEXO J – TAMANHO CONSTRUTIVO PARA BOMBA HIDRÁULICA REXROTH – BOSCH GROUP

Tamanho Construtivo			TC 4							
Tamanho Nominal	TN		20	25	32	40	50	63	80	100
Massa	m	kg	13,5	14	14,5	15	16	17	18,5	20
Faixa de rotação	n_{\min}	rpm	500	500	500	500	500	400	400	400
	n_{\max}	rpm	3000	3000	3000	2600	2600	2600	2200	2200
Volume de deslocamento	V	cm ³	20,1	25,3	32,7	40,1	50,7	65,5	80,3	101,4
Vazão ¹⁾	q_v	l/min	28,9	36,3	46,9	57,6	72,8	94,0	115,3	145,6
Pressão de operação, absoluta			0,8 a 2 (por curto espaço de tempo na partida 0,6 bar)							
Entrada	p	bar								
Saída, contínuo	p_{\max}	bar					210	210	160	
	Fluido HLP		250				210	210	160	
	Fluido especial		175				140	140	100	
intermitente ²⁾	p_{\max}	bar					250	250	210	
	Fluido HLP		315				250	250	210	
	Fluido especial ⁴⁾		210				175	175	140	

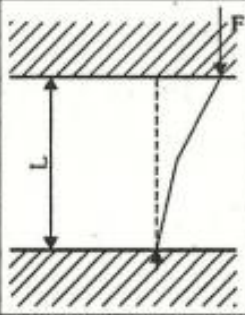
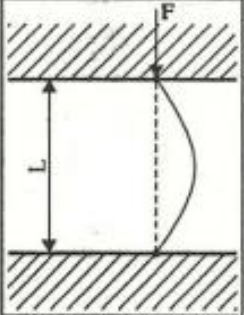
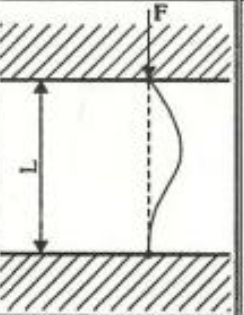
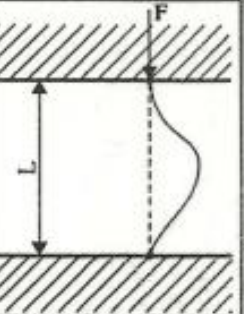
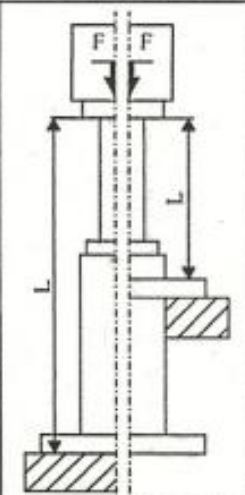
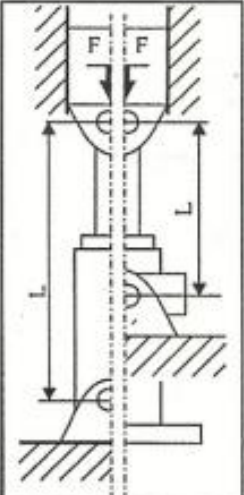
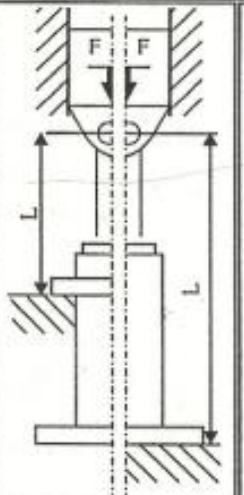
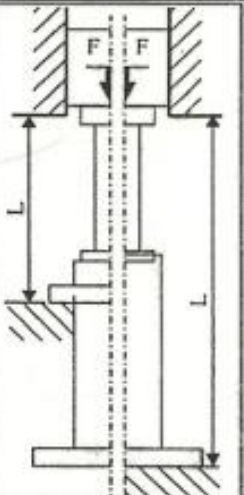
7.11 ANEXO K – CURVAS CARACTERÍSTICAS CAUDAL BOMBA HIDRÁULICA – REXROTH – BOSCH GROUP



7.12 ANEXO L – CURVAS CARACTERÍSTICAS RENDIMENTO BOMBA HIDRÁULICA – REXROTH – BOSCH GROUP



7.13 ANEXO M – CARGA DE EULER PARA DIMENSIONAMENTO DA HASTE

Cargas de Euler				
Carga de Euler	Caso 1 Uma extremidade livre e a outra fixa	Caso 2 (Caso básico) Duas extremidades articuladas	Caso 3 Uma extremidade articulada e outra fixa	Caso 4 Duas extremidades fixas
Representação Esquemática				
Comprimento Livre de Flambagem				
Situação de Montagem para Cilindros Hidráulicos	$\lambda = 2L$	$\lambda = L$	$\lambda = L \cdot (0,5)^{0,5}$	$\lambda = L/2$
				
Notas			Guiar a carga com cuidado, porque há possibilidade de travamento.	Inadequado, provável ocorrência de travamento.

Fonte: (Nestorproenzaperez, 2014)

7.14 ANEXO N – DIMENSÕES DA HASTE CONSOANTE DIÂMETRO DO CILINDRO

Ø do cilindro	Haste nº	MM Ø da haste	Estilo 4		Estilo 7		Estilo 9		B f9	D	NA	VE	WF	Apenas montagem JJ			
			KK	A	KK	A	KF	A						VL mín.	RD f8	VJ	FJ
25	1	12	M10x1,25	14	-	-	M8x1	14	24	10	11	16	25	3	38	6	10
	2	18	M14x1,5	18	M10x1,25	14	M12x1,25	18	30	15	17	16					
32	1	14	M12x1,25	16	-	-	M10x1,25	16	26	12	13	22	35	3	42	12	10
	2	22	M16x1,5	22	M12x1,25	16	M16x1,5	22	34	18	21	22					
40	1	18	M14x1,5	18	-	-	M12x1,25	18	30	15	17	16	35	3	62	6	10
	2	28	M20x1,5	28	M14x1,5	18	M20x1,5	28	42	22	26	22				12	
50	1	22	M16x1,5	22	-	-	M16x1,5	22	34	18	21	22	41	4	74	6	16
	2	36	M27x2	36	M16x1,5	22	M27x2	36	50	30	34	25				9	
	3	28	M20x1,5	28	M16x1,5	22	M20x1,5	28	42	22	26	22				6	
63	1	28	M20x1,5	28	-	-	M20x1,5	28	42	22	26	22	48	4	88	75	16
	2	45	M33x2	45	M20x1,5	28	M33x2	45	60	39	43	29				6	
	3	36	M27x2	36	M20x1,5	28	M27x2	36	50	30	34	25				13	
80	1	36	M27x2	36	-	-	M27x2	36	50	30	34	25	51	4	105	82	20
	2	56	M42x2	56	M27x2	36	M42x2	56	72	48	54	29				5	
	3	45	M33x2	45	M27x2	36	M33x2	45	60	39	43	29				9	
100	1	45	M33x2	45	-	-	M33x2	45	60	39	43	29	57	5	125	92	22
	2	70	M48x2	63	M33x2	45	M48x2	63	88	62	68	32				7	
	3	56	M42x2	56	M33x2	45	M42x2	56	72	48	54	29				10	
125	1	56	M42x2	56	-	-	M42x2	56	72	48	54	29	57	5	150	105	22
	2	90	M64x3	85	M42x2	56	M64x3	85	108	80	88	32				9	
	3	70	M48x2	63	M42x2	56	M48x2	63	88	62	68	32				10	
160	1	70	M48x2	63	-	-	M48x2	63	88	62	68	32	57	5	170	125	22
	2	110	M80x3	95	M48x2	63	M80x3	95	133	100	108	32				7	
	3	90	M64x3	85	M48x2	63	M64x3	85	108	80	88	32				10	
200	1	90	M64x3	85	-	-	M64x3	85	108	80	88	32	57	5	210	150	22
	2	140	M100x3	112	M64x3	85	M100x3	112	163	128	138	32				7	
	3	110	M80x3	95	M64x3	85	M80x3	95	133	100	108	32				10	

Fonte: (Hydraulics, 2015)

7.15 ANEXO O – CAPACIDADE DE SUCÇÃO EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA VENTOSA

Capacidade de sucção em função do diâmetro da ventosa		
Ø da ventosa	Capacidade de sucção V_s	
0 - 60 mm	0,5 m ³ /h	8,3 l/min
60 -120 mm	1,0 m ³ /h	16,6 l/min
120 - 215 mm	2,0 m ³ /h	33,3 l/min
215 - 450 mm	4,0 m ³ /h	66,6 l/min

7.16 ANEXO P – DESENHOS TÉCNICOS DAS PEÇAS MOLDADAS

<p>Technical drawing of a cylindrical part. The drawing includes a front view showing a height of 30 and a diameter of 30. The top edge is chamfered with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. A top view shows a circular cross-section with a diameter of 30 and chamfered edges with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. An isometric view is also provided.</p>	<p>Technical drawing of a cylindrical part. The drawing includes a front view showing a height of 12 and a diameter of 30. The top edge is chamfered with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. A top view shows a circular cross-section with a diameter of 30 and chamfered edges with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. An isometric view is also provided.</p>	<p>Technical drawing of a square part. The drawing includes a front view showing a height of 12 and a width of 40. The top edge is chamfered with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. A top view shows a square cross-section with a side length of 40 and chamfered edges with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. An isometric view is also provided.</p>																																																												
<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição					<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição					<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição				
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											
<p>Technical drawing of a rectangular part. The drawing includes a front view showing a length of 84, a width of 12, and a height of 13.5. A top view shows a rectangular cross-section with a length of 84 and a width of 12. An isometric view is also provided.</p>	<p>Technical drawing of a semi-cylindrical part. The drawing includes a front view showing a height of 12 and a diameter of 30. The top edge is chamfered with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. A top view shows a semi-circular cross-section with a diameter of 30 and chamfered edges with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. An isometric view is also provided.</p>	<p>Technical drawing of a triangular part. The drawing includes a front view showing a height of 12 and a width of 30. The top edge is chamfered with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00. A top view shows a triangular cross-section with a base of 30 and a height of 12. Chamfered edges with a 45-degree angle and a chamfer width of 3.00 are shown. An isometric view is also provided.</p>																																																												
<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição					<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição					<table border="1"> <tr><td>Nome</td><td></td><td>Nome do documento</td><td></td></tr> <tr><td>Classe</td><td></td><td>Propriedade legal</td><td></td></tr> <tr><td>Colégio de Freguesia</td><td></td><td>Departamento Responsável</td><td></td></tr> <tr><td>Estado de conservação</td><td></td><td>Estado</td><td>Estado de edição</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Nome		Nome do documento		Classe		Propriedade legal		Colégio de Freguesia		Departamento Responsável		Estado de conservação		Estado	Estado de edição				
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											
Nome		Nome do documento																																																												
Classe		Propriedade legal																																																												
Colégio de Freguesia		Departamento Responsável																																																												
Estado de conservação		Estado	Estado de edição																																																											

7.17 ANEXO Q – PROPOSTA FINAL AUTOMATIZAÇÃO ALIMENTAÇÃO

