



Otimização de uma linha de moldação da indústria da cortiça

EDUARDO LUÍS SEQUEIRA MOREIRA

julho de 2023

OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MOLDAÇÃO DA INDÚSTRIA DA CORTIÇA

Eduardo Luís Sequeira Moreira

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

OTIMIZAÇÃO DE UMA LINHA DE MOLDAÇÃO DA INDÚSTRIA DA CORTIÇA

Eduardo Luís Sequeira Moreira

1180925

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 Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto e coorientação do Mestre João Manuel Pinho Ribeiro

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Agradecer é o ato de reconhecer a importância dos outros na nossa vida. A escrita da dissertação é um caminho solitário. No entanto, algumas pessoas tornaram-no menos difícil, a elas devo o meu agradecimento.

Em primeiro lugar, tenho de agradecer aos meus pais. Sem eles nada seria possível, eles formaram-me enquanto pessoa e acompanharam toda a minha evolução, sendo o meu amparo e exemplo de pessoas integras, dedicadas e profissionais exímios. Tenho ainda de agradecer ao meu irmão, o Pedro, que apesar de mais novo, tornou-se no meu companheiro de vida e melhor amigo.

À minha família, avós, tios, primos e todas as pessoas que mesmo não sendo do meu sangue, me aplaudem nas conquistas e apoiam nos momentos mais difíceis. Com eles aprendi que família é a maior riqueza que o Homem pode ter. Não poderia deixar de mencionar a minha namorada, que é tantas vezes a minha confidente e que caminhou de mãos dadas comigo, motivando-me, sendo paciente e ajudando-me neste percurso académico.

Ao meu orientador, Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto e Mestre João Manuel Pinho Ribeiro, pela disponibilidade prestada e pelos ensinamentos transmitidos.

Por fim, não posso deixar de agradecer aos meus orientadores de estágio, Eng.º Floriano Silva e Eng.º Luís Ferrete por serem tão prestáveis, por me acompanharem no meu primeiro contacto com o mundo profissional, me transmitirem conhecimentos que, certamente, levarei para a vida e pelo exemplo de profissionais dedicados que são.

página propositadamente em branco

RESUMO

A cortiça tem vindo a ser utilizada nos mais variados campos, nomeadamente como pavimento e revestimento, devido às suas excelentes propriedades tais como isolante térmico, isolante sonoro e absorção de vibração. Por estes motivos, as mais variadas aplicações para este material nobre e altamente versátil tem vindo a ser desenvolvidas.

A moldação por compressão é uma das aplicações, onde através de calor e pressão é possível obter peças com as mais variadas formas que retém as melhores propriedades da cortiça. De forma a melhorar e possivelmente corrigir possíveis erros no processo de moldação, desenho assistido por computador pode ser usado em conjunto com os processos convencionais de desenho e concessão de moldes.

A presente dissertação tem como principais objetivos aumentar a qualidade das peças produzidas, prolongar o tempo de vida dos moldes, reduzir o tempo de operação e o consumo de matéria-prima, além de diminuir os tempos de setup. Para tal, foi realizado um estudo bibliográfico abrangendo a cortiça, técnicas de moldação, CAD (*Computer-Aided Design*) e a metodologia SMED (*Single-Minute Exchange Die*).

Após identificar os problemas, foram implementadas melhorias, tais como aprimoramento do peneiro, introdução de alimentação e extração automáticas, aumento da versatilidade das prensas, modificação do revestimento dos moldes, criação de um plano de manutenção autónoma, aplicação da metodologia SMED para reduzir o tempo de troca de moldes, desenvolvimento de um novo molde e análise do seu aquecimento, elaboração de instruções de processo e reorganização do layout da linha.

Os resultados obtidos foram significativos, incluindo uma redução de 60% no tempo de alimentação, 70% no tempo de extração, 75% no tempo de troca de moldes, aumento da versatilidade das prensas com a utilização de diferentes moldes, redução de 29% na taxa de rejeição e aumento do tempo de vida dos moldes com a alteração do revestimento. Além disso, houve uma economia de 20% no orçamento do novo molde com o estudo de aquecimento e o desenho aprimorado, bem como melhorias no fluxo de produção por meio da reorganização do layout.

Palavras-chave: Cortiça, Moldação, CAD, SMED.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Cork has been widely used in various fields, such as flooring and wall coverings, due to its excellent properties, including thermal insulation, sound insulation, and vibration absorption. For these reasons, diverse applications for this noble and highly versatile material have been developed.

Compression molding is one such application, where heat and pressure are used to create parts with various shapes that retain the best properties of cork. To improve and potentially correct any errors in the molding process, computer-aided design can be used in conjunction with conventional mold design and manufacturing processes.

The main objectives of this dissertation are to enhance the quality of produced parts, prolong mold lifespan, reduce operation time and raw material consumption, as well as decrease setup times. To achieve these goals, a comprehensive literature review was conducted, covering topics such as cork, molding techniques, CAD (Computer-Aided Design), and the SMED (Single-Minute Exchange Die) methodology.

After identifying the issues, several improvements were implemented, including the enhancement of sieving processes, introduction of automatic feeding and extraction, increased press versatility, modification of mold coatings, creation of an autonomous maintenance plan, application of the SMED methodology to reduce mold changeover time, development of a new mold with heating analysis, formulation of process instructions, and reorganization of the production line layout.

Significant results were obtained, including a 60% reduction in feeding time, 70% reduction in extraction time, 75% reduction in mold changeover time, increased press versatility with the use of different molds, a 29% decrease in rejection rate, and extended mold lifespan through coating modifications. Additionally, a 20% budget reduction was achieved for the new mold through heating analysis and improved design, along with production flow enhancements resulting from the layout reorganization.

Keywords: Cork, Molding, CAD, SMED.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	XII
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIV
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Contextualização	16
1.2. Objetivos	16
1.3. Metodologia	17
1.4. Estrutura do Relatório	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. Introdução à Cortiça.....	19
2.1.1. Origens	19
2.1.2. Principais Propriedades.....	20
2.1.3. Tipos de Granulados	22
2.2. Moldação.....	26
2.2.1. Tipos de moldes Industriais	27
2.2.1.1. Indústria Vidreira.....	28
2.2.1.2. Indústria Cerâmica	29
2.2.1.3. Indústria Termoplásticos.....	30
2.2.2. Moldação de Cortiça	32
2.3. CAD	35
2.4. LEAN	38
2.4.1. SMED.....	39
3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DOS PROCESSOS E DOS PROBLEMAS	43
3.1. Caracterização da empresa	43
3.2. Caracterização do processo.....	44
3.3. Caracterização dos problemas	46
4. IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIA, RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Otimização do ciclo	47
4.1.1. Peneiro	48
4.1.2. Extração.....	51
4.1.3. Alimentação	56
4.2. Alterações dos equipamentos.....	61
4.2.1. Curso da tampa da prensa	61
4.2.2. Velocidade de descida da tampa	63
4.2.3. Flexibilidade dos equipamentos	64
4.2.4. Alteração do revestimento	66

4.3. Manutenção autónoma.....	67
4.4. SMED	69
4.5. Desenho de moldes.....	78
4.5.1. Modelação	79
4.5.2. Análise Térmica.....	86
4.6. Instruções de processo.....	94
4.7. Layout.....	98
5. CONCLUSÃO	102
5.1. Conclusões face aos objetivos.....	102
5.2. Trabalhos futuros	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
APÊNDICE A – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 1 (CILINDROS GRANDES)	107
APÊNDICE B – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 2 (CILINDROS GRANDES)	108
APÊNDICE C – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 1 (TRIÂNGULOS)	109
APÊNDICE D – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 2 (TRIÂNGULOS)	110
APÊNDICE E – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO APÓS AS ALTERAÇÕES (CILINDROS GRANDES).....	111
APÊNDICE F – PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA DAS PRENSAS HIDRÁULICAS.....	112
APÊNDICE G – PLANOS DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA DE MISTURADOR E PENEIRO	113
APÊNDICE H – INSTRUÇÃO OPERATIVA	114
APÊNDICE I – OPL	135
APÊNDICE J – TROUBLESHOOTING.....	138

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Scan de microscópio eletrónico de varrimento de cortiça tratados a 350 °C: secção tangencial (esquerda) e secção radial (direita) [6].	21
Figura 2 - Curvas de tensão-deformação para a compressão da cortiça e análise por microscopia eletrónica de varrimento [6].	22
Figura 3 - Cortiça virgem e cortiça amadia [7].	23
Figura 4 - Esquema das 3 fases de descortiçamento na vida de um sobreiro [9].	23
Figura 5 - Pranchas em período de repouso [9].	24
Figura 6 - Exportação Nacionais da Indústria de Moldes [13].	26
Figura 7 - Participação de mercado da indústria portuguesa de moldes [13].	27
Figura 8 - Diagrama do processo GMP [19].	28
Figura 9 - Etapas do processo de fabrico de uma peça cerâmica [21].	29
Figura 10 - Representação esquemática de uma máquina de moldação por injeção [25].	31
Figura 11 - Misturador em funcionamento.	32
Figura 12 - Etapas básicas do processo de moldação por compressão: a cavidade do molde é preenchida com a mistura de cortiça e resina (a); o material é comprimido por uma prensa hidráulica (b); o molde é fechado e curado num forno (c); por fim, uma vez arrefecido, o aglomerado pode ser desmoldado (d) [27].	33
Figura 13 - Peças criadas pelo processo de moldação.	34
Figura 14 - Fluxograma do processo de moldação.	34
Figura 15 - Homem a utilizar o <i>SketchPad</i> [29].	35
Figura 16 - Representação do componente [32].	37
Figura 17 - Representação dos componentes base do molde [32].	37
Figura 18 - Conjunto de todos os componentes do molde [32].	37
Figura 19 - Características do <i>Lean Manufacturing</i> [33].	38
Figura 20 - Aplicação da Metodologia SMED [39].	40
Figura 21 - Organograma da empresa.	43
Figura 22 - Processamento de matéria-prima.	44
Figura 23 - Prensa hidráulica.	45
Figura 24 - Layout inicial da linha de produção.	46
Figura 25 - Peneiro inicial.	49
Figura 26 - Rede e caixa do peneiro alterado.	49
Figura 27 - Motor Vibratório do peneiro alterado.	49
Figura 28 - Rede e caixa do novo peneiro.	50
Figura 29 - Motor Vibratório do novo peneiro.	50
Figura 30 - Cavidades de molde desgastadas.	52
Figura 31 - Molde sem alterações.	53
Figura 32 - Molde com alterações.	53
Figura 33 - Acessório de elevação.	53
Figura 34 - Acessório de Extração.	53
Figura 35 - Modelo de acessório de extração em SolidWorks.	55
Figura 36 - Amostra de escova.	55

Figura 37 - Comparação entre a cavidade com a limpeza pela escova vs. limpeza com ar comprimido	56
Figura 38 - Vista lateral do alimentador automático	58
Figura 39 - Vista superior do alimentador automático	58
Figura 40 - Acessório para enchimento.....	58
Figura 41 - Solução para varrimento	60
Figura 42 - Suporte para sensor	62
Figura 43 - Fim de curso inicial.....	63
Figura 44 - Fim de curso alterado.....	63
Figura 45 - Mecanismo de redução de caudal aberto.....	63
Figura 46 - Mecanismo de redução de caudal fechado	63
Figura 47 - Extensão do curso da tampa	64
Figura 48 - Molde com chapa intermédia nova	65
Figura 49 - Chapa inferior.....	65
Figura 50 - Chapa superior	65
Figura 51 - Molde na prensa com alterações.....	66
Figura 52 - Revestimento anterior	67
Figura 53 - Novo revestimento.....	67
Figura 54 - Plano de manutenção autónoma.....	68
Figura 55 - Bomba de massa manual	69
Figura 56 - Boca de inserção de massa	69
Figura 57 - Plataforma elevatório com rolos.....	72
Figura 58 - Representação esquemática das forças do parafuso	72
Figura 59 - Especificações do parafuso	72
Figura 60 - Parafusos de olhal instalados.....	73
Figura 61 - Stacker da marca Still	73
Figura 62 - Linga de quatro pontos	74
Figura 63 - Acessório de elevação para stacker	74
Figura 64 - Aperto superior do molde.....	75
Figura 65 - Aperto inferior do molde	75
Figura 66 - Folha de setup externo	75
Figura 67 - Bancada de trabalho	76
Figura 68 - Linga de quatro pontos presa pela cinta nos garfos do stacker	76
Figura 69 - Ganchos presos nos parafusos olhal.....	77
Figura 70 - Cilindro grande em cortiça.....	79
Figura 71 - Caixa de diálogo da ferramenta Extruded Boss/Base	80
Figura 72 - Preview da peça a etapa	80
Figura 73 - Criação do chanfro no cilindro	81
Figura 74 - Peça real.....	81
Figura 75 - Peça dividida	81
Figura 76 - Utilização da ferramenta " <i>Parting Line</i> "	82
Figura 77 - Peça com a superfície de partição	82
Figura 78 - Utilização da ferramenta " <i>Tooling Split</i> "	83
Figura 79 - Peça com os novos corpos sólidos criados.....	83
Figura 80 - Equações utilizadas na criação do molde.....	84

Figura 81 - Caixa de útil da peça.....	84
Figura 82 - Caixa de diálogo da ferramenta "Cut Extrude"	85
Figura 83 - Secção da caixa de enchimento	85
Figura 84 - Base do molde com o fundo da peça	85
Figura 85 - Réplica do molde real.....	86
Figura 86 - Secção do molde real	86
Figura 87 - Molde protótipo aberto	87
Figura 88 - Molde protótipo fechado	87
Figura 89 - Primeira solução para molde industrial	87
Figura 90 - Valores de coeficiente de transferência de calor [48]	88
Figura 91 - Vista em secção das resistências inseridas nos pratos	89
Figura 92 - Simulação de aquecimento com molde aberto	90
Figura 93 - Simulação de aquecimento com molde fechado	91
Figura 94 - Estudo de aquecimento com resistências cilíndricas.....	91
Figura 95 - Estudo de aquecimento com resistências retangulares	92
Figura 96 - Estudo de aquecimento com resistências em L.....	93
Figura 97 - Instrução operativa da prensa hidráulica.....	94
Figura 98 - OPL processo de produção.....	96
Figura 99 - <i>Troubleshooting</i> do processo de moldação	97
Figura 100 - Esboço inicial do layout.....	98
Figura 101 - Layout inicial em SolidWorks	99
Figura 102 - Solução 1 de layout aumentado	100
Figura 103 - Solução 2 de layout aumentado	100
Figura 104 - Solução de layout reduzido.....	100

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas da metodologia <i>Action Research</i>	17
Tabela 2 - Estrutura da Dissertação	18
Tabela 3 - Matérias-primas e o respetivo processo de fabrico.....	28
Tabela 4 - Fatores do sistema <i>Lean Manufacturing</i>	39
Tabela 5 - Etapas da implementação das metodologias SMED	40
Tabela 6 - Aplicações industriais de SMED.....	41
Tabela 7 - Aplicações industriais de SMED (continuação)	42
Tabela 8 - Problemas encontrados na análise inicial	46
Tabela 9 - Tempo médio das etapas do ciclo	48
Tabela 10 – Tempo de extração das 100 peças do molde (Turno 1)	51
Tabela 11 - Tempo de extração das 100 peças do molde (Turno 2)	52
Tabela 12 - Novos tempos de extração.....	54
Tabela 13 - Tempos iniciais de alimentação	57
Tabela 14 – Tempos de enchimento com acessório manual	59
Tabela 15 - Tempos de enchimento com escova	60
Tabela 16 - Tempos de enchimento com solução de varrimento.....	61
Tabela 17 - Folha de observação de troca de moldes.....	70
Tabela 18 - Folha de observação de troca de moldes (continuação)	71
Tabela 19 - Folha de observação de troca de moldes após SMED.....	77
Tabela 20 - Folha de observação de troca de moldes após SMED (continuação)	78
Tabela 21 - Moldes e informações	78
Tabela 22 - Moldes e informações (continuação).....	79
Tabela 23 - Valores de condutância [49].....	89

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CIPR	Código Internacional de Práticas Rolheiras
CMS	<i>Cork Moulded Solutions</i>
FIS	<i>Fuzzy Inference System</i>
GMP	<i>Glass Molding Process</i>
GMT	<i>Grain Materials Technology</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HP	<i>Hot Pressing</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
METIP	Metodologias de Investigação e Planeamento (unidade curricular do curso de Mestrado de Engenharia Mecânica do ISEP)
OPL	<i>One Point Lesson</i>
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
SMED	<i>Single Minute Exchange Die</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

Lista de Símbolos

A	Área	m^2
h_c	Condutância	$W/(m^2 * K)$
R_t	Resistência térmica	$(m^2 * K)/W$

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Os seguintes subcapítulos servem para enquadrar o trabalho desenvolvido no seu contexto, apresentar os seus objetivos, a metodologia adotada para o seu desenvolvimento e a estrutura do mesmo.

1.1. Contextualização

Desde a sua fundação, a indústria da cortiça tem vindo a sofrer alterações constantes, apostando cada vez mais na sustentabilidade e na versatilidade. É graças às propriedades e características desta matéria-prima que nasce a possibilidade da criação de novos produtos com recurso a aglomerados de vários tipos de cortiça e até mesmo através da criação de materiais compósitos com cortiça e, por exemplo, borracha ou polímeros.

Com o estudo das propriedades intrínsecas da cortiça foi-se descobrindo que esta poderia ser competitiva em mercados dominados por outros materiais. Mercados como o de pavimentos ou o do isolamentos entre paredes, onde o isolamento térmico e o controlo de vibrações são de extrema importância, assistiram à introdução de um novo concorrente pelo meio da cortiça.

O principal problema com a criação de produtos em cortiça era, até então, o desperdício de matéria-prima que ocorria com o fabrico dos produtos mais complexos. Estes tinham de ser cortados ou maquinados, o que resulta na destruição de grande parte deste material pela criação de pó, que era posteriormente queimado para alimentar caldeiras a biomassa.

É neste sentido que surge a moldação por compressão de aglomerados de cortiça, um processo de fabrico desenvolvido com o intuito de responder às necessidades de um mercado em constante evolução. Este processo criou a possibilidade de fabricar peças com algum grau de complexidade que outros processos mais tradicionais de fabrico gerariam muito desperdício.

Embora já estabelecida, a moldação de cortiça à compressão ainda apresenta algumas falhas. Assim, surge a oportunidade de realização do presente trabalho em ambiente industrial numa empresa líder neste tipo de material, no setor da moldação, onde foi possível desenvolver esta tecnologia com o auxílio de CAD (*Computer Aided Design*) e otimizar o seu processo produtivo com o uso de ferramentas *Lean*, de forma a aumentar a sua competitividade, reduzindo o desperdício de matéria-prima e melhorando o processo automatizado já existente.

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo a otimização do processo já existente de moldação por compressão de cortiça, nomeadamente dos moldes utilizados para os diferentes produtos de forma a melhorar não só a qualidade das peças produzidas nestes moldes, como a longevidade dos mesmos. Outra meta será a melhoria da linha de produção através de alterações às prensas de forma a otimizar o processo de fabrico, reduzindo os tempos de operação e o desperdício de matéria-prima. Será ainda empregue a metodologia SMED de forma a reduzir tempos em operações de manutenção e de tempos de *setup*, nomeadamente os tempos da troca de moldes.

1.3. Metodologia

Nesta secção é apresentada uma das etapas necessárias para concretizar o trabalho, a metodologia, que seguiu o princípio *Action Research*, podendo ser definida como uma pesquisa participativa. Esta metodologia guiou todo o trabalho desenvolvido, com base nos quatro passos fundamentais, descritos na Tabela 1, começando por uma revisão literária sobre os temas a aplicar e posteriormente a sua aplicação em cenário real na empresa.

Tabela 1 - Etapas da metodologia *Action Research*

Fase	Trabalho a realizar
Diagnóstico	Análise do processo existente, através da identificação de processos-chave e falhas nos mesmos.
Planear	Identificar ações de forma a corrigir falhas nos pontos críticos identificados anteriormente.
Implementação	Implementar as ações corretivas definidas anteriormente.
Avaliação	Analisar e examinar os resultados das ações implementadas.

No final do último passo, a avaliação, e se necessário, é possível recomeçar o ciclo, uma vez que a avaliação pode não ser positiva, sendo possível desta forma a obtenção de melhores resultados, conjugando o conhecimento científico com o organizacional.

A elaboração deste trabalho seguiu a seguinte metodologia:

- Estudo do processo que existe atualmente na empresa;
- Identificação de problemas;
- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre os tópicos abordados neste trabalho;
- Visita a fornecedores;
- Estudo de potenciais soluções para os problemas identificados;
- Avaliação, mediante critérios pré-definidos, das soluções estudadas;
- Desenvolvimento de um plano de ações;
- Implementação das melhorias estudadas;
- Análise dos resultados obtidos após a implementação das melhorias.

1.4. Estrutura do Relatório

O presente relatório está estruturalmente dividido em sete capítulos. Desta forma, a sua leitura e a sua interpretação durante a apresentação são facilitadas. Na Tabela 2 são apresentados todos estes capítulos, bem como um resumo dos mesmos.

Tabela 2 - Estrutura da Dissertação

Capítulo	Resumo
Introdução	Apresentação do trabalho a desenvolver, juntamente com os seus objetivos e metodologia.
Revisão Bibliográfica	Pesquisa bibliográfica sobre os temas Cortiça, Moldação, CAD e SMED, a fim de sustentar o trabalho desenvolvido em capítulos seguintes.
Caracterização da empresa, dos processos e dos problemas	Apresentação da empresa, dos processos produtivos e dos problemas a resolver.
Desenvolvimento e Resultados	Apresentação das soluções desenvolvidas como resposta aos problemas e os resultados das ações efetuadas.
Conclusões	Apresentação das conclusões dos resultados obtidos face aos objetivos apresentados e ainda propostas para o futuro.
Referências Bibliográficas	Listagem de todos os artigos científicos, revistas e <i>websites</i> consultados ao longo do trabalho.
Apêndices	Material extra contendo tempos de ciclo e instruções de processo, entre outros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos seguintes subcapítulos é apresentada a revisão bibliográfica, onde será efetuado um breve estudo sobre a Cortiça, a moldação por compressão, CAD e a metodologia SMED, que irá servir de base teórica para o trabalho desenvolvido e apresentado no capítulo 4. Esta revisão foi efetuada de acordo com o tema proposto e utilizando fontes de informação relevantes para o mesmo.

2.1. Introdução à Cortiça

A cortiça é um produto natural obtido a partir da casca exterior de uma espécie de carvalho, o sobreiro. As camadas de cortiça que são produzidas na casca da árvore, formam um envelope contínuo com espessura apreciável à volta do tronco e dos ramos. A cortiça pode ser removida do caule sem pôr em perigo a vitalidade da árvore, que depois reconstrói uma nova camada de cortiça. Esta é a base de produção sustentável de cortiça durante a longa vida útil do sobreiro [1].

Uma mudança de paradigma para a conceção de materiais compatíveis com o ambiente foi trazida pela legislação governamental e por um aumento global da consciência ambiental. As fibras naturais têm atraído muito interesse nos últimos 20 anos como alternativa aos reforços de fibras sintéticas em materiais poliméricos [2].

Os usos industriais mais conhecidos da cortiça são as rolhas de cortiça para a indústria vinícola, placas isolantes, revestimentos de paredes e pavimentos, materiais bio absorventes, juntas adesivas, e algumas indústrias de nicho como porta-chaves flutuantes ou solas de sapatos [3].

2.1.1. Origens

A notável combinação de propriedades na cortiça tem sido explorada pelo homem desde os tempos antes de Cristo. Tem sido utilizada principalmente em barcos de pesca, solas de sapatos e para selar frascos e garrafas de vinho. Para esta última aplicação, ainda hoje não se conhece melhor material, devido à junção das propriedades elásticas particulares, e estabilidade química da cortiça, que também é impermeável a líquidos e não sendo, também, afetada pela atividade microbiológica [4].

A cortiça era utilizada pelos antigos egípcios para fins domésticos, de pesca e náuticos. Sem sequer imaginar que o estilo seria incluído nos desfiles das casas de alta-costura mais proeminentes do século XXI, os antigos egípcios fizeram a escolha avançada de utilizar este material para as solas do seu calçado. A Civilização Romana continuou a investigar os benefícios da cortiça nas palmilhas de sapatos, mas também expandiu os seus horizontes, utilizando-a para selar ânforas para o transporte de líquidos e mesmo dentro das próprias casas para cobrir tetos e telhados.

Esta matéria-prima orgânica foi ainda utilizada pelas caravelas portuguesas durante a Era dos Descobrimentos quando se aventuraram a explorar novas terras e mais recentemente utilizada em equipamento militar para a Segunda Guerra Mundial [5].

2.1.2. Principais Propriedades

O tecido de cortiça é compacto, desprovido de espaços intercelulares, e com disposição no formato de favo de mel. As células deste tecido biológico são todas do mesmo tipo de células parenquimatosas mortas, com interiores ocos e cheios de ar. As células são prismáticas, tipicamente hexagonais, e empilhadas de base a base com o seu alinhamento apontado na direção radial da árvore. Uma célula mãe de um câmbio cortical dá origem a todas as células de uma única fila radial: após a divisão celular, a célula de cortiça desenvolve-se e depois espalha-se numa orientação radial. As filas das células estão dispostas paralelamente entre si e as bases dos prismas são posicionadas em posições escalonadas em filas vizinhas [6].

A espessura das membranas celulares varia entre as células da Primavera e do Verão (1 a 1,25 μm) e as células do Outono e do Inverno (2 a 2,5 μm). Este facto afeta as características físicas da cortiça juntamente com a maior ou menor dimensão das células. Isto torna a cortiça de crescimento rápido menos densa, mais compressível, e menos elástica do que a cortiça fina, que tem uma espessura de anéis suberosos mais fina [7].

As lamelas principais das paredes celulares são ricas em lignina e celulose, enquanto a camada secundária - que é mais espessa - é constituída por lamelas alternadas de suberina e ceras. Um copolímero de monómeros longos (18-30 átomos de carbono) e ésteres aromáticos compõe a suberina. Um polímero reticulado composto por álcoois produzidos a partir de 1-fenilpropano, a lignina é um pouco aromática. Graças à sua estrutura celular única e eficaz, a cortiça permite um excelente isolamento térmico e acústico [4].

Devido às propriedades estruturais do material, a cortiça tem uma taxa extremamente baixa de transferência de calor. O seu conteúdo sólido é reduzido, e o gás fechado nas células da cortiça tem uma baixa condutividade térmica. A convecção é eliminada pelo pequeno tamanho e pela natureza fechada das células.

A cortiça tem células mais pequenas do que outras espumas sintéticas de isolamento, mas é mais densa, dando-lhe qualidades de transmissão de calor incomparáveis. A parede da célula de cortiça, devido à sua composição química, é termicamente mais estável do que os polímeros sintéticos (tais como poliestireno ou poliuretano) que, por sua vez, amolecem e se deterioram a temperaturas relativamente baixas.

Como se pode observar na Figura 1, a cortiça mantém a sua estrutura celular a 350 °C, mas tem células maiores e paredes celulares mais finas. A estrutura da cortiça é preservada mesmo a temperaturas extremamente elevadas, por volta dos 2000 °C. Isto torna possível a utilização da cortiça como camada isolante em caso de incêndio [6].

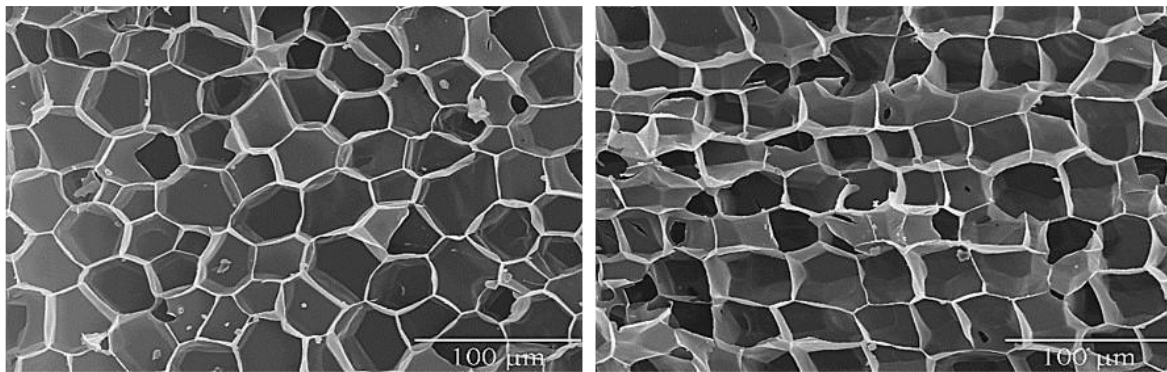


Figura 1 - Scan de microscópio eletrónico de varrimento de cortiça tratados a 350 °C: secção tangencial (esquerda) e secção radial (direita) [6].

Sob compressão, a cortiça apresenta um comportamento típico dos materiais celulares, com algumas peculiaridades. Existem três fases nas curvas tensão-deformação da cortiça que correspondem a vários processos de deformação:

A primeira fase representa pequenos valores de tensão e deformação de aproximadamente 5 a 7%, o que corresponde à flexão elástica das células. Este processo é praticamente totalmente reversível.

A segunda fase começa após o ponto da tensão limite de escoamento e forma um grande planalto com um pequeno declive até a deformação atingir cerca de 50%. Esta região corresponde ao encurvar de células.

Na terceira fase, e última, que ocorre acima da deformação de aproximadamente 70%, há um aumento acentuado da tensão, que corresponde à densificação do material e ao esmagamento das células, bem como às paredes celulares tocarem-se entre si e ao desaparecimento dos volumes vazios do lúmen. Com uma deformação de cerca de 85%, o material densifica-se completamente. As células de cortiça não são danificadas por compressão, e as paredes das células nem sequer se partem durante a fase de densificação [6].

O que acontece a nível celular quando a cortiça é comprimida ao longo da curva tensão-deformação pode ser observado na Figura 2. Os três níveis de deformação de 20, 30, e 50% são cruciais para a utilização de rolhas no engarrafamento do vinho, uma vez que correspondem aproximadamente à deformação de uma rolha de cortiça dentro de uma garrafa de vinho, na máquina de engarrafamento, e numa garrafa de champanhe, respetivamente. Apesar de estarem na região do planalto da curva tensão-deformação, cada ponto corresponde a um grau diferente de encurvatura celular [6].

Os módulos de Young foram, em média, de 10,4 e 9,2 MPa nas direções radial e não radial, respetivamente, num ensaio recente de 200 amostras de cortiça. O efeito de Poisson, ou variação das dimensões em direções perpendiculares à direção de compressão, tem muito pouca influência na cortiça. Este facto deve-se à capacidade de a substância ondular as suas paredes celulares, o que permite uma deformação significativa sem expansão lateral. As amostras de cortiça com densidades mais elevadas têm geralmente maiores resistências à compressão: os seus módulos de Young e a energia necessária para as densificar aumentam com a densidade, e a densificação ocorre tipicamente cedo (cerca de 75% da deformação) [6].

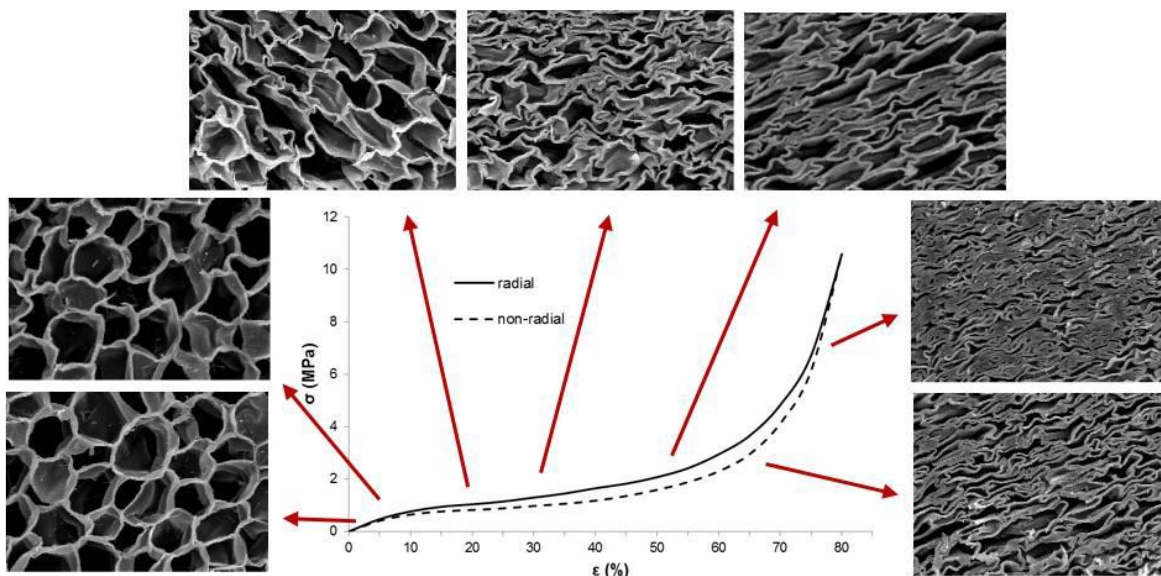


Figura 2 - Curvas de tensão-deformação para a compressão da cortiça e análise por microscopia eletrônica de varrimento [6].

2.1.3. Tipos de Granulados

De forma a melhor referenciar os tipos de granulados existentes, é necessário primeiro introduzir o ciclo de vida da cortiça.

O ciclo de vida da cortiça como matéria-prima começa com a remoção da casca do sobreiro. Este processo, conhecido como descortiçamento, ocorre entre meados de maio ou início de junho e meados a finais de agosto, quando o desenvolvimento da cortiça está no seu ponto mais ativo. Um tronco de sobreiro precisa de cerca de 25 anos para iniciar uma produção rentável de cortiça. Quando medido a 1,3 metros acima do solo, cada tronco deve atingir uma circunferência de cerca de 70 cm. A sua exploração continuará durante uma média de 150 anos depois disso [8].

A prática histórica de descortiçamento do sobreiro deve ser realizada apenas por profissionais, conhecidos como descortidores. É necessária destreza manual e muita experiência para evitar danificar a árvore [8].

O processo de descortiçamento é dividido em seis etapas distintas:

- **Abrir:** A cortiça é golpeada verticalmente com um machado, tendo em conta a fenda mais profunda do enguiado (as ranhuras da casca).
- **Separar:** A prancha é separada do tronco com a introdução do machado entre a barriga da prancha e o entrecasco, com recurso a um movimento de torção.
- **Traçar:** Com a realização de um corte horizontal corta-se o tamanho pretendido da prancha.
- **Extrair:** A prancha é retirada da árvore. Esta operação requer elevado cuidado de forma a não a danificar.

- **Descalçar:** Ocorre após a extração da placa. São depositados alguns fragmentos de cortiça na base do tronco e de forma a remover possíveis parasitas o descortizador aplica algumas pancadas nos calços do sobreiro.
- **Marcação:** A última etapa é marcar o sobreiro com o último algarismo do ano em que a cortiça foi extraída [8].

O primeiro descortçamento, chamado desbóia, ocorre aos 25 anos de idade. É obtida uma cortiça com uma superfície exterior muito irregular denominada cortiça virgem (Figura 3). A cortiça de reprodução inicial, que ainda tem algumas imperfeições, é denominada de secundeira e pode ser utilizada de forma semelhante à cortiça virgem. Esta cortiça é obtida aos 34 anos e apresenta uma estrutura mais regular e menor dureza na textura. A cortiça de reprodução ou amadia, ocorre a partir dos 43 anos. Esta tem uma superfície exterior mais uniforme e pode agora ser utilizada para a produção de rolhas naturais de qualidade [7], [9]. A representação dos três descortçamentos pode ser observada na Figura 4.

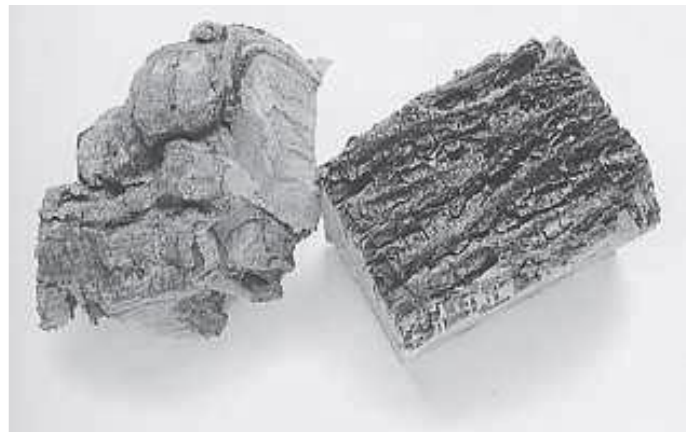


Figura 3 - Cortiça virgem e cortiça amadia [7].

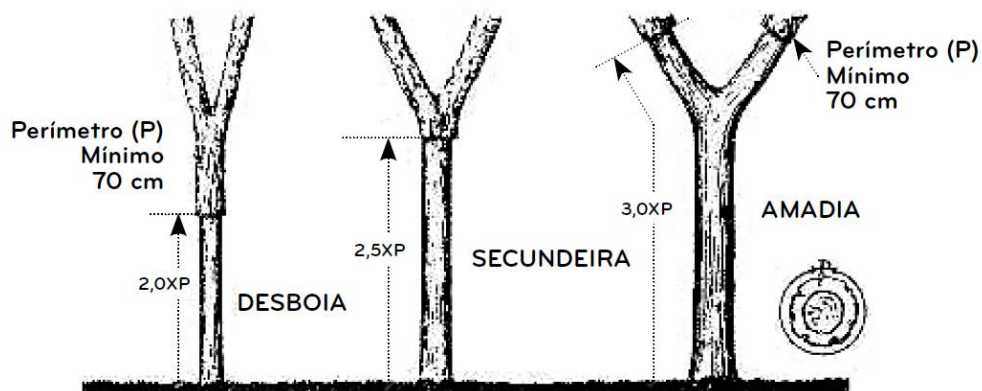


Figura 4 - Esquema das 3 fases de descortçamento na vida de um sobreiro [9].

Para atingir a maturação e estabilização ideais da cortiça, é essencial deixá-la repousar no exterior após o descortiçamento (Figura 5). Foram estabelecidas diretrizes rigorosas para esta fase pelo Código Internacional de Práticas Rolheiras (CIPR), incluindo o empilhamento das pranchas em substâncias que não contaminem a cortiça durante um mínimo de seis meses [9].



Figura 5 - Pranchas em período de repouso [9].

A primeira e segunda casca do sobreiro, bem como resíduos, aparas, peças, e desperdícios de cortiça de outras unidades industriais, são utilizados para preparar o edifício e elementos ornamentais feitos de cortiça. A cortiça moída está disponível numa gama de granulometrias (tipicamente superior a 0,25 mm e inferior a 22,4 mm) e massas volumétricas (tipicamente 70-90 kg/m³). Dependendo do material a moer e da forma desejada do granulado, são utilizados diferentes tipos de moinhos para a sua produção [10].

Os grânulos finos a médios com uma massa volúmica de 200 a 350 kg/m³ são utilizados para fins ornamentais. Os grânulos de tamanho médio com uma massa volúmica de 250-350 kg/m³ são utilizados para criar juntas de dilatação. A massa volúmica de aglomerados para revestimentos de pavimentos é tipicamente superior a 450 kg/m³, embora possa ir até 600 kg/m³ [7].

Os três principais aglomerados de cortiça produzidos são:

- **Aglomerado composto:** A criação de aglomerados compostos de cortiça a partir de granulados, normalmente 2 a 6 mm, é realizada através da aglutinação dos grânulos sob a influência combinada de pressão, temperatura, e um agente de aglutinação. Para esta aglutinação usam-se resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas e melamínicas ou, ainda, de origem vegetal. Após a fase de aglomeração, a mistura é colocada nos moldes, geralmente metálicos e em forma de paralelepípedo ou cilindros, mediante o formato final pretendido, e segue-se a prensagem. As peças sofrem um processo posterior de cura em estufas, podendo ser fornos de aquecimento ou sistemas de alta-frequência contínuos ou descontínuos. Seguidamente, é efetuada a desmoldagem e o arrefecimento e estabilização da peça, obtendo-se um bloco de aglomerado. Este bloco passa ainda por um processo de lixagem, permitindo o acerto da espessura e rugosidade da superfície. Finalmente o bloco é então laminado em folhas, sendo possível a sua sobreposição com o auxílio de rolos ou prensas de andares [7], [10].

- **Aglomerado puro expandido:** À semelhança da forma como outros aglomerados de cortiça são processados, a fase de granulação envolve trituração e lavagem. A granulometria final, que varia consoante o tipo de aglomeração a produzir - 3 a 10 mm para os aglomerados acústicos e 5 a 22 mm para os aglomerados térmicos - é tipicamente de 5 a 20 mm. Utilizando separadores densimétricos (vibratórios), peneiras, e eventualmente separadores pneumáticos ou mantas rotativas, as impurezas devem ser removidas na fase seguinte. A fim de atingir o teor correto de humidade para a operação de cozedura, o granulado é ensilado e seco em seguida. Na fase seguinte de aglomeração, os grânulos são colocados em autoclaves onde se expandem e libertam a sua própria resina, denominada suberina, devido à ação do vapor de água sobreaquecido a uma temperatura entre 300 e 370 °C, permitindo a aglomeração sem a necessidade de qualquer tipo de aditivos extra. Dependendo do teor de humidade inicial, o tempo de cozedura pode variar de 17 a 30 minutos. Os blocos de cortiça expandida obtidos, depois de estabilizados, são retificados e cortados em placas de diferentes espessuras, com recurso normalmente a serras de fita, e com uma serra de disco para o posterior acerto de dimensões. Os blocos são então embalados e armazenados [7], [11].
- **Aglomerado cortiça-borracha:** Este aglomerado é produzido com uma tecnologia de produção diferente dos anteriores, sendo a sua aplicação essencialmente para juntas e pavimentos. Juntamente com os granulados de cortiça e borracha, as várias formulações contêm também agentes de vulcanização, antioxidantes, aceleradores de polimerização, agentes corantes, etc. O processo de fabrico pode ser resumido da seguinte forma: em misturadores cilíndricos, a mistura a aglomerar - que inclui cortiça granulada e borracha (em pó ou pequenas partículas) e os restantes agentes - é homogeneizada, espremida e aquecida. Depois disso, a mistura é introduzida na calandra para criar uma massa homogénea. Esta pasta pode ser formada em blocos que são depois seccionados cortando-a em placas, colocando-os em moldes, prensando-os e curando-os de forma semelhante à forma como os aglomerados compostos de cortiça são tipicamente formados. Moldes compostos de polímeros sintéticos reforçados com fibra de vidro são utilizados durante a "cura" por alta frequência. Esta última situação requer um período de cura de 10-12 minutos [7].

2.2. Moldação

A maioria das empresas produtoras de moldes estão sediadas na Marinha Grande, que é onde foi fundada a Indústria Portuguesa de Moldes. Esta cidade é reconhecida como um centro industrial e o principal local de produção de moldes de Portugal. A elevada capacidade de produção, apoiada por tecnologia de ponta e mão-de-obra qualificada, caracteriza este negócio. A sua forte dedicação à inovação e alta intensidade tecnológica, combinada com uma grande capacidade de adaptação, são em grande parte responsáveis pelo seu progresso.

Os moldes portugueses estabeleceram clientes em diversas indústrias, sendo o sector automóvel o seu principal mercado. Contudo, as empresas nacionais apostam continuamente na diversificação, e há um número crescente de perspetivas comerciais em diversos sectores, incluindo o aeroespacial, tecnologia médica, eletrónica, embalagem e energia e o ambiente [12].

A sua produção há muito que se concentra fortemente nas exportações; cerca de 87% da sua produção é exportada anualmente. Assim, as exportações forneceram 492 milhões de euros da sua produção de 579 milhões de euros. Embora seja uma indústria que exporta para 89 países, geograficamente, os seus clientes encontram-se principalmente na Europa (78% do total das exportações). Apenas duas das 10 principais localizações, os Estados Unidos e o México, estão fora da Europa. Espanha, Alemanha, França, República Checa, e Reino Unido são os cinco principais mercados para os consumidores (Figura 6). Como tal, esta indústria está fortemente dependente do mercado europeu e deve procurar novos mercados fora deste [13], [14].



Figura 6 - Exportação Nacionais da Indústria de Moldes [13].

Os dados estatísticos obtidos (Figura 7) confirmam que a indústria automóvel continua a ser o principal cliente do negócio da indústria de moldes do país, considerando que a produção nacional aumentou 78% em 2021 em comparação com os anos anteriores. Estes resultados vão contra a atual tendência de diversificação dos mercados, uma vez que as embalagens, o equipamento médico e os eletrodomésticos mostram um declínio [13].

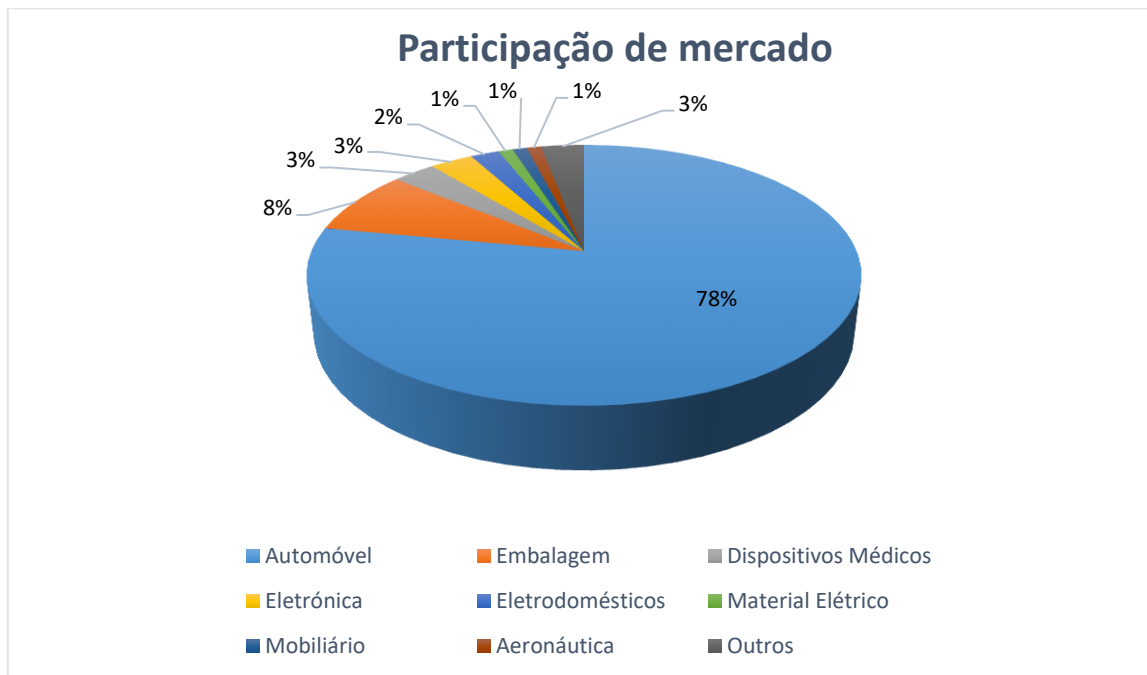


Figura 7 - Participação de mercado da indústria portuguesa de moldes [13].

2.2.1. Tipos de moldes Industriais

Os moldes são uma ferramenta fundamental para a produção de produtos por injeção, tanto a partir de metais como de polímeros. Os moldes mudaram drasticamente ao longo do tempo, tanto em termos de materiais e resistência ao desgaste, como em termos de simulação, o que melhorou a qualidade do produto acabado [15]. Devido à complexidade das formas resultantes, a engenharia deve trabalhar mais para desenvolver soluções práticas e rentáveis que possam satisfazer os elevados padrões dos clientes. Além disso, os moldes são feitos para terem a menor capacidade possível, de modo a poderem ser utilizados em máquinas de injeção com colunas menos espaçadas, o que aumenta a versatilidade da forma como podem ser utilizados [16].

Esta versatilidade é também necessária perante a matéria-prima e tecnologia usada no processo de fabrico. Na Tabela 3 são apresentados alguns dos processos de fabrico associados a cada uma das matérias-primas [17]:

Tabela 3 - Matérias-primas e o respetivo processo de fabrico

Matéria-Prima	Processo de Moldação
Vidro	Sopro
Cerâmicos	Termo Formação
Borrachas	Extrusão
Termoplásticos	Injeção
Termoendurecíveis	Compressão

2.2.1.1. Indústria Vidreira

O processo de moldação do vidro (GMP), que substituiu o método anterior de fabrico de lentes de vidro, foi criado em meados da década de 1980. Alta precisão de moldação, um processo de fabrico rápido, baixo custo, e poluição mínima são alguns dos seus benefícios [18]. Este processo, evoluiu para um dos mais avançados processos de fabrico de componentes óticos. Em GMP, a pré-forma de vidro é prensada e deformada com moldes previamente concebidos, altamente precisos sob temperatura e pressão especificadas, a fim de produzir o produto de vidro com a forma do produto final e função ótica o mais rapidamente possível [19]. Na Figura 8, é possível observar uma representação esquemática do processo usado atualmente.

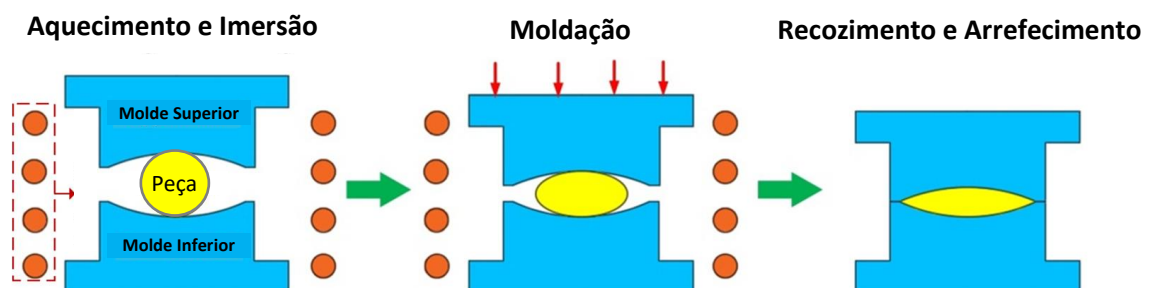


Figura 8 - Diagrama do processo GMP [19].

Alta resistência à oxidação, resistência à deformação, boa resistência, e dureza são requisitos para os moldes superiores e inferiores utilizados na moldagem do vidro. A pré-forma de vidro é difícil de interagir ou aderir, e o fecho do molde tem de ser ótimo. Além disso, é necessário que as superfícies dos moldes mantenham a sua qualidade sob temperaturas elevadas e funcionem bem em termos de condução de calor [19].

Foi examinada a fiabilidade e a qualidade de moldes construídos a partir de sílica e carboneto vítreo (*Glassy Carbon*). Foi concluído que o fabrico de vidro por conformação com recurso a moldes deste último material, era uma tecnologia que apresentava resultados promissores, particularmente na produção de estruturas reduzidas de vidro, sendo este processo efetuado com excelente economia de material [20].

2.2.1.2. Indústria Cerâmica

Os produtos cerâmicos são geralmente obtidos pelos processos de fusão ou sinterização; uma vez que estes materiais cerâmicos possuem temperaturas de fusão muito elevadas não é viável de um ponto de vista quer económico quer tecnológico utilizar processos tradicionais de vazamento.

Antes do processo de conformação, estes materiais passam por um processo de seleção de matérias-primas, tais como os pós cerâmicos, os ligantes, ajudantes de sinterização, entre outros, onde o grau de pureza dos pós é de elevada importância ditando assim a qualidade da peça. Após esta seleção os materiais são moídos e prensados, passando de pó a pasta e posteriormente prensados. Na Figura 9 está representado este processo [21].

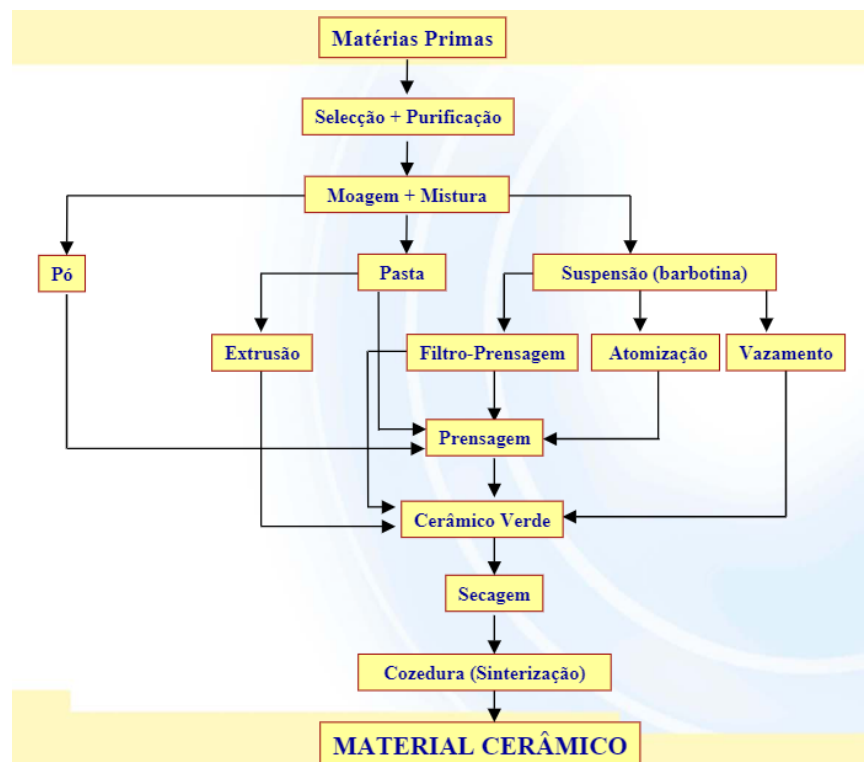


Figura 9 - Etapas do processo de fabrico de uma peça cerâmica [21].

Posteriormente, na etapa da conformação, podem ser utilizados vários processos, mediante o tipo de matéria-prima e a aplicação pretendida. O mais utilizado nos cerâmicos tradicionais é o de prensagem uniaxial a frio, onde a matéria-prima proveniente do processo de mistura anterior é prensada de forma uniaxial num molde com a forma da peça a obter, contabilizando tolerâncias devido às contrações e diferenças de temperatura. Este processo apresenta vantagens tais como a produção rápida de grande variedade de formas e uniformidade das mesmas. Por outro, pode levar a não uniformidade de propriedades ao longo da peça [21].

A variação do processo de prensagem uniaxial a frio é o processo de prensagem uniaxial a quente (HP – “Hot Pressing”). Este é processo de alta pressão e baixa taxa de deformação, utilizando uma temperatura suficientemente elevada para induzir os processos de sinterização e fluência. A pressão e o calor são aplicados simultaneamente para conseguir este efeito. O rearranjo de

partículas e o fluxo plástico nas interfaces de partículas são os mecanismos através dos quais ocorre a densificação a alta pressão. Este processo é principalmente utilizada para criar materiais frágeis e duros [22]. *Densification at high pressure works through particle rearrangement and plastic flow at the particle contacts. HP is mainly used to fabricate hard and brittle materials.*

Outro processo utilizado é a prensagem isostática a frio, onde a matéria-prima em pó ou pré-forma é colocada num molde flexível, feito geralmente em borracha, dentro de uma câmara onde será aplicada uma pressão isostática com recurso a um fluido hidráulico. Desta forma a pressão aplicada levará a uma compactação uniforme da matéria-prima em todas as direções [21].

A prensagem isostática a quente é um processo idêntico à prensagem isostática a frio, embora neste processo o molde seja aquecido dentro de uma câmara de gás, esta também aquecida, e o gás dentro da câmara é pressurizado de forma a aumentar também a pressão dentro da cavidade do molde de forma uniforme. Este processo é utilizado para produzir materiais com baixa porosidade e densidade elevada [22].

O *Slip Casting*, que é mais frequentemente utilizada para artigos sanitários e jarros, distingue-se pelo uso de moldes porosos, onde a mistura é vertida (barbotina) e é composta por partículas cerâmicas, água e aditivos. A peça moldada é seca e desmoldada, e segue-se uma preparação e pré-cozedura, frequentemente a 900 °C (chacotagem). Por fim, segue-se a aplicação do vidro, pintura e uma cozedura final. Este método permite a obtenção de formas complicadas e paredes finas com espessura uniforme e desenvolvimento de protótipos [21].

Por outro lado, o método da cera perdida é bastante versátil, mas tem taxas de produção muito baixas, efetuando o vazamento da cera a 60 °C e com recurso a cera reciclada. Podem ser utilizados moldes de silicone, moldes de resina que foram infundidos com partículas de alumínio, ou mesmo moldes feitos de alumínio maquinado, uma vez que a condutividade térmica neste tipo de moldes é de extrema importância [21].

2.2.1.3. Indústria Termoplásticos

O método mais popular para criar peças de plástico é a moldação por injeção; pode transformar a matéria-prima numa peça ou componente que esteja pronta para utilização ou aplicação numa só etapa [23]. O material termoplástico é injetado a uma temperatura elevada na cavidade criada pelas duas cavidades do molde para iniciar o processo de moldagem por injeção de plástico. Uma vez dentro do molde, o plástico é comprimido e deixado arrefecer até atingir a temperatura de solidificação necessária para manter a geometria da peça sem deformar [24]. Na Figura 10 é possível observar uma representação esquemática do funcionamento deste processo de moldação.

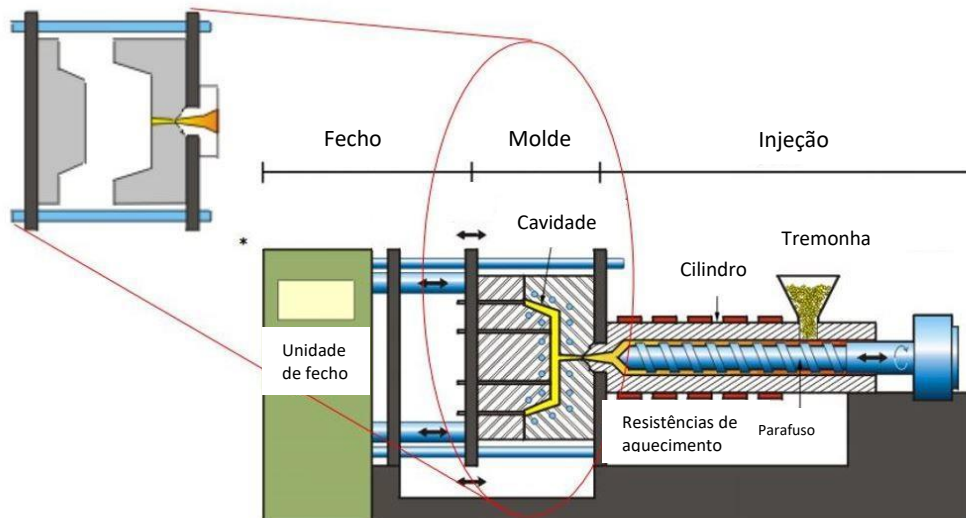


Figura 10 - Representação esquemática de uma máquina de moldação por injeção [25].

Antes de determinar se é possível produzir um produto com a qualidade e complexidade adequadas, é necessário examinar cuidadosamente uma série de elementos que afetam a moldação por injeção. Tais elementos podem ser divididos nas três categorias seguintes:

- Parâmetros da máquina (variáveis independentes): Temperatura da máquina, temperatura do bocal, temperatura do líquido refrigerante, pressão de retenção, contrapressão, pressão de injeção, sequência e movimento, velocidade de injeção, velocidade do parafuso, etc.
- Parâmetros de processo (variáveis dependentes): Temperatura do molde, temperatura de fusão, temperatura de arrefecimento, pressão de fusão, avanço da frente de fusão, tensão de corte, tempo de injeção, tempo de enchimento, tempo de embalagem, tempo de retenção, tempo de arrefecimento, tempo de abertura do molde, taxa de injeção, taxa de fluxo de material, taxa de dissipação e arrefecimento de calor, comutação de pressão, etc.
- Índices de qualidade (respostas finais): Dimensão da peça, retração, deformação, aspeto e resistência nas linhas de soldadura, e outros defeitos estéticos tais como queimaduras, descoloração na zona dos gitos, textura da superfície, etc.

Os parâmetros da máquina podem ser geridos quer atualizando uma série de peças da máquina, quer empregando sensores eficientes dentro da máquina. A estrutura do molde, as qualidades do material e as condições do processo influenciam todos os parâmetros do processo. No entanto, os índices de qualidade são as variáveis de objetivo que devem ser precisamente controladas a fim de se conseguir a forma e complexidade necessárias [26].

2.2.2. Moldação de Cortiça

O processo de fabrico mais utilizado para a criação de peças de cortiça é a moldação. Este processo começa com a mistura do granulado de cortiça com outros materiais tais como borracha, plástico ou gesso, originando um aglomerado compósito inicial, sendo depois colocado em misturadores de pás e envolvido com cola. A mistura final é colocada em moldes aquecidos à temperatura requerida pela aplicação desejada, iniciando o processo com recurso a pressão durante o tempo necessário para assegurar a compactação adequada do aglomerado, seguindo-se de uma etapa final de cura para estabilização da peça.

Os aglomerados moldados de cortiça são criados utilizando um molde de duas partes (tipicamente em alumínio), que consiste numa cavidade e uma placa superior com espessuras que variam entre 1 mm e 25 mm. Primeiramente, a combinação de pó de cortiça, resina, e/ou aditivos adicionais são colocados na cavidade do molde. Para conseguir uma distribuição uniforme das partículas e aglutinante, bem como uma distribuição uniforme da mistura na cavidade do molde, é essencial utilizar o equipamento de mistura adequado (misturadores de pá ou helicoidais) (Figura 11). Isto também proporcionará uma densidade uniforme do produto acabado.



Figura 11 - Misturador em funcionamento.

De seguida, há a fase de compressão. A parte superior do molde, o macho, serve dois objetivos durante esta fase: define o volume final e distribui uniformemente a pressão da prensa hidráulica sobre a mistura. A prensa hidráulica pode exercer até 2 MPa de pressão, em função da densidade desejada. Para redistribuir adequadamente a carga dentro do aglomerado e evitar uma distribuição de densidade não homogénea ao longo da espessura do aglomerado final (ou seja, uma densidade mais alta nas faces superior e inferior e uma mais baixa na região média), a carga de pressão deve ser gradualmente aumentada durante esta fase. Após a obtenção do volume da peça requerido, o molde fica fechado até concluir o processo de cura, podendo ir até vinte horas mediante alguns fatores tais como tamanho, densidade, humidade, entre outros.

Por fim, o bloco de aglomerado pode ser desmoldado e cortado após arrefecimento. Como os fornos de túnel podem curar múltiplos moldes ao mesmo tempo, a moldagem por compressão permite a criação de aglomerados com uma massa volúmica pré-determinada a uma taxa de produção muito elevada. Por exemplo, a massa volúmica pré-determinada de agregados de revestimento de paredes é de 200-300 kg/m³. Por outro lado, a massa volúmica de aglomeração para aplicações de alto desempenho pode aproximar-se de 450-600 kg/m³ [27]. O processo está representado na Figura 12.

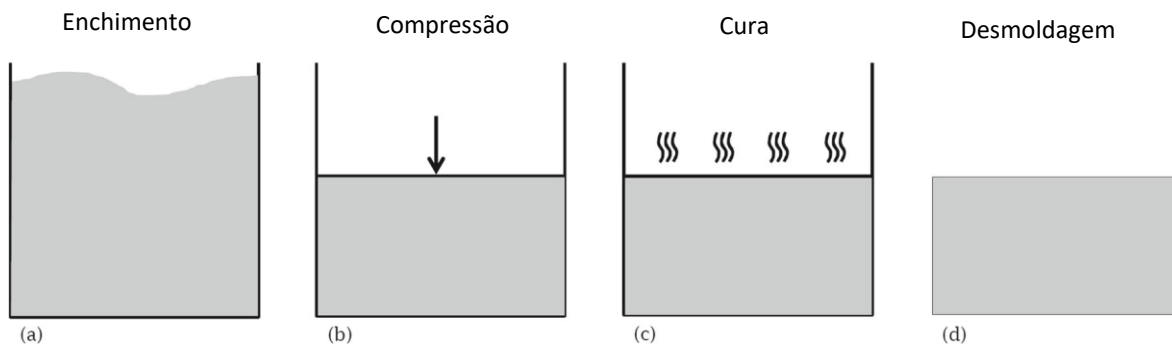


Figura 12 - Etapas básicas do processo de moldação por compressão: a cavidade do molde é preenchida com a mistura de cortiça e resina (a); o material é comprimido por uma prensa hidráulica (b); o molde é fechado e curado num forno (c); por fim, uma vez arrefecido, o aglomerado pode ser desmoldado (d) [27].

Este processo é possível graças à utilização de prensas hidráulicas. As prensas hidráulicas de granulados funcionam por atuação de cilindros hidráulicos, e estes com recurso a óleo pressurizado, produzindo assim a força necessária à prensagem de material, sendo estes responsáveis também pela ascensão posterior do macho do molde possibilitando a extração da peça acabada. A auxiliar este funcionamento, existem todos os componentes elétricos que fazem o controlo dos motores e bombas hidráulicas, transformando a potência elétrica em força mecânica e hidráulica, respetivamente. É graças ainda a esta parte elétrica que se efetua o aquecimento dos moldes com recurso a transferência de calor por contacto, uma vez que o aquecimento dos pratos inferior e superior é efetuado com recurso a resistências elétricas e estes por sua vez aquecem a cavidade e o macho do molde respetivamente.

O processo de moldação mais utilizado na indústria corticeira é um processo com custos reduzidos e relativamente simples, uma vez que após o investimento inicial na prensa e nos moldes, o processo decorre com gastos mínimos, havendo apenas os gastos comuns com manutenção e matéria-prima para a produção de peças.

A linha de moldação que será o estudo do trabalho da dissertação opera com base no processo normal de moldação. Nesta linha de moldação, são obtidos brinquedos de cortiça nas mais variadas formas geométricas, tais como um cubo, um cilindro ou paralelepípedo (Figura 13). O fluxograma da Figura 14 ilustra o processo desde o abastecimento da matéria-prima até à obtenção da peça final moldada.



Figura 13 - Peças criadas pelo processo de moldação.

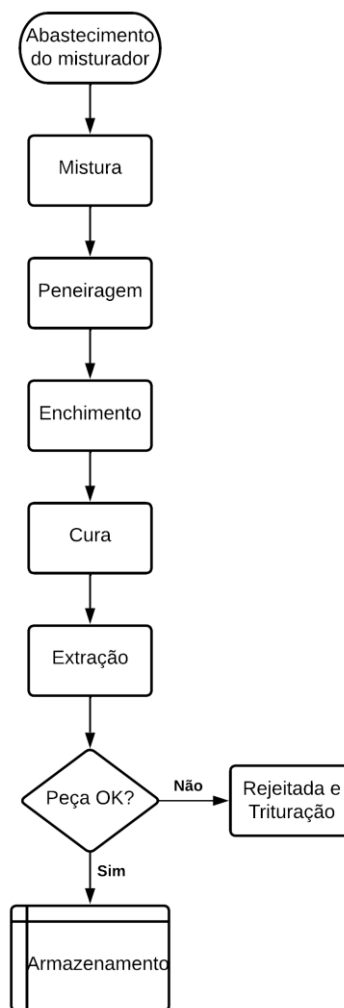


Figura 14 - Fluxograma do processo de moldação.

De forma a reduzir a ocorrências de falhas, tanto da máquina como do operador, a utilização de softwares CAD tem sido cada vez mais frequente. Estes softwares, como será possível observar no capítulo seguinte, oferecem uma preciosa ajuda na criação dos moldes com elevada precisão e minimizando os erros durante este processo.

2.3. CAD

A concessão de moldes é um processo de elevado detalhe e rigor, nomeadamente no que toca às tolerâncias do processo. De forma a otimizar este processo, tem-se vindo a utilizar cada vez mais ferramentas CAD, uma vez que graças a poderosos softwares computacionais, o processo de criação de moldes torna-se mais preciso e mais rápido, levando a menos custos e erros.

O termo CAD, que se refere a “*Computer Aided Design*”, é uma tecnologia de desenho assistido por computador e documentação técnica que automatiza o processo de desenho e criação manual. Através do uso de software CAD, é possível acrescentar dimensões precisas aos desenhos, uma vez que este pode ser atualizado de uma forma consideravelmente mais rápida e mais facilmente com recurso a CAD, o que simplifica significativamente o procedimento de partilha de ficheiros. Arquitetos, engenheiros mecânicos e elétricos, designers de interiores, engenheiros civis e arquitetos paisagistas são apenas algumas das muitas profissões diferentes que utilizam software CAD [28].

Algumas das vantagens do uso deste tipo de software são:

- Maior precisão para dimensões reduzidas;
- Automatização de processos comuns;
- Acesso a bibliotecas de artigos utilizados frequentemente, tais como portas e janelas;
- Capacidade de ajustar rapidamente partes de um desenho sem necessidade de recomeçar;
- Gestão de detalhes de desenhos complexos tudo dentro de um ficheiro;
- Criação de blocos para artigos utilizados frequentemente.

Em 1963, a tese de doutoramento de Ivan Sutherland incluiu o desenvolvimento do programa “*Sketchpad Computer*”, que é considerado como o predecessor do moderno software de desenho assistido por computador, tendo sido declarado um “avanço” na computação gráfica. Este software foi utilizado tanto para os componentes técnicos como artísticos da computação gráfica, salientando a importância da interação homem-computador. Este programa permite ao utilizador desenhar diretamente no monitor do computador usando uma caneta criada especificamente para o efeito (Figura 15) [29].



Figura 15 - Homem a utilizar o *SketchPad* [29].

No início dos anos 70, estes programas CAD apenas eram capazes de criar desenhos 2D, semelhantes aos desenhos elaborados à mão. No entanto, no fim dos anos 70 e na década de 80, começaram a ser criados softwares que tornaram possível a criação de formas geométricas e modelação 3D devido a novos algoritmos de computação. Durante os anos 90, os computadores tornaram-se capazes de suportar programas tais como o CATIA e o AutoCAD, tornando possível a utilização deste tipo de aplicações em várias indústrias [30].

Neste trabalho, o software mais utilizado foi o Solidworks. Este é um software de desenho assistido por computador (CAD) e engenharia assistida por computador (CAE), distribuído pela Dassault Systèmes. A primeira versão deste software foi lançada em 1995, e desde então tem sido uma referência no mercado de programas de modelação 3D, devido à sua facilidade de utilização e precisão nas mais variadas aplicações [31].

Este é um software de modelação de sólidos que faz uso da metodologia baseada em características paramétricas para produzir modelos e montar componentes. O termo "parâmetros" refere-se a restrições cujos valores definem a forma ou geometria do modelo ou conjunto. Os parâmetros podem ser termos geométricos como tangente, paralelo, concêntrico, horizontal, ou vertical, ou podem ser termos numéricos como comprimentos de linha ou diâmetros de círculo. Através da aplicação de relações, os parâmetros numéricos podem ser ligados uns aos outros, criando assim a forma do desenho requerido.

Na Solidworks, a criação de um modelo começa com um sketch 2D. Este sketch é constituído por um conjunto de linhas e pontos, aos quais são dados dimensões e relações. Como é um software paramétrico, são as dimensões e as relações que ditam a forma da geometria. A partir do sketch 2D, é possível criar volumes 3D usando por exemplo a ferramenta "*Extruded Boss/Base*" para sólidos lineares ou a ferramenta "*Lofted Boss/Base*" para criar formas irregulares.

É possível ainda criar conjuntos de peças com recurso a relações entre elas, criando a possibilidade de simular o funcionamento de máquinas industriais, por exemplo, e ainda simular com precisão todos os parâmetros do seu funcionamento.

Na concessão de moldes e a sua otimização, o Solidworks é um software altamente utilizado, uma vez que permite desenhar todas as partes do molde, incluindo a peça e as cavidades que constituem o molde, e permite ainda simular com grande detalhe todo o processo de moldação, especialmente na simulação do processo de moldação de plásticos por injeção.

A criação do molde começa com o desenho da peça (Figura 16) neste caso com o software Solidworks. Os numerosos requisitos, tais como o peso do componente, devem ser estabelecidos. O cálculo do peso real do componente requer a multiplicação do seu volume pela densidade do material plástico [32]. Seguidamente é possível criar a base para o qual o molde será criado, sendo esta constituída pela cavidade e o núcleo do molde (Figura 17) [32].

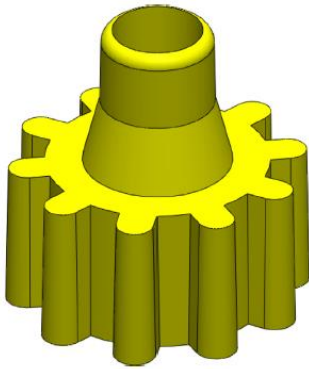


Figura 16 - Representação do componente [32].

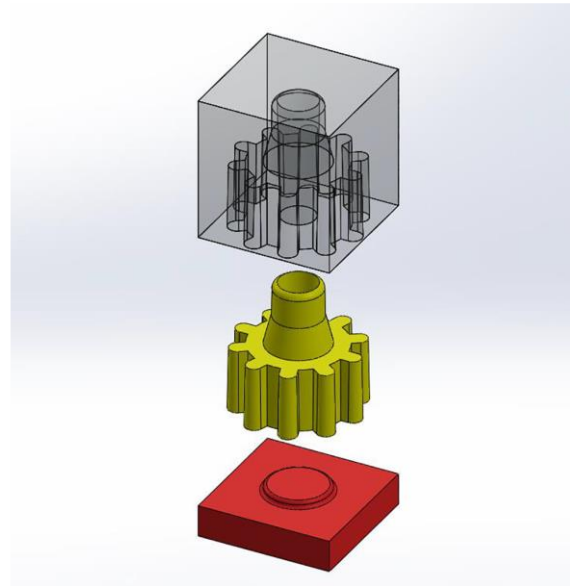


Figura 17 - Representação dos componentes base do molde [32].

Finalmente, quando são definidos todos os parâmetros de moldação, nomeadamente o número de cavidades, a taxa de enchimento e as necessidades de material, é possível criar o conjunto final do molde (Figura 18), podendo ser posteriormente simulado o processo de enchimento de forma a detetar potenciais erros e falhas no processo [32].

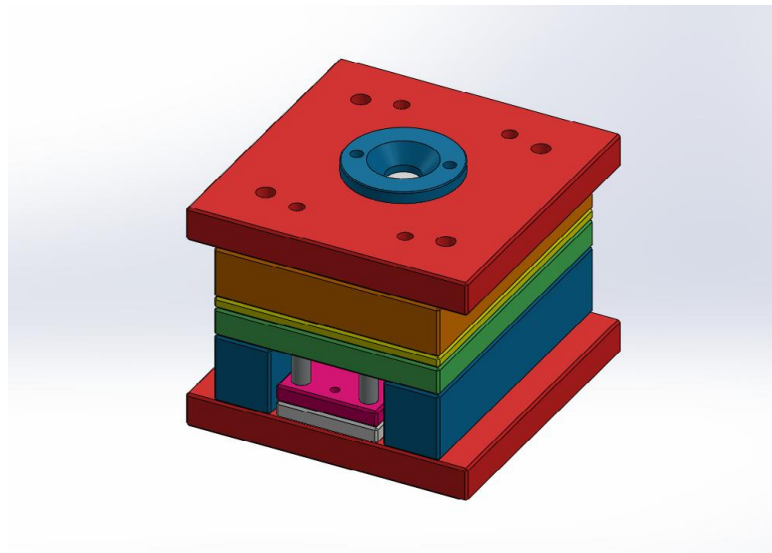


Figura 18 - Conjunto de todos os componentes do molde [32].

2.4. LEAN

O caos criado após a Segunda Guerra Mundial no Japão deu origem ao *Lean Manufacturing*. As elevadas taxas de desemprego, um mercado quase arruinado, e a produtividade mais baixa no Japão do que na América foram todos problemas. A fim de satisfazer a procura dos consumidores por produtos de alta qualidade ao preço mais baixo possível, o *Lean Manufacturing* tenta reduzir os custos de mão-de-obra, inventários, prazos de entrega e espaço de produção [33].

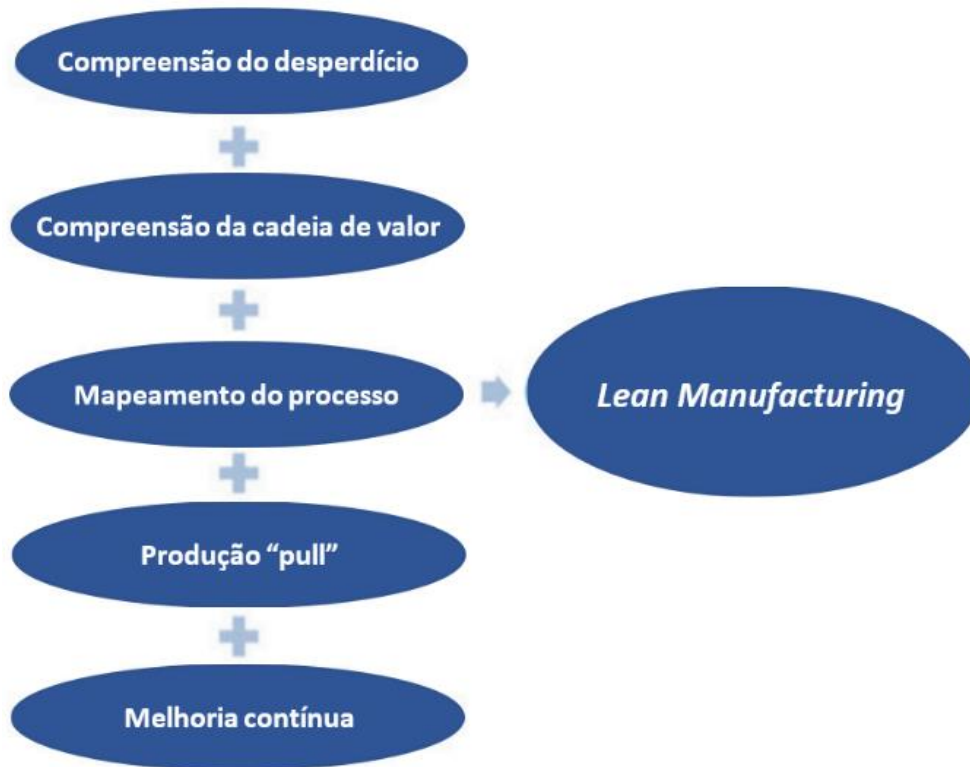


Figura 19 - Características do *Lean Manufacturing* [33].

Os benefícios da aplicação do *Lean* podem ser vistos nos resultados de produtividade alcançados, e ao aplicar esta filosofia de produção, uma empresa pode não só tornar-se mais flexível, mas também tornar-se mais competitiva como um todo. Os cinco princípios fundamentais do *Lean Manufacturing* são apresentados na Figura 19 [33].

O principal objetivo do *Lean Manufacturing* é racionalizar os processos para que possam ser concluídos mais rapidamente e com pouco ou nenhum desperdício, satisfazendo as exigências dos consumidores. Para definir a estrutura dimensional do *Lean Manufacturing* e criar escalas de confiança para a representar, foi realizada uma investigação minuciosa e em várias etapas. Os dez fatores listados na Tabela 4 foram utilizados para quantificar a definição conceptual e a medição da produção *Lean* [34].

Tabela 4 - Fatores do sistema *Lean Manufacturing*

Fator	Definição
1. Feedback do fornecedor	Para uma transferência eficiente de informação, os fornecedores devem ser atualizados periodicamente sobre reclamações de clientes e desempenho de bens e serviços.
2. Entrega <i>Just-In-Time</i> (JIT) pelos fornecedores	Os fornecedores fornecem apenas o número necessário de bens no momento designado, quando os clientes necessitam deles.
3. Desenvolvimento de fornecedores	Para evitar uma incoerência ou um desajustamento nos níveis de competência, os fornecedores devem ser desenvolvidos em conjunto com o fabricante.
4. Envolvimento do cliente	Uma vez que os clientes são a principal fonte de receitas de uma empresa, é importante dar prioridade à satisfação dos seus desejos e expectativas.
5. Produção “pull”	O fluxo de produção da antecessora, denotado como produção JIT, deve ser possibilitado pelo sucessor que inicia uma necessidade através do Kanban.
6. Fluxo contínuo	Ao longo de toda a produção, deve ser estabelecido um fluxo constante de produtos sem pausas significativas.
7. Redução do tempo de setup (SMED)	Deve levar o menor tempo possível para adaptar os recursos às alterações dos produtos.
8. Manutenção produtiva/preventiva total	Ao utilizar processos de manutenção de rotina eficientes, as falhas de máquinas e equipamentos devem ser minimizadas. Os tempos de retificação reduzidos devem ser mantidos em caso de falha.
9. Controle estatístico do processo	A qualidade do produto é crucial, e nenhum defeito deve propagar-se de um processo para outro.
10. Envolvimento dos funcionários	Os trabalhadores devem ter poderes para uma contribuição geral para a empresa com motivação e direito suficientes.

Neste trabalho, a técnica *Lean* mais utilizada será o SMED, uma vez que o foco do trabalho será em otimizar a troca de moldes existente pois esta é um problema atual e que está a causar impacto negativo na produção. Poderão ainda ser utilizadas outras técnicas *Lean* tais como o a manutenção preventiva e o envolvimento dos funcionários, pois estas também levarão a melhorias na produção total e na qualidade das peças produzidas.

2.4.1. SMED

O conceito “SMED” (*Single Minute Exchange Die*) foi criado por Shigeo Shingo no final dos anos 50 e início dos anos 60 como resultado da exigência de determinar o número adequado de artigos a produzir e de encurtar o tempo de preparação entre as operações, ou o tempo de “*setup*” [35]. O termo “tempo de preparação” refere-se ao tempo entre o produto bom final produzido sob a ordem de produção anterior que sai da máquina e o fabrico do primeiro produto bom sob a ordem de produção subsequente [36]. O termo “*changeover time*” refere-se à quantidade de tempo necessária para configurar um sistema de produção para operar um produto diferente, em conformidade com todas as especificações [37].

A abordagem de Shingo é baseada na classificação de cada atividade de instalação em atividades internas e externas. As atividades externas são aquelas que podem ser realizadas enquanto a máquina ainda está a funcionar normalmente, enquanto as atividades internas só podem ser

realizadas quando a máquina é desligada. Os vários procedimentos envolvidos nestas atividades de preparação interna e externa incluem a preparação, verificação do material, ferramentas de instalação, ajustes e calibrações, medições, ensaios, ajustes, entre outros [35].

De forma a implementar esta metodologia, é necessário considerar cinco etapas distintas, descritas na Tabela 5 [36]:

Tabela 5 - Etapas da implementação das metodologias SMED

1ª etapa	Efetuar um levantamento da situação atual;
2ª etapa	Dividir e classificar as tarefas em internas ou externas;
3ª etapa	Converter as tarefas internas em tarefas externas;
4ª etapa	Potencializar e desenvolver as tarefas internas;
5ª etapa	Potencializar e desenvolver as tarefas externas;

Embora as atividades externas não tenham impacto no tempo de paragem das máquinas, elas consomem recursos das áreas de apoio e desperdiçam-nos, necessitando de medidas de otimização. A Figura 20 mostra a evolução ocorrida em cada etapa durante a aplicação da metodologia [38].

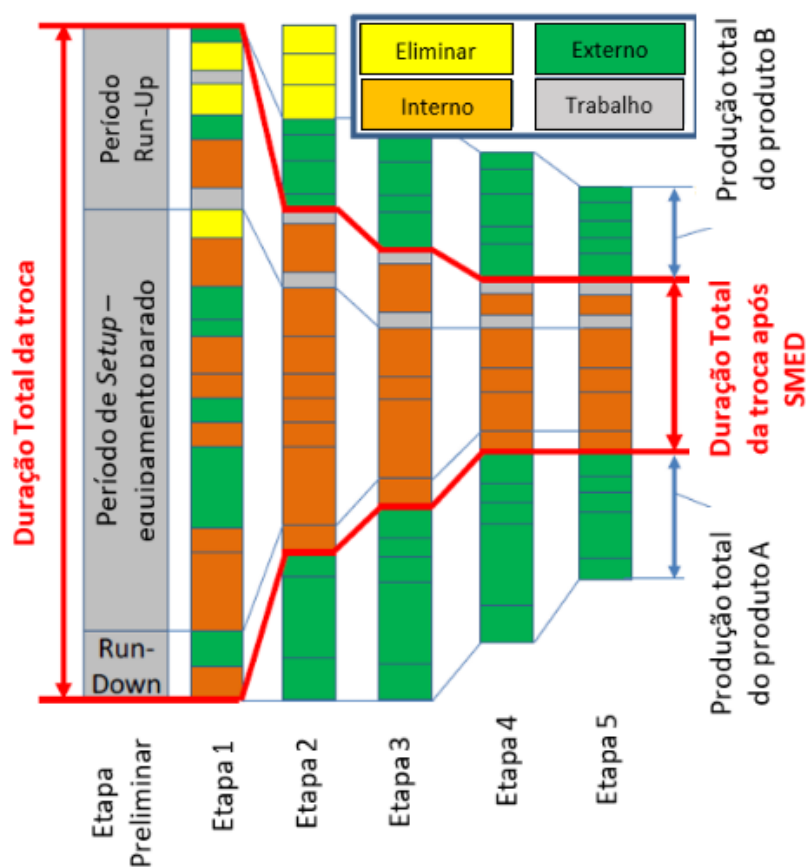


Figura 20 - Aplicação da Metodologia SMED [39]

(Run-Up: período de aceleração; Run-Down: período de desaceleração)

As principais vantagens da implementação desta metodologia são [38]:

- O SMED melhora os processos e diminui os tempos de “setup” para aumentar o valor do produto.
- Ao adotar procedimentos simples e fáceis de implementar, o SMED reduz o tempo de paragem através da padronização das atividades de mudança de produto. Desta forma é possível obter reduções de 70% e até 90% nos tempos de paragem.
- Promove maior flexibilidade através de mais mudanças de produtos, tamanhos de lotes mais pequenos, e maiores capacidades de engarrafamento que maximizam a disponibilidade da linha de produção e, por sua vez, reduzem os custos, uma vez que os custos de produção estão correlacionados com a eficácia do equipamento.
- Reduz o desperdício nas linhas de produção, melhora a qualidade da manutenção e aumenta a eficiência das máquinas e das instalações, fazendo o melhor uso do espaço disponível.
- A normalização diminui o número de ferramentas necessárias e promove um espaço de trabalho mais eficiente e organizado.

Atualmente, a metodologia SMED é aplicada nas mais variadas indústrias, como se pode observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Aplicações industriais de SMED

Título	Indústria e trabalho desenvolvido
<i>Applying SMED methodology in cork stoppers production</i> [40]	Indústria da cortiça; a metodologia SMED, juntamente com outras metodologias como o VSM, foram aplicadas numa empresa produtora de rolhas de cortiça, mais direcionadas para o equipamento que faz a união da rolha de cortiça a uma cápsula, com recurso a cola. Graças a esta aplicação conjunta de ferramentas, obteve-se uma redução de 43% em tempos de troca.
<i>A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry</i> [41]	Indústria automóvel; neste trabalho o foco foi a máquina de feixe de elétrons, aplicada à na indústria automóvel, obtendo uma redução de tempo de setup em mais de 50% e reduzindo resíduos gerados.
<i>Application of Lean Production Principles and Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company</i> [42]	Indústria do cartão; foram aplicadas além da metodologia SMED, os 5S e Gestão Visual; desta forma obtiveram-se melhorias nos tempos de setup, disponibilidade das máquinas e organização da área de trabalho. Desta forma, obteve-se uma redução de 47% nos tempos de setup.
<i>Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED</i> [43]	Indústria alimentar; este trabalho teve em consideração os dificuldades associadas a este setor, levando a que o foco do trabalho fosse a falta de trabalho padronizado, falta de manutenção e operadores não especializados. Os ganhos percentuais obtidos com a aplicação da ferramenta foram, em média, 29%.
<i>A Changeover Time Reduction through an integration of lean practices: a case study from pharmaceutical sector</i> [44]	Indústria farmacêutica; o propósito deste trabalho foi estudar a importância de transições rápidas numa linha de embalagem de uma empresa farmacêutica; através da aplicação do SMED, criou-se procedimento padronizado sem ignorar as restrições que a indústria apresenta. A aplicação da metodologia SMED resultou em ganhos médios nos tempos de setup de 61,5%.

Tabela 7 - Aplicações industriais de SMED (continuação)

Título	Indústria e trabalho desenvolvido
<i>FIS-SMED: a fuzzy inference system application for plastic injection mold changeover</i> [45]	Indústria de moldação; segundo os autores, a metodologia SMED na indústria de moldes de injeção não pode ser aplicada diretamente uma vez que a troca de molde depende diretamente do nível de experiência do operador. Como tal, este trabalho demonstra que a metodologia SMED pode ser utilizada em conjunto com outras metodologias tais como a FIS (“Fuzzy Inference System”) para otimizar os tempos de setup e reduzir os defeitos ocorridos nas peças moldadas.

Na indústria da moldação, esta metodologia tem sido cada vez mais frequentemente utilizada, quer numa aplicação em conjunto com outras ferramentas *Lean*, quer numa aplicação singular. Uma das aplicações desta metodologia em conjunto com outras ferramentas foi um trabalho conduzido por Yazici *et al.*, que integra modos tradicionais de SMED e métodos de análise de falha de forma “difusa” (fuzzy-FMEA). O método fuzzy-FMEA é utilizado para prevenir problemas que causam mais tempo despendido em atividades de *setup*. Foi também concebida uma nova ficha de operação, “Formulário de Observação e Análise da Instalação”, que serve para guiar o analista durante a investigação da máquina e do seu processo de instalação [46].

Pode ser ainda utilizado em conjunto com o método de Taguchi, tal como descreve Kemal Karasu *et al.*, de forma diminuir o impacto das variáveis de “ruído”, que se combinam de forma diferente para cada momento de transição de setup. Como tal, o tempo total de transição é diretamente reduzido através da redução das produções experimentais [47].

3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA, DOS PROCESSOS E DOS PROBLEMAS

O capítulo seguinte apresenta uma breve descrição da empresa na qual o trabalho foi desenvolvido, o processo de produção e os principais desafios enfrentados. O objetivo deste capítulo é fornecer ao leitor um panorama completo da empresa e do contexto em que o trabalho foi desenvolvido. Para isso, foram reunidas informações sobre a história da empresa, sua estrutura organizacional e quais os principais produtos e serviços. Além disso, foram identificados os principais desafios e problemas enfrentados durante o desenvolvimento, tais como baixa eficiência na produção, problemas de qualidade, problemas de gestão, entre outros. A partir da caracterização da empresa e de seus problemas, é possível entender melhor o contexto em que o trabalho foi desenvolvido e estabelecer as bases para a análise dos dados recolhidos.

3.1. Caracterização da empresa

Este trabalho foi desenvolvido numa empresa líder mundial do setor da cortiça. A missão desta empresa com 60 anos de experiência, consiste em “valorizar a cortiça, desenvolvendo soluções com compósitos sustentáveis para múltiplas aplicações”. O estágio teve a duração de 8 meses, na área industrial de CMS (*Cork Molded Solutions*), estando representada a estrutura organizacional da empresa na Figura 21. Esta área é a mais recente da empresa e tem por base a moldação de peças em cortiça.



Figura 21 - Organograma da empresa

3.2. Caracterização do processo

O processo de moldação de cortiça por compressão começa pela recepção de matéria-prima, proveniente da unidade industrial de GMT (*Grain Materials Technology*). É nesta área onde a cortiça é transformada no granulado utilizado durante o processo de mistura, sendo este granulado controlado para se manter dentro dos limites de tamanho, densidade e humidade. Estes são fatores importantes no processo, uma vez que diferentes densidades e humidades no granulado poderão criar variáveis no processo que por sua vez podem levar a falhas, tais como peças abaixo do peso ou com volume menor do que o desejado. Na Figura 22, é possível observar o processamento de um dos granulados utilizados na linha de produção da moldação.



Figura 22 - Processamento de matéria-prima

Seguidamente procede-se ao procedimento de mistura de granulado de cortiça e a cola Glue Fabricol ag232. Dependendo da aplicação, este granulado pode ter diferentes tamanhos e densidades, uma vez que para diferentes peças finais existem diferentes requisitos de qualidade, em algumas das quais o aspeto visual por exemplo.

Após a mistura estar concluída, esta passa por um peneiro de forma a reduzir os grumos criados durante o processo de mistura e ainda filtrar impurezas que possam contaminar a mesma. De seguida procede-se ao enchimento das cavidades do molde. Este processo é efetuado de forma manual, com o operador a verter a mistura de uma caixa para a superfície do molde e espalhar com a ajuda de uma cantoneira.

Após o enchimento, a mistura é prensada dentro do molde na prensa hidráulica. É graças à utilização da pressão, à temperatura do molde e ao tempo que é possível produzir peças com a

consistência desejada. No fim do tempo de cura, as peças podem ser extraídas do molde e seguir para a lixagem, onde é possível conferir às peças um acabamento superior mais uniforme.

Uma vez que este é um processo relativamente recente e ainda em desenvolvimento, está frequentemente sujeito a mudanças. As mudanças mais relevantes ocorrem geralmente na formulação, uma vez que mediante o comportamento das peças podem ser introduzidas variações nos parâmetros de temperatura ou tempo de prensagem, ou ainda alterar a quantidade e o tipo de granulado utilizado no fabrico de cada peça.

Na Figura 23 é possível observar um lado de uma das três prensas hidráulicas utilizadas na produção das peças moldadas em cortiça, bem como uma legenda das partes constituintes da mesma.

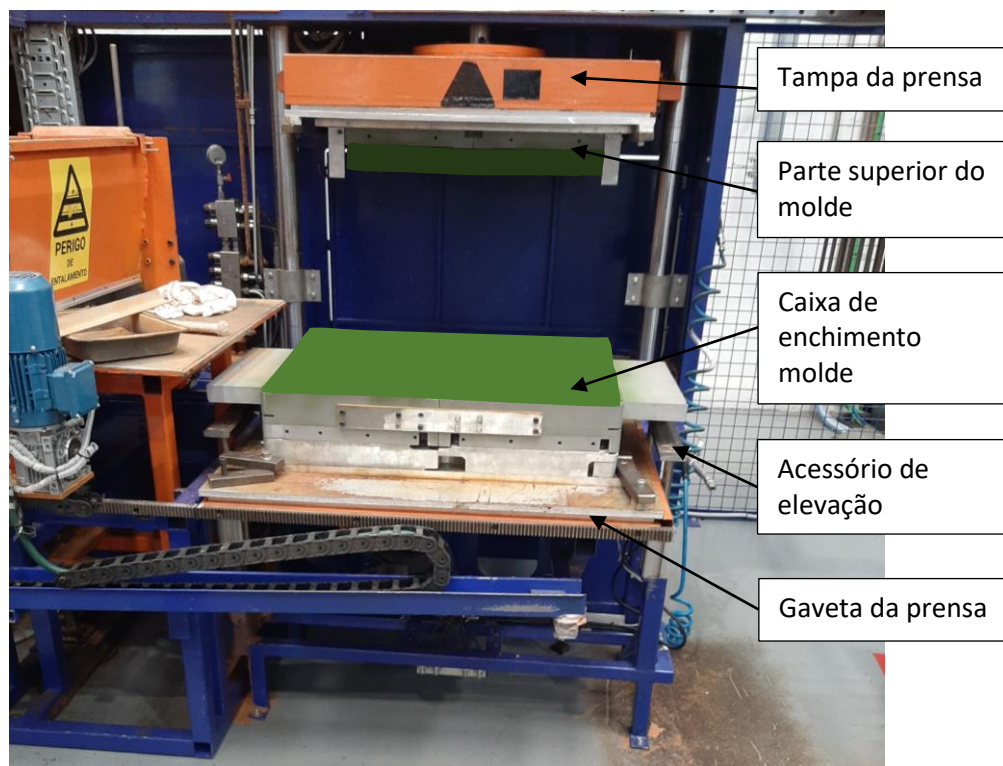


Figura 23 - Prensa hidráulica

O layout da linha de produção pode ser observado na Figura 24, contendo os principais equipamentos dispostos por cores, sendo estes os principais:

- Azul: prensas hidráulicas;
- Vermelho: área dedicada à extrusora, equipamento dedicado ao fabrico de *pellets* à base de cortiça que não foi alvo do trabalho;
- Retângulos brancos: misturador e plataforma de matéria-prima;
- Círculo branco: lixadora;
- Retângulo verde: tapete de escolha;
- Retângulo grande amarelo: prensa hidráulica menor;

- Retângulo amarelo com diferente tonalidade: misturador para a extrusão.

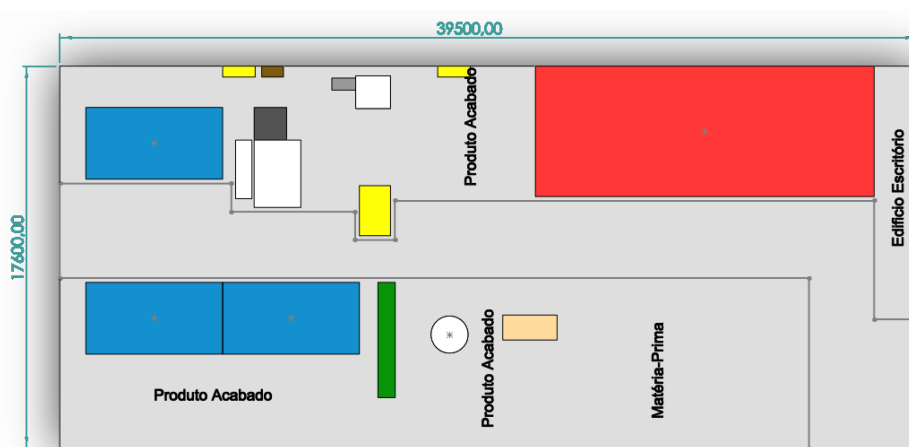


Figura 24 - Layout inicial da linha de produção

3.3. Caracterização dos problemas

No início deste trabalho, o processo de moldação de cortiça por compressão já era um processo utilizado para o fabrico de determinadas peças. Porém, este processo apresentava várias falhas que estavam a comprometer a utilização dos recursos e das máquinas, limitando a produção e a qualidade das peças produzidas.

O trabalho desenvolvido consistiu no estudo e identificação destes problemas, bem como potenciais soluções através da otimização das situações identificadas como críticas, entre estas a utilização de matéria-prima e os tempos de ciclo das máquinas. Alguns problemas identificados numa fase inicial estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Problemas encontrados na análise inicial

Problema	Descrição
Extração e alimentação das peças moldadas	A alimentação dos moldes e a extração das peças moldadas é feita de forma manual, aumentando bastante o tempo de ciclo e o desgaste dos moldes.
Durabilidade dos moldes	Desgaste elevado do revestimento dos moldes.
Peneiro	A rede do peneiro e o tamanho do mesmo foram identificados como o gargalo da linha.
Local de trabalho	Inexistência de local dedicado para trabalhar no molde.
Troca de molde	A troca de moldes para o mesmo prato ocupa demasiado tempo.
Versatilidade das prensas	Existência de moldes que apenas poderiam ser utilizados em prensas dedicadas para tal.
Manutenção autónoma	Plano de manutenção existente muito débil e não utilizado.
Instruções de trabalho	Inexistência de manual para formação e integração de novos operadores na linha de produção.
Estudo e desenho de moldes	A empresa não possui processo interno para otimização dos moldes e de novos projetos.

4. IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES DE MELHORIA, RESULTADOS E DISCUSSÃO

No seguinte capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir da implementação das ações de melhoria no sentido de solucionar os problemas descritos previamente, bem como uma discussão sobre esses resultados. A implementação das ações de melhoria é uma etapa fundamental para avaliar a eficácia das estratégias propostas e compreender seu impacto no contexto estudado. Neste capítulo, serão ainda discutidos os principais resultados obtidos a partir da análise dos dados, bem como suas implicações para a área de estudo. O objetivo deste capítulo é apresentar os principais resultados do trabalho desenvolvido e responder às perguntas de pesquisa formuladas no início do projeto. Para isso, foram utilizadas técnicas de otimização e ferramentas de análise de dados para explorar os dados coletados. Além disso, serão apresentados gráficos, tabelas e outros recursos visuais que facilitam a compreensão dos resultados obtidos. Em resumo, este capítulo é essencial para a validação da pesquisa e para demonstrar a contribuição da pesquisa para a área de estudo.

4.1. Otimização do ciclo

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais resultados da otimização do ciclo de moldação, que foi realizada com o intuito de melhorar a eficiência do processo e reduzir os custos de produção. É importante salientar que a otimização do ciclo de moldação apresenta grande importância para a indústria da cortiça, pois permite aprimorar a qualidade do produto final e aumentar a competitividade no mercado global.

Para melhor perceber o processo, foi necessária uma semana de levantamento de dados. Durante este espaço temporal, foram acompanhadas produções e os seus processos, bem como os modos de falha. De forma a aumentar o conhecimento sobre esta linha de produção, a comunicação com os operadores e a proximidade aos mesmos foi um fator crucial, uma vez que estes estão nesta linha desde o começo. Foi possível assim obter um número de ideias de melhoria e resolução de problemas frequentes, não só através do diálogo, mas também através de desenhos e esboços ilustrativos.

Neste levantamento de dados, foi efetuada uma análise do tempo de ciclo. O ciclo é composto por seis etapas distintas:

- **Enchimento:** o operador efetua o enchimento do molde de forma manual, através de uma caixa com mistura proveniente do peneiro.
- **Recolha:** engloba as etapas de fecho automático da prensa.
- **Cura:** este tempo de cura varia de acordo com a geometria da peça, o tipo de mistura e a temperatura a que esta acontece.
- **Abertura:** engloba as etapas de abertura automática da prensa.
- **Extração:** o operador extrai as peças do molde direcionando ar comprimido para a cavidade, fazendo com que a peça se descole do molde. Estas peças são depois colocadas num caixote até ao enchimento total.

- Limpeza: o molde após o ciclo de prensagem necessita de uma limpeza para remover os resíduos de mistura que não foram utilizados na peça moldada. Esta limpeza é efetuada com recurso a ar comprimido.

De acordo com a geometria da peça, todas as etapas do ciclo têm uma duração variável. Uma peça moldada com maior altura irá necessitar de um molde com uma caixa de enchimento maior de forma a aumentar o volume de mistura a colocar no molde. Devido à necessidade de encher uma caixa de enchimento com maior volume, o tempo da etapa de enchimento será consideravelmente maior, levando assim a um maior tempo de ciclo. Na Tabela 9 é possível observar uma comparação do tempo de ciclo médio total e a média da duração das etapas entre duas geometrias idênticas, mas com alturas diferentes. Estas medições foram efetuadas com o mesmo operador para reduzir variáveis e foram efetuadas ao longo de 2 turnos.

Tabela 9 - Tempo médio das etapas do ciclo

Etapa	Peça com altura menor	Peça com altura maior
Enchimento	01:15 min	03:17 min
Recolha	00:18 min	00:24 min
Cura	07:00 min	12:40 min
Abertura	00:16 min	00:43 min
Extração	03:09 min	03:02 min
Limpeza	00:12 min	00:40 min
Total	12:10 min	20:46 min

4.1.1. Peneiro

Antes do ciclo de prensagem, existe ainda um processo de mistura. Este processo não foi alvo de uma análise detalhada, uma vez que esse trabalho já teria sido efetuado pela equipa de engenharia de processo presente na empresa, mas foi possível concluir que o peneiro (Figura 25) à saída do misturador representava um gargalo muito significativo. Foram várias as ocorrências durante o levantamento inicial em que devido à baixa capacidade de escoamento do peneiro, a mistura tornava-se indisponível, levando a um aumento do tempo de ciclo em 10 minutos. Adicionalmente, a rede do mesmo acumulava grandes quantidades de resíduos de mistura sob a forma de “grumos” de cortiça e cola, levando ao entupimento do orifício da rede e reduzindo assim a já baixa capacidade de escoar a mistura.



Figura 25 - Peneiro inicial

No sentido de reduzir o gargalo, foi pensado um novo peneiro com a ajuda de um fornecedor. Este novo peneiro foi fabricado com um motor vibratório maior, de forma a aumentar a capacidade de escoamento da mistura, com uma caixa recipiente maior para possibilitar o esvaziamento do misturador por completo de uma só vez e assim aumentar a versatilidade da pessoa dedicada ao processo de mistura, e também com uma rede mais robusta de forma a não haver quebras dos furos nem entupimento dos mesmos (Figura 26 e Figura 27).



Figura 26 - Rede e caixa do peneiro alterado



Figura 27 - Motor Vibratório do peneiro alterado

Este novo peneiro permitiu reduzir o tempo total da mistura em 10 minutos, aumentado a quantidade de mistura que escoar para as caixas e reduzindo a necessidade de ter um operador sempre presente ao lado do peneiro para garantir que a mistura não transbordava do peneiro.

Apesar de ser uma melhoria considerável, após uma semana de testes concluiu-se que este ainda continuava a ser um gargalo. Devido à grande caixa onde era despejada a mistura e a falta de potência do motor, a mistura demorava muito a passar pela rede do peneiro, aumentando a duração do tempo total da mistura e reduzindo o tempo de ciclo das prensas de moldação uma vez que por inúmeras ocasiões, em média 5 por turno, o operador teve de parar o ciclo de produção à espera de mistura.

Foi ainda observado que o tempo de limpeza da rede estaria a aumentar ainda mais o tempo de mistura total. Esta limpeza é efetuada quase sempre com recurso a ar comprimido de forma a libertar os grumos de cortiça presos nos orifícios da rede, mas uma vez que a pressão nas pistolas de ar comprimido não é muito elevada, este processo estaria a demorar em média 25 minutos.

No sentido de resolver estas novas falhas, um novo design de peneiro foi considerado (Figura 28 e Figura 29). Este apresenta uma caixa de despejo da mistura ligeiramente menor, mas com capacidade para albergar toda a mistura proveniente do misturador de uma só vez, um motor vibratório com maior potência, levando a uma maior velocidade de rotação do motor e aumentando a frequência da vibração, e a superior dimensão do motor originando uma maior amplitude da vibração, de forma a aumentar a capacidade de escoar a mistura pela rede e uma rampa de despejo com maior inclinação para não acumular mistura na mesma. Foi ainda criada uma rede suplementar para agilizar o processo de limpeza, passando agora a ser composto por duas partes: troca da rede entupida pelos grumos de cortiça pela rede suplementar com uma duração média de 1 minuto e posterior limpeza da rede entupida, efetuada já com o peneiro a funcionar.



Figura 28 - Rede e caixa do novo peneiro



Figura 29 - Motor Vibratório do novo peneiro

As alterações efetuadas permitiram reduzir o tempo de mistura em 5 minutos uma vez que o peneiro novo é capaz de escoar a mistura toda de uma vez em 6 minutos, aumentando a disponibilidade das máquinas e mantendo o tempo de ciclo na duração esperada.

4.1.2. Extração

A próxima etapa do ciclo a otimizar foi a extração das peças do molde. No levantamento inicial do processo (Tabela 10 e Tabela 11) foi observado que a extração das peças era efetuada com recurso a uma pistola de ar comprimido, sendo esta ligeiramente alterada de forma a melhor direcionar o ar para o interior das cavidades do molde e desta forma elevar as peças para a superfície do molde, onde o operador as recolhia com a mão e colocava no *big bag*, repetindo o processo até encher o mesmo. A diferença acentuada da duração do processo de extração entre os dois turnos é devido à destreza e facilidade de execução da tarefa, uma vez que o primeiro turno possui mais experiência na linha de produção em questão e ambas as medições foram efetuadas para o mesmo molde.

Este processo apresentava várias falhas, a principal sendo o tempo que este processo demorava (3 minutos para extrair as 100 peças do molde), e ainda o desgaste que este método causava no revestimento de *teflon* do molde, uma vez que apesar da pistola de ar comprimido ter um acessório na ponta de um material menos abrasivo, tal como borracha, o movimento repetitivo de embater nas paredes das cavidades levava ao desgaste prematuro (Figura 30). Os dados iniciais de todas as etapas de produção podem ser observados no Apêndice C e D.

Tabela 10 – Tempo de extração das 100 peças do molde (Turno 1)

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	02:55		
2	02:41		
3	02:50		
4	02:39		
5	02:41		
6	02:55		
7	02:45	02:44	00:07
8	02:35		
9	02:46		
10	02:48		
11	02:34		
12	02:45		

Tabela 11 - Tempo de extração das 100 peças do molde (Turno 2)

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	04:13		
2	05:06		
3	03:47		
4	03:02		
5	04:41		
6	04:34	04:06	00:36
7	03:53		
8	04:59		
9	03:49		
10	03:30		
11	03:47		
12	03:55		

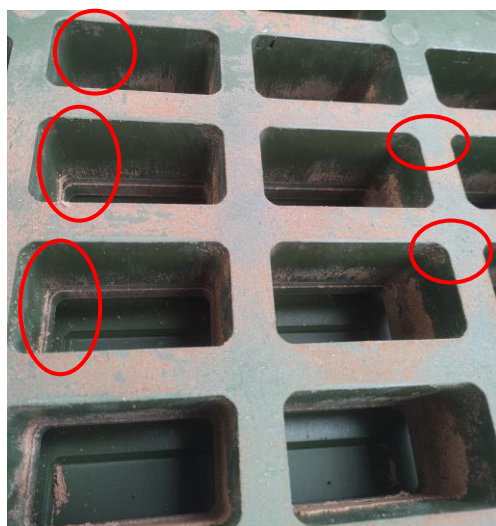


Figura 30 - Cavidades de molde desgastadas

Foi então pensado num novo conceito para efetuar a extração das peças do molde. Este novo conceito consistiu em dividir a base do molde em duas partes, a base e a caixa útil da peça, e a instalação de “abas” nas laterais (Figura 32). No sentido de efetuar as alterações ao processo de extração, foi necessário atualizar a programação do autômato da prensa, para acomodar o acessório de elevação do molde (Figura 33) e o acessório de extração (Figura 34).

O novo processo de extração pode ser descrito em 3 fases distintas:

- Elevação e recolha: após a elevação da tampa e a abertura da gaveta, o acessório de elevação com recurso a quatro cilindros hidráulicos eleva o molde pelas “abas” laterais. Após a elevação, a gaveta contendo agora apenas a base do molde recolhe de volta ao interior da prensa, deixando o fundo da caixa útil da peça exposto.
- Extração: o acessório de extração (Figura 34) desloca-se lateralmente, alinhado os pinos extratores com as cavidades. Após a deslocação lateral, o motor redutor inicia a descida e empurra as peças moldadas para uma caixa colocada por baixo do molde suspenso. O operador recolhe a caixa e deposita as peças no *big bag* e o acessório de extração desloca-se de volta à posição inicial pela ordem inversa.
- Abertura: no fim da etapa anterior, a gaveta volta a abrir, colocando a base do molde alinhada com o fundo da caixa útil da peça, acionando o sinal para iniciar a descida do molde suspenso no acessório de elevação, completando o ciclo e deixando o molde pronto para mais um ciclo.

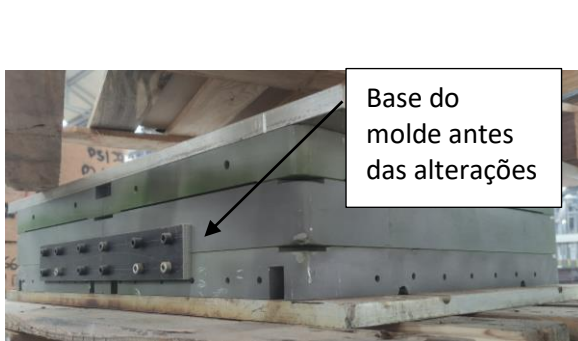


Figura 31 - Molde sem alterações

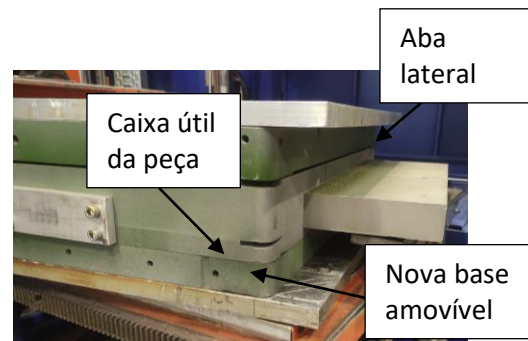


Figura 32 - Molde com alterações

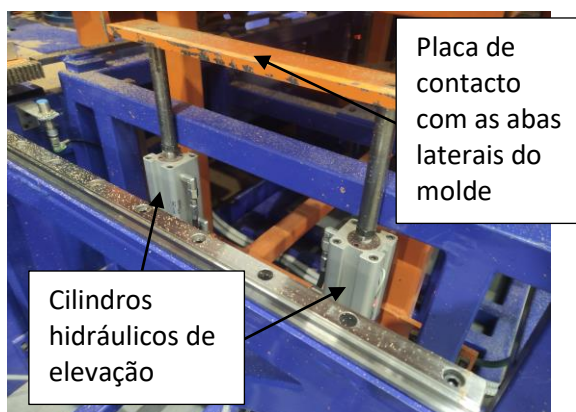


Figura 33 - Acessório de elevação



Figura 34 - Acessório de Extração

Cada vez que ocorre uma troca de molde é necessário voltar a introduzir a coordenada horizontal para o acessório de extração, uma vez que a posição de alinhamento do acessório com o molde está sujeita a variações. A coordenada horizontal de extração é definida pelo operador de manutenção através do HMI (*Human Machine Interface*) durante o processo de afinação do molde, havendo a garantia que o acessório irá ter à posição definida uma vez que o moto redutor que faz

o deslocamento tem um *encoder* incorporado. Este opera mediante o número de revoluções por minuto do motor e determina a posição horizontal a partir do zero.

Após implementadas as alterações ao processo, a extração passou a ser totalmente automatizada, passando apenas para o operador a necessidade de controlar o movimento do acessório para garantir que nenhum erro no ciclo ocorre e que o processo flui de forma normal, e sendo necessário colocar uma caixa por baixo do molde.

Foi efetuado um levantamento da redução temporal que as alterações produziram (Tabela 12). Em média levou a uma redução de 70% para a mesma peça estudada no levantamento inicial dos tempos de extração.

Tabela 12 - Novos tempos de extração

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	00:45		
2	00:41		
3	00:49		
4	00:35		
5	00:53		
6	00:54	00:49	00:07
7	00:45		
8	00:54		
9	00:49		
10	00:43		
11	00:56		
12	00:59		

Excluindo as geometrias circulares e quadrangulares, cada peça possui um centro de cavidade diferente e, como tal, é necessário um acessório específico para cada peça. Foi no sentido de reduzir tempo de setup para iniciar a produção e reduzir o custo de aquisição de mais unidades, que o design do acessório de extração teve em vista a possibilidade de troca rápida entre diferentes geometrias de molde, através da utilização de um acoplamento comum que efetua a ligação à torre móvel de extração da prensa hidráulica (Figura 35).

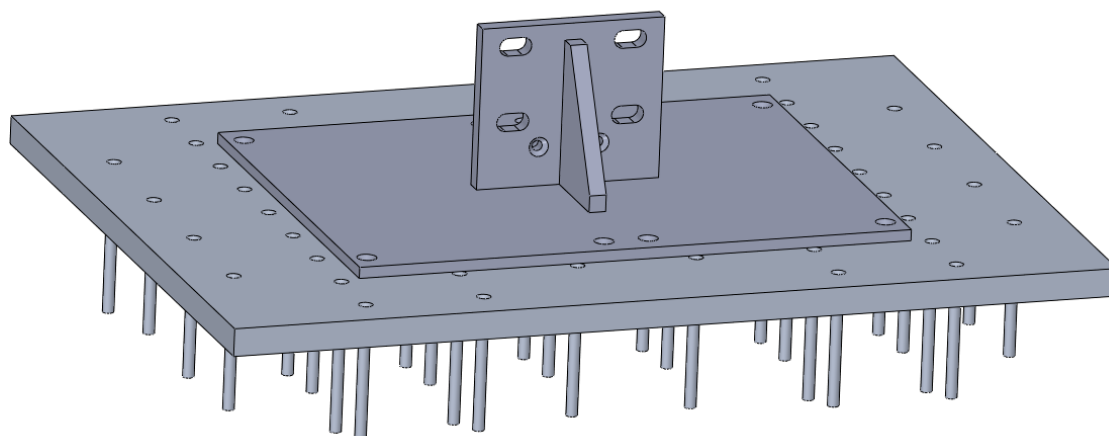


Figura 35 - Modelo de acessório de extração em SolidWorks

Em paralelo com a instalação de um novo sistema de extração, iniciou-se o estudo de uma forma de limpeza no sentido de potenciar a utilização do sistema de extração, uma vez que este efetua o movimento ao longo de todo o comprimento das cavidades do molde.

Para tal foi adquirida uma escova de amostra (Figura 36), com 100 mm de comprimento e 50 mm de diâmetro exterior, e ainda com filamentos de PA6 com 0,15 mm de espessura. A escolha do material foi considerada devido ao elevado ponto de fusão do material (220 °C), uma vez que a temperatura do molde não supera 150 °C, e ainda esta espessura de filamento torna possível a limpeza dos resíduos de cortiça sem danificar o revestimento do molde.



Figura 36 - Amostra de escova

O ensaio inicial teve a duração de 2 semanas, durante o qual a escova trabalhou na mesma cavidade, tendo sido possível verificar que a cavidade onde a escova estava inserida apresentava

menor desgaste do revestimento, bem como melhor limpeza com menos resíduos de cortiça relativamente às cavidades circundantes (Figura 37).



Figura 37 - Comparação entre a cavidade com a limpeza pela escova vs. limpeza com ar comprimido

Devido ao sucesso do ensaio inicial, decidiu-se avançar com a replicação da inserção de escovas por todos os filamentos do extrator, o que permitirá não só aumentar a qualidade da limpeza e a longevidade do revestimento, mas também reduzir no tempo de limpeza do molde, reduzindo assim o tempo de ciclo. Foi iniciado ainda um trabalho de desenvolvimento de escovas para as restantes formas geométricas, tais como quadrados e triângulos. Este trabalho, em conjunto com o fornecedor, será a criação do corpo das escovas através da injeção de plástico para um molde com as dimensões da forma geométrica em questão e replicação do processo anterior.

4.1.3. Alimentação

A alimentação foi a próxima etapa do ciclo a ser otimizada. Numa fase inicial do processo (Tabela 13) esta era feita de forma manual, com o operador a verter a mistura de uma caixa diretamente para a superfície do molde e efetuar o espalhamento da mesma com recurso a uma cantoneira de cartão. Este método de encher o molde tem bastantes limitações ao nível da qualidade das peças produzidas e ao nível da velocidade de enchimento, uma vez que a velocidade está diretamente relacionada com a destreza do operador para efetuar o espalhamento de forma mais acelerada e com menos desperdícios associados, ocorrendo várias vezes. Os tempos de cada etapa para o molde estudado neste subcapítulo podem ser observados nos Apêndices A e B.

Tabela 13 - Tempos iniciais de alimentação

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	02:57		
2	03:07		
3	03:12		
4	02:24		
5	02:44		
6	03:58	03:14	00:25
7	03:40		
8	03:03		
9	03:28		
10	03:21		
11	03:13		
12	03:38		

O molde que apresentava o caso mais crítico era o que possui uma caixa de enchimento maior, levando mais mistura e aumentando o tempo. Esta demora por várias vezes levava a que a mistura que caísse primeiro para a cavidade começasse a reticular antes do tempo e produzisse peças com pior qualidade, mais frágeis e com tendência para desagregar.

A prensa foi desenhada com um sistema de alimentação automático (Figura 38 e Figura 39), que opera através do enchimento da caixa de despejo da mistura, sem fundo, e de um motor que provoca o movimento lateral pela cremalheira. Durante este deslocamento, irá efetuar o enchimento do molde pela base sem fundo e também o varrimento da superfície do molde. No entanto, este equipamento apresentava alguma instabilidade no seu movimento, visto que a transmissão do movimento é efetuada do motor frontal para a cremalheira oposta por meio de um mecanismo de rodas dentadas, levando a um ligeiro desfasamento do movimento e produzindo oscilações.

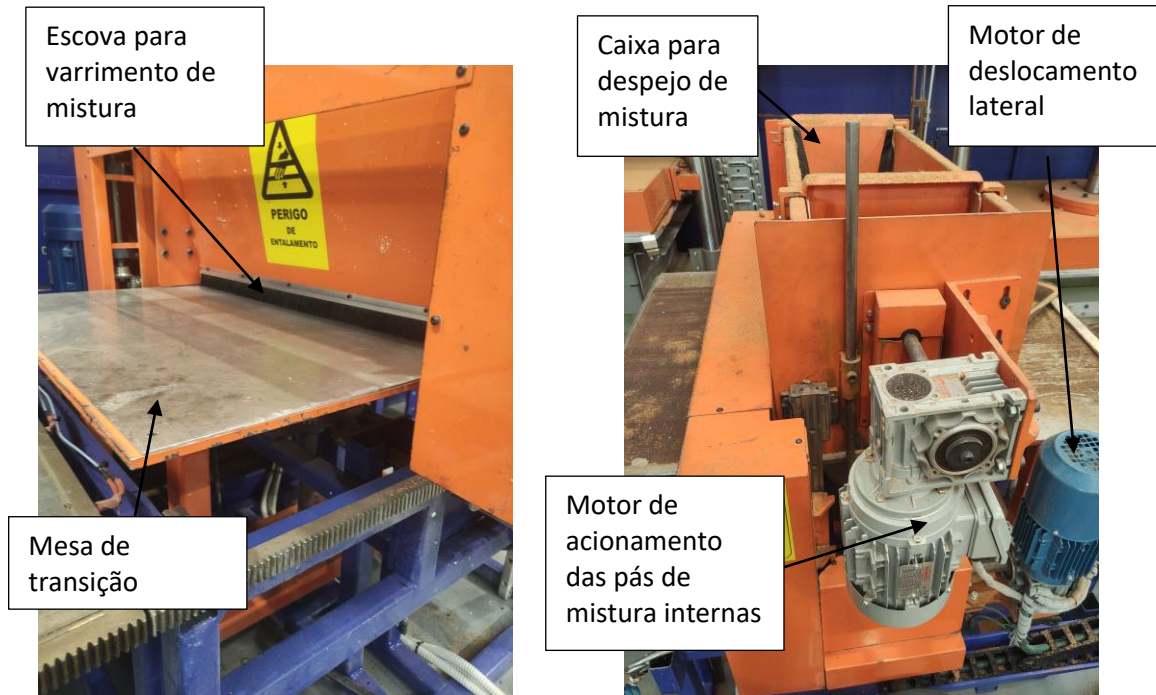


Figura 38 - Vista lateral do alimentador automático Figura 39 - Vista superior do alimentador automático

Devido a esta falha e ainda devido à falta de ligação entre a mesa e o molde, esta solução foi abandonada quase logo à partida do início de vida da prensa.

A primeira solução encontrada foi uma caixa sem fundo que simulava o trabalho do alimentador automático, mas de forma manual (Figura 40). O operador vertia a mistura para dentro da caixa e deslocava-a lateralmente de forma a espalhar a mistura dentro da mesma, espalhando também com a mão para garantir que todas as cavidades eram completamente preenchidas. Esta solução permitiu uma redução do tempo de enchimento em 30% (Tabela 14).



Figura 40 - Acessório para enchimento

Tabela 14 – Tempos de enchimento com acessório manual

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	01:59		
2	02:15		
3	02:12		
4	02:05		
5	02:07		
6	02:14	02:09	00:08
7	02:18		
8	02:04		
9	01:58		
10	02:21		
11	02:01		
12	02:19		

No sentido de resolver este problema de oscilação de movimento, foram instaladas duas rodas dentadas no alimentador automático em contacto direto com a cremalheira, mas com rotação livre. Estas permitiram aumentar a estabilidade de movimento e aumentar a fiabilidade do equipamento, levando a que os operadores se sentissem mais confiantes e confortáveis com a sua utilização. Foi ainda necessário trocar o mecanismo de varrimento da superfície do molde.

Inicialmente o equipamento vinha equipado com uma escova com pequenos filamentos que efetuam pressão necessária para varrer a mistura para dentro das cavidades do molde. No entanto, este sistema apresenta várias falhas, tais como o varrimento não ser bem efetuado em cada ciclo, levando a acumulação de mistura na superfície que se traduz em desperdícios e má qualidade das peças moldadas, e ainda ocorria a acumulação de mistura por trás dos filamentos que fazia com que os filamentos ficassem ligeiramente levantados e não ocorria o contacto necessário com a superfície do molde para efetuar o correto varrimento.

Para corrigir este modo de falha, foi criada uma forma de varrimento (Figura 41), com recurso a um compósito de cortiça e borracha, colocada entre duas placas de aço e aparafusada à estrutura, que conferiu mais robustez no mecanismo de varrimento da superfície, eliminando o problema de acumulação de mistura na traseira dos filamentos e aumentando a capacidade de limpar por completo a superfície do molde.



Figura 41 - Solução para varrimento

Na Tabela 15 estão representados os tempos de enchimento com o equipamento automático, ainda com a escova inicial, que se traduziu num ganho extra de 25% e na Tabela 16 os tempos de enchimento com a nova solução para varrimento, ou seja, uma redução total de 60% quando comparada com a solução inicial.

Tabela 15 - Tempos de enchimento com escova

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	02:01		
2	01:34		
3	01:32		
4	02:30		
5	01:27		
6	01:42	01:46	00:18
7	01:38		
8	01:59		
9	01:29		
10	02:01		
11	01:44		
12	01:39		

Tabela 16 - Tempos de enchimento com solução de varrimento

Ensaio	Duração (minutos)	Média (minutos)	Desvio padrão (minutos)
1	01:21		
2	01:17		
3	01:12		
4	01:16		
5	01:19		
6	01:22	01:19	00:03
7	01:25		
8	01:16		
9	01:18		
10	01:21		
11	01:23		
12	01:20		

Com as soluções de extração e varrimento introduzidas, foi possível efetuar passar de um tempo de ciclo 21min e 54s para 16min e 39s, uma redução total do tempo de ciclo de 24% na peça mais crítica, os cilindros grandes, estando os novos ensaios no Apêndice E.

4.2. Alterações dos equipamentos

A moldação de cortiça é um processo crucial na produção de uma variedade de produtos de cortiça. Com o mercado em constante mudança, é fundamental que este processo seja continuamente melhorado. Uma maneira de fazer isso é através da alteração das prensas hidráulicas de moldação de cortiça, que são amplamente utilizadas nesse processo. Neste capítulo, serão exploradas as alterações que podem ser feitas nas prensas hidráulicas para melhorar a qualidade do produto, aumentar a eficiência do processo e reduzir o tempo de produção.

4.2.1. Curso da tampa da prensa

Durante o levantamento inicial, foi observado que as prensas hidráulicas tinham bastantes pontos a melhorar, tais como o curso da tampa. Estas prensas possuem uma fotocélula no fim do curso do embolo da tampa, que enviam um sinal para o autômato indicando que a tampa terminou o curso de subida, e a partir daí dar a ordem de abertura da gaveta.

Uma vez que existem vários moldes em que a altura da caixa de enchimento é muito reduzida, não faz sentido a tampa efetuar todo o seu curso em cada ciclo, havendo margem de melhoria ao reduzir o curso e reduzir o tempo de ciclo.

Neste sentido, foi adquirida uma nova fotocélula e desenhado um suporte para a mesma (Figura 42), com uma ranhura para permitir algum ajuste necessário uma vez que a limpeza da parte superior do molde é algo a ter em consideração e se a redução do curso for muito significativa poderá impactar negativamente na tarefa de limpeza.

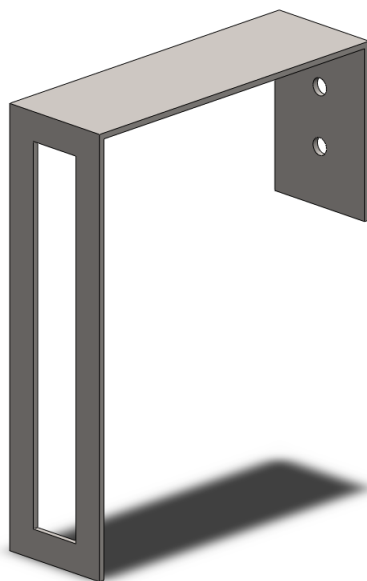


Figura 42 - Suporte para sensor

A instalação da fotocélula permitiu replicar o sinal de fim de curso da tampa numa posição inferior, mas após a instalação concluiu-se que este sinal não parava o movimento da tampa, ou seja, a tampa da prensa mesmo com o sinal de “cima” continuava o movimento completo de abertura até ao fim do êmbolo. Para contornar este problema, foi criada uma solução de *bypass*, que consistiu na instalação de um relé, com a condição de sempre fechado, que se ligou à bomba hidráulica e ao sinal de fim de curso, ou seja, quando o sinal de fim de curso é ativado, este relé muda de condição para aberto e corta o fornecimento da bomba hidráulica para o êmbolo, efetuando assim o fim de curso no local pretendido.

Na Figura 43 é possível observar a situação inicial, com a tampa aberta no seu curso máximo e na Figura 44 a alteração efetuada ao curso da tampa, sendo possível observar a redução do curso da tampa. Esta alteração traduziu-se num ganho de 15 segundos por ciclo, o que representa uma redução de 67% nesta etapa.

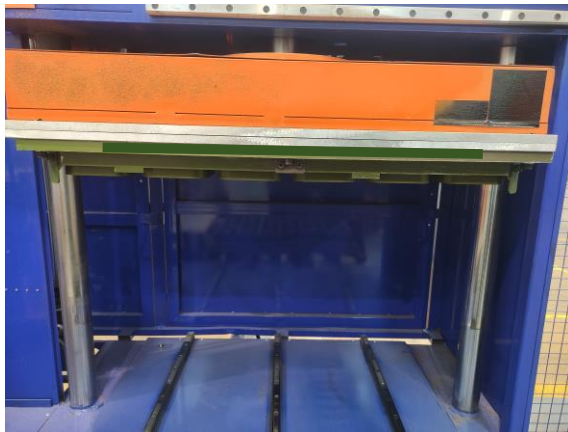


Figura 43 - Fim de curso inicial

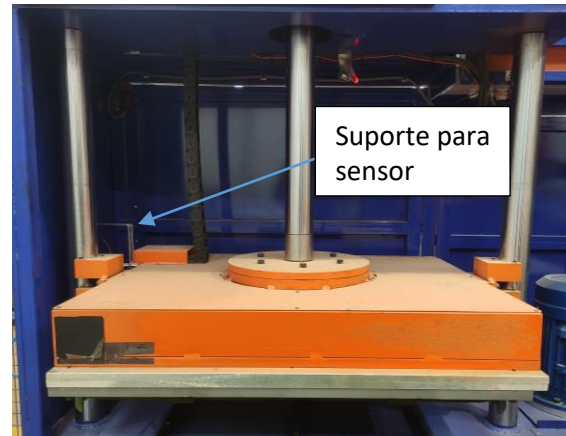


Figura 44 - Fim de curso alterado

4.2.2. Velocidade de descida da tampa

Seguidamente analisou-se a velocidade de descida da tampa. Na produção de peças mais sensíveis à variação de peso, ocorria em cada ciclo a dispersão de material para fora da caixa de enchimento aquando da prensagem, uma vez que o granulado é muito leve e fino e a velocidade de descida seria muito elevada.

A solução encontrada para reduzir esta velocidade de descida, foi obtida no seguimento de ensaios para uma peça piloto. Contactou-se um fornecedor para efetuar um estrangulamento na bomba hidráulica, reduzindo a sua capacidade e por sua vez reduzir a velocidade de descida da tampa. Esta solução (Figura 45) passou por redirecionar as manguerias por onde passa o óleo para o mecanismo exterior. Este mecanismo é composto por uma válvula de globo atuada manualmente e um regulador de caudal. Quando a tampa da prensa se encontra perto de terminar o seu curso, o operador fecha a válvula de globo (Figura 46) e força o óleo a passar pelo estrangulador de caudal, regulado previamente para não estrangular demasiado o fluxo do óleo, mas o suficiente para apenas reduzir a velocidade de descida.



Figura 45 - Mecanismo de redução de caudal aberto



Figura 46 - Mecanismo de redução de caudal fechado

Foi graças a esta alteração da velocidade de descida da tampa da prensa que foi possível iniciar a produção industrial de uma nova peça até então apenas em fase de testes, uma vez que ao não expelir o granulado da caixa de enchimento este confere à peça toda a rigidez necessária para não haver a desintegração nem a existência de “fofos”, que são pontos em que a peça apresenta uma pior consistência e é mais suscetível a perder a forma e possivelmente partir.

4.2.3. Flexibilidade dos equipamentos

Um dos maiores problemas durante o desenvolvimento do trabalho foi a impossibilidade de iniciar a produção de alguns moldes devido à impossibilidade de produção nas três prensas disponíveis. Estes moldes possuem uma caixa de enchimento muito reduzida, logo não têm altura suficiente para serem utilizados em duas das prensas. De facto, estes tipos de moldes só podem ser utilizados numa das prensas porque possui um cilindro hidráulico com um curso superior ao curso das outras duas prensas.

A primeira solução pensada foi também a mais óbvia, trocar o cilindro hidráulico das prensas que possuem um curso menor e assim aumentar o curso. No entanto, devido a custos associados e necessidade de acelerar o trabalho, esta solução não foi a adotada.

A segunda solução (Figura 47) que passou por instalar um cilindro de aço entre o fim de curso do cilindro hidráulico e a tampa. Este cilindro foi dimensionado para 180 mm, uma vez que esta era a dimensão necessária para tornar possível utilizar os moldes com a altura mais reduzida, e que não apresentasse um esforço muito maior no cilindro hidráulico que pudesse levar à falha deste equipamento.

Embora esta solução pareça contraditória à redução do curso anteriormente apresentada, esta também funciona como uma redução do curso da tampa, mas de forma física, uma vez que ao introduzir o cilindro de aço de 180 mm, é não só criado um efeito de aumento do curso do êmbolo hidráulico, mas também uma redução do curso do macho do molde, uma vez que este não terá de percorrer os 180 mm de acréscimo ao êmbolo.



Figura 47 - Extensão do curso da tampa

Seguidamente, foi observado que, apesar da extensão do curso da tampa, ainda existia a impossibilidade de utilizar certos moldes na prensa recém alterada. Tal acontecia devido à

diferença de dimensões entre o prato da prensa e a base do molde, sendo que as dimensões do molde se revelaram demasiado grandes para o prato e os furos existentes não eram capazes de segurar o molde ao prato.

A solução para este problema foi a utilização de uma chapa de 20 mm de espessura em alumínio que contém os furos existentes no prato da prensa e as novas furações capazes de segurar quer os moldes de maior dimensão quer os moldes de menor dimensão. Esta chapa foi desenhada (Figura 48) tendo em consideração todos os moldes que poderão ser utilizados e o tendo em consideração também os furos existentes no prato da prensa e ficarão fixas de forma a reduzir tempos de *setup* e prolongar a vida das roscas de alumínio dos pratos da prensa.

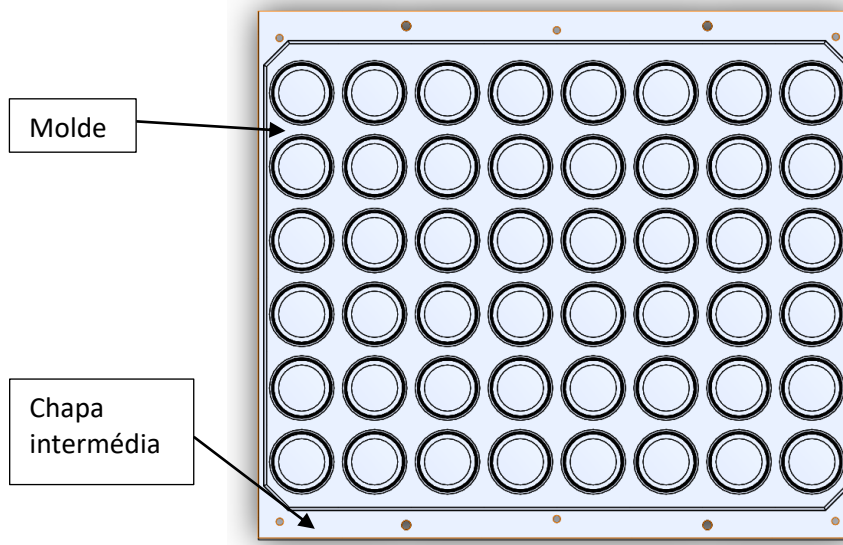


Figura 48 - Molde com chapa intermédia nova

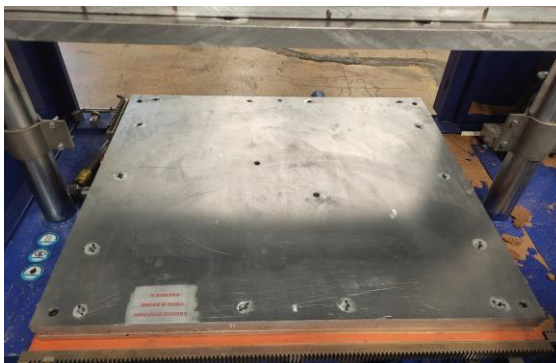


Figura 49 - Chapa inferior

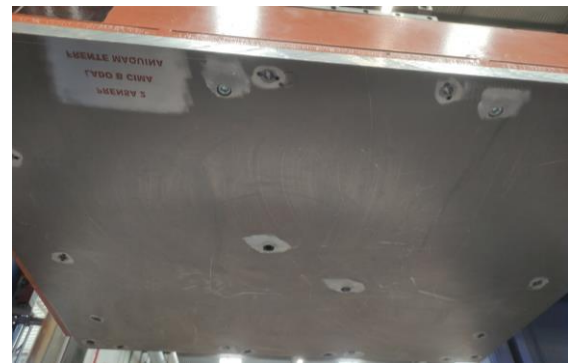


Figura 50 - Chapa superior

O resultado das alterações (Figura 49 e Figura 50) confere mais segurança na instalação de moldes para a produção na prensa e ainda irá a longo prazo aumentar a durabilidade do prato uma vez que as roscas novas foram produzidas num casquilho em aço e embutidas na chapa nova com recurso a dois pernos de ligação, que impedem que a rosca exterior do casquilho fique degradada ao longo do tempo e que haja perda de tempo para efetuar trabalhos de reparação nas mesmas.

Na Figura 51, é possível observar o molde da Figura 48 numa nova prensa, graças às alterações das novas chapas.

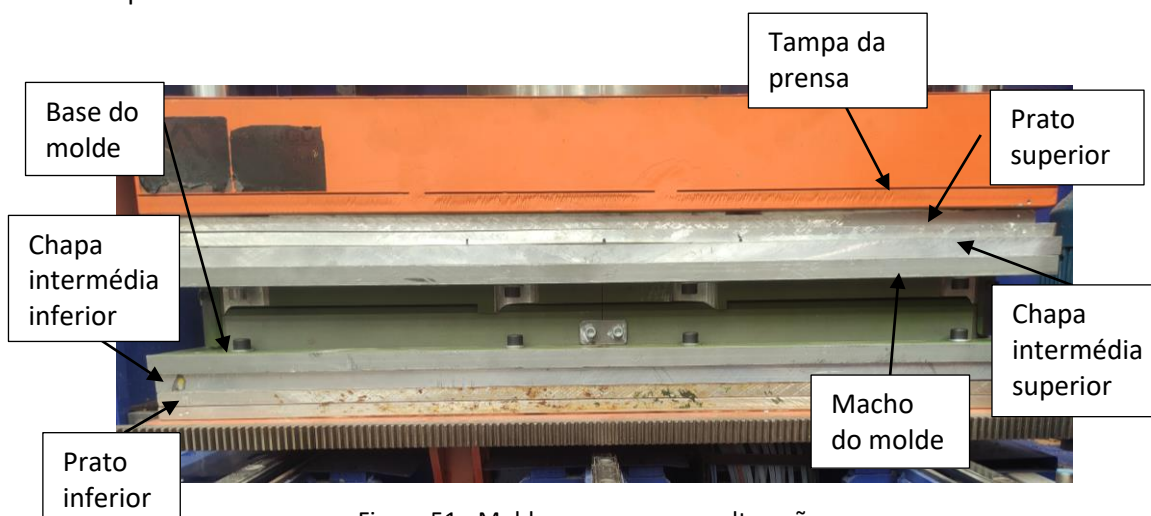


Figura 51 - Molde na prensa com alterações

4.2.4. Alteração do revestimento

A última alteração efetuada foi o revestimento dos moldes, através da mudança de fornecedor, mas mantendo o tipo de revestimento utilizado à base de Teflon (PTFE).

Esta mudança ocorreu ao nível da cor (Figura 52 e Figura 53), sendo a mudança mais notória à primeira vista, uma diferente composição do revestimento Teflon e ainda um diferente processo de deposição do revestimento no molde, que devido à confidencialidade do fornecedor não será possível detalhar.

De forma a confirmar a utilidade do novo revestimento, foi efetuado um primeiro estudo com a geometria que apresentava maior rejeição, os cilindros grandes. Após o novo revestimento, foi verificado que o tempo de vida do molde aumentou de 300 ciclos para um total de 740 ciclos, um aumento temporal de 3 semanas para 2 meses, e foi possível também reduzir a rejeição de 30% para 1% após pintura da peça no fornecedor externo, uma vez que apenas nessa etapa é que é contabilizada a rejeição.

Apesar de o novo revestimento ser aproximadamente 4 vezes mais caro que o anterior, foi possível concluir que quando contabilizado o custo de pintura, o custo de transporte e a diferença entre rejeição, conclui-se que por ciclo bom, o novo revestimento reduz o custo em 16% quando comparado com o custo por ciclo sem rejeição utilizando o revestimento anterior.



Figura 52 - Revestimento anterior

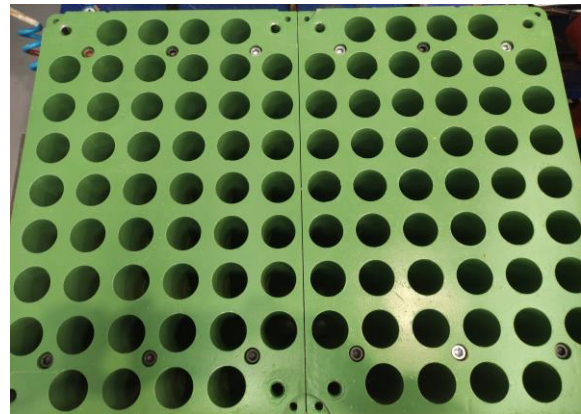


Figura 53 - Novo revestimento

4.3. Manutenção autônoma

A manutenção autônoma é uma metodologia que tem vindo a ganhar cada vez mais importância na gestão da manutenção industrial. Este tipo de manutenção baseia-se na responsabilização dos operadores pela manutenção e gestão dos equipamentos que utilizam. Isto implica uma mudança de paradigma na gestão da manutenção, passando de uma abordagem reativa para uma abordagem proativa, em que os operadores assumem um papel mais ativo na prevenção e correção de avarias.

Ao envolver os operadores na manutenção diária dos equipamentos, através da realização de inspeções, limpezas e pequenas intervenções, a manutenção autônoma pode ajudar a aumentar a eficiência da linha de produção, reduzir o tempo de paragem e prevenir avarias. Neste contexto, a aplicação da manutenção autônoma na linha de moldação de cortiça, especialmente nas prensas hidráulicas, pode trazer grandes benefícios.

Primeiramente foi efetuada uma análise dos principais problemas que ocorriam durante o processo produtivo. Estes problemas são:

- Lubrificação de fusos e guias lineares;
- Limpeza geral da prensa;
- Fugas de óleo;
- Fugas de ar comprimido;
- Desalinhamentos e empenos.

No sentido de resolver os problemas diários, foram definidos três tipos de ações que os operadores seriam capazes de efetuar: inspeção visual, limpeza e lubrificação. Foram então identificados os possíveis locais para utilizar estes três tipos de manutenção autônoma e, em conjunto com a equipa de manutenção, definidas as tarefas que os operadores poderiam começar a fazer. Na Figura 54 está representado um exemplo de um plano de manutenção autônoma desenvolvido em conjunto com a equipa de manutenção. O plano de manutenção das prensas pode ser observado com maior

detalhe no Apêndice F, bem como os planos de manutenção criados para o peneiro e para o misturador no Apêndice G.

Linha: CMS-MOLDAÇÃO		PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA - Equipamento Prensa 3								2ª	3ª	4ª	5ª	
Nº	Equipamento	Tipo de intervenção	Órgão	Ferramenta / Material	Instrução	Frequência	Estado da Máquina	Quando Fazer?	Tempo execução	T	T	T	T	
										T	T	T	T	
1	Prensa 3		Moldes	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpeza de resíduos de cortiça que ficam agarradas às paredes do molde.	DIÁRIA	Parada	1 Turno/Dia	10					
2			Guias verticais da prensa	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar guias com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1					
3			Guias Moldes	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar guias com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1					
4			Cremalheiras	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar cremalheira com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1					
5			Cilindros Hidráulicos	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar os cilindros com a vassoura e ar comprimido; Verificar fugas de óleo.		Em funcionamento		1					
6			Central Hidráulica	Pistola de Ar comprimido	Limpar central hidráulica com ar comprimido.		Em funcionamento		1					
7			Sistemas de Segurança	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Verificar funcionamento dos sistemas de segurança e se necessário efetuar limpeza de sensores.		Parada		1					
8			Nível Óleo		Verificar nível do óleo do sistema pneumático na parte de trás da prensa.		Em funcionamento		1					
9			Moldes		Verificar empeno e desgaste dos moldes.		Parada		2					
10			Sistema Pneumático		Verificar fugas nos tubos de ar comprimido.		Em funcionamento		2					
11			Guias verticais da prensa	Spray lubrificante	Lubrificar as guias com o spray.		Parada		2					
12			Guias Moldes	Spray lubrificante	Lubrificar as guias com o spray.		Parada		2					
13			Cremalheiras	Spray lubrificante	Lubrificar a cremalheira com o spray.		Parada		2					
14			Motor	Pistola de Ar comprimido, Vassoura, spray	Limpar o motor e verificar o funcionamento		Parada		5					
15			Patins e guias lineares	Massa lubrificante	Lubrificar patins e guias lineares com a bomba de massa	Parada	5	1 Turno/Semana						
16			Fuso do extrator	Massa lubrificante	Lubrificar fuso do extrator com a massa	Parada	5							
17			Cilindro da Gaveta	Pistola de Ar comprimido, Vassoura, spray	Limpar o cilindro e lubrificar com spray	Parada	5							

Figura 54 - Plano de manutenção autónoma

Para efetuar a definição da frequência de execução das tarefas, foi considerado o grau de dificuldade da tarefa e a quantidade de ferramentas necessárias para a execução da mesma. Tarefas como a verificação do nível do óleo e fugas de ar comprimido são tarefas em que apenas entra a inspeção visual, e havendo não conformidade, será necessário chamar a equipa de manutenção para repor o nível do óleo ou reparar as fugas de ar comprimido, uma vez que devido a limitações internas os operadores não têm autorização para efetuar tais reparações devido ao potencial risco de lesões.

No entanto, tarefas como a lubrificação de guias lineares e o fuso do extrator, são necessárias ferramentas específicas da tarefa tais como uma bomba de massa manual (Figura 55), que irá introduzir a massa lubrificante de lítio nos locais destinados à introdução da mesma, como a boca apresentadas na Figura 56.



Figura 55 - Bomba de massa manual



Figura 56 - Boca de inserção de massa

A criação deste plano de manutenção autónoma reduziu o número de reparações corretivas necessárias nas máquinas de forma considerável, aumentado a rapidez de atuação da equipa da manutenção e libertando também esta equipa para a realização de outros trabalhos necessários noutras áreas da fábrica, uma vez que os elementos desta equipa de manutenção estão alocados a várias unidades industriais e não apenas à área de moldação de cortiça.

Incidentes que impossibilitam a produção tais como a falha do motor do extrator foram eliminados devido ao trabalho de limpeza e lubrificação, aumentando a disponibilidade dos equipamentos e aumentando também a produtividade geral.

Estas melhorias foram constatadas na prática, mas infelizmente, por falta de tempo, não foi possível quantificá-las.

4.4. SMED

Compreendendo a aplicabilidade da metodologia SMED na indústria de moldação de cortiça, é importante entender como implementar a técnica no mundo real. A redução do tempo de troca de moldes numa linha de produção é o objetivo principal da metodologia SMED e é alcançada através de um processo de análise e otimização dos procedimentos envolvidos na troca de moldes, uma vez que esta metodologia será aplicada numa linha de moldação.

O primeiro passo é identificar e separar as etapas externas e internas do processo de troca de moldes. As etapas externas referem-se a atividades que podem ser executadas enquanto a prensa ainda está em funcionamento, enquanto as etapas internas são realizadas somente quando a prensa está parada. Em seguida, é necessário avaliar cada uma dessas etapas e identificar oportunidades para reduzir o tempo necessário para a sua execução.

No sentido de avaliar quais as etapas internas e externas, foi necessário acompanhar vários processos de troca de moldes. Estes eram sempre demorados devido à pouca disponibilidade da equipa de manutenção para os efetuar e ainda devido à dificuldade de manuseamento dos moldes, uma vez que o seu elevado peso, geralmente entre 200 e 450 kg, e falta de equipamento adequado.

Na Tabela 17 e Tabela 18 está representada uma folha de observação de troca de moldes. Através de uma análise a esta tabela é possível concluir que a grande parte das tarefas necessárias para a troca de moldes são tarefas internas e estas tarefas são necessárias para a troca devido à

necessidade de manter os operadores em segurança. Também será importante ter em consideração que a troca de moldes ocorre quase sempre quando o molde está desgastado e a qualidade das peças já não é aceitável, ocorrendo muitas vezes desagregação e também a dificuldade de extração das peças das cavidades do molde.

Tabela 17 - Folha de observação de troca de moldes

FOLHA DE OBSERVAÇÃO DE TROCA DE MOLDES						
Etapa	Descrição da atividade	Hora de início	Tipo de atividade	Duração	%	Observações
1	Desapertar frente do molde	15:13:00	Interna	00:01:50	1,45%	
2	Desapertar traseira do molde	15:14:50	Interna	00:01:55	1,51%	
3	Abrir Prensa	15:16:45	Interna	00:01:32	1,21%	
4	Ir buscar Ferramentas	15:18:17	Interna	00:02:12	1,73%	
5	Desapertar Aba lateral	15:20:29	Interna	00:02:34	2,02%	
6	Desapertar completamente os parafusos da base	15:23:03	Interna	00:04:32	3,57%	
7	Remover Ligação lateral do ar comprimido	15:27:35	Externa	00:03:21	2,64%	Molde seguinte não necessita de ligação de ar comprimido
8	Rotação molde	15:30:56	Interna	00:02:51	2,25%	
9	Ir buscar o staker	15:33:47	Externa	00:04:18	3,39%	Staker em utilização
10	Elevar molde inteiro	15:38:05	Interna	00:02:30	1,97%	
11	Colocar calço	15:40:35	Interna	00:00:17	0,22%	
12	Descer molde	15:40:52	Interna	00:00:59	0,78%	
13	Colocar staker por baixo do molde	15:41:51	Interna	00:00:53	0,70%	
14	Colocar molde no staker	15:42:44	Interna	00:04:15	3,35%	
15	Arranjar local para molde	15:46:59	Externa	00:00:09	0,12%	
16	Devolver staker	15:47:08	Interna	00:00:21	0,28%	
17	Colocar Palete fora da zona de trabalho e colocar molde	15:47:29	Interna	00:00:21	0,28%	
18	Transporte de molde para a palete	15:47:50	Interna	00:02:32	2,00%	
19	Descarregar molde na palete	15:50:22	Interna	00:01:12	0,95%	
20	Transporte conjunto	15:51:34	Interna	00:06:47	5,35%	
21	Desviar material à frente do molde a colocar	15:58:21	Externa	00:03:22	2,65%	
22	Retirar molde do local	16:01:43	Externa	00:00:31	0,41%	
23	Remover chapas extra em cima do molde	16:02:14	Externa	00:00:23	0,30%	
24	Colocar nova chapa superior no molde novo	16:02:37	Externa	00:07:50	6,18%	
25	Tarefa de manutenção fora do processo	16:10:27	Externa	00:05:01	3,96%	
26	Colocar nova chapa superior no molde novo (cont)	16:15:28	Externa	00:01:47	1,41%	

Tabela 18 - Folha de observação de troca de moldes (continuação)

27	Colocar chapas elevatórias na prensa	16:17:15	Interna	00:06:23	5,03%	
28	Colocar cintas e tubos na base do molde	16:23:38	Externa	00:02:13	1,75%	
29	Transporte do staker de volta ao molde novo	16:25:51	Interna	00:01:38	1,29%	
30	Colocar cintas no staker	16:27:29	Interna	00:01:02	0,81%	
31	Elevar molde	16:28:31	Interna	00:01:55	1,51%	
32	Transporte conjunto molde novo	16:30:26	Interna	00:03:31	2,77%	
33	Descer molde para a prensa	16:33:57	Interna	00:02:58	2,34%	
34	Ajustar molde manualmente	16:36:55	Interna	00:08:25	6,64%	
35	Arrumar staker	16:45:20	Externa	00:01:12	0,95%	
36	Ir buscar parafusos	16:46:32	Externa	00:14:22	11,33%	
37	Aparafusar base frente do molde	17:00:54	Interna	00:07:15	5,72%	
38	Aparafusar topo frente	17:08:09	Interna	00:01:49	1,43%	
39	Aparafusar parte de trás	17:09:58	Interna	00:09:51	7,77%	
	Hora de fim	17:19:49				
	Soma			2:06:49	100,00%	
	Soma Setup interno			01:22:20	64,92%	
	Soma Setup externo			00:44:29	35,08%	

Através da observação da folha de troca de moldes, é possível concluir que o processo de troca de moldes demora mais de 2 horas. A este valor, ainda acrescenta o tempo de espera pela equipa de manutenção que, em média, acrescenta 2 horas ao tempo de troca de moldes. Como tal, o processo total demora, em média, 4 horas desde que ocorre a necessidade de trocar o molde até o processo ficar concluído.

Uma das técnicas utilizadas na metodologia SMED para reduzir o tempo de troca de ferramentas é a padronização das ferramentas e dos processos de limpeza e preparação, tal como referido no capítulo 2.4.1 da revisão bibliográfica. Tal pode ser alcançado através da criação de instruções de trabalho e da utilização de ferramentas e equipamentos que permitam a preparação mais eficiente.

Antes de proceder à criação de um novo processo de troca de moldes, foi necessário dar formação aos operadores para proceder à troca de moldes. Foram efetuadas três sessões com a equipa de manutenção e os operadores de turno, começando pelo primeiro turno e posteriormente para o segundo turno. A primeira reunião foi apenas para a equipa visualizar e acompanhar o processo de troca de moldes, na segunda reunião houve interação entre a equipa da manutenção e os operadores e na última reunião, já foram os operadores a efetuar a troca de molde de forma 100% autónoma. Este processo permitiu reduzir em 2 horas o tempo de troca de moldes, graças à eliminação da necessidade da equipa de manutenção.

Após a análise, foi pensado um novo processo de troca de moldes com vista a reduzir tanto o tempo despendido como a dificuldade e complexidade do processo.

A ideia inicial seria utilizar um carrinho de rolos (Figura 57) em que o operador, após desapertar todos os apertos e ligações do molde à prensa, colocaria o molde em cima do carrinho e visto que seria composto por pequenos rolos o molde iria rolar com relativa facilidade. No entanto, colocaria

um problema quando o molde fosse colocado em cima do prato da prensa iria causar atrito e tornaria a tarefa de colocar o molde no local pretendido muito mais difícil.



Figura 57 - Plataforma elevatório com rolos

Foi então necessário repensar na solução para o processo de troca de moldes, uma solução que teria de acomodar a dificuldade de transporte devido ao peso do molde e ainda a facilidade de colocação do molde na prensa, onde fosse possível efetuar ajustes relativamente ao prato e ao acessório de extração.

A solução pensada passou pela utilização de uma linga de quatro pontos e um acessório para os garfos do *stacker*.

Primeiramente, foi necessário instalar parafusos de olhal em todas as chapas de base de todos os moldes. Os parafusos utilizados foram retirados do site do fornecedor de acordo com a tabela fornecida relativamente à força máxima suportável em todas as direções, tal como é possível concluir pela Figura 58 e Figura 59.

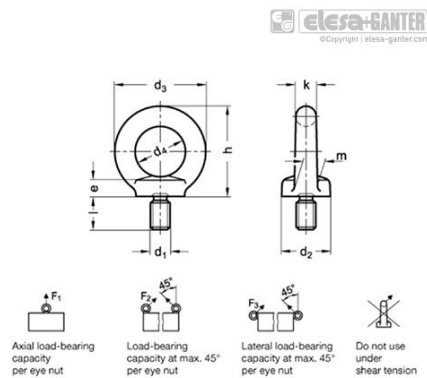


Figura 58 - Representação esquemática das forças do parafuso

SKU	d1	d2	d3	d4	e	h	k	l	m	F1 max. in N	F2 max. in N	F3 max. in N
DIN 580-M8-NI	M 8	20	36	20	6	36	8	13	10	1400	1000	700
DIN 580-M10-NI	M 10	25	45	25	8	45	10	17	12	2300	1700	1150

Figura 59 - Especificações do parafuso

Um exemplo de um molde com os parafusos de olhal instalados pode ser observado na Figura 60.

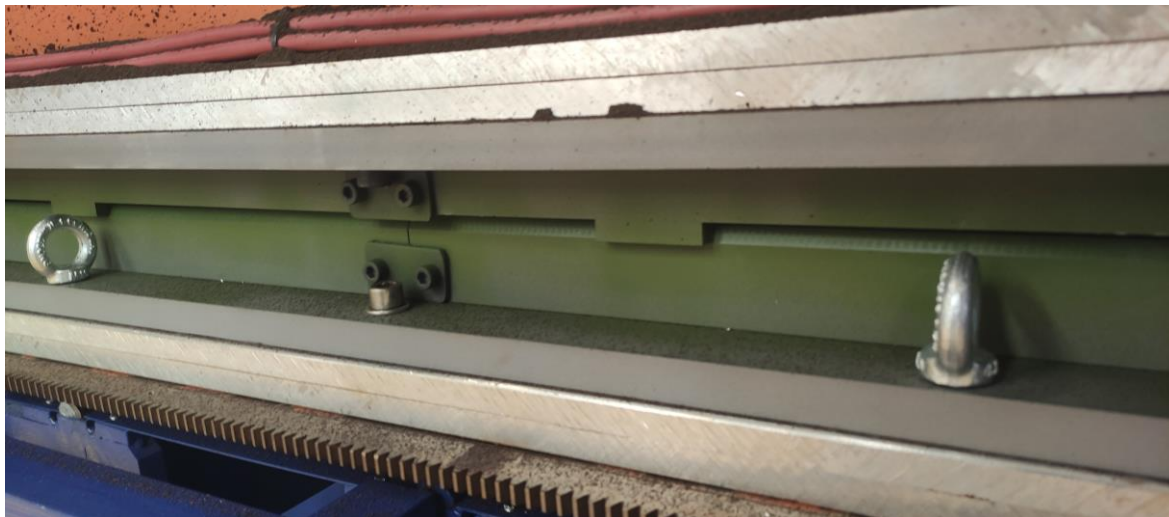


Figura 60 - Parafusos de olhal instalados

Seguidamente, adquiriu-se o acessório de elevação do stacker e a linga de quatro pontos. O *stacker* utilizado é da marca Still (Figura 61) e modelo EGV-14, que segundo o fornecedor e a chapa informativa presente no equipamento, este consegue elevar uma carga máxima de 1400 kg no local do centro de gravidade, sendo que este ocorre a uma distância de 600 mm da base dos garfos. Uma vez que o molde de maiores dimensões pesa por volta de 450 kg, não será um problema efetuar a elevação e suspensão do mesmo.



Figura 61 - Stacker da marca Still

A linga de quatro pontos adquirida (Figura 62) tem o comprimento útil de 1 metro e possui uma capacidade de elevação de 2360 kg, estando certificada de acordo com a norma EN 818, dimensionada para um coeficiente de segurança de 4.

Já o acessório de elevação (Figura 63) possui uma capacidade de elevação de 1500 kg, possuindo ainda um parafuso de pressão para garantir que não ocorre deslizamento do acessório e da carga

ao longo dos garfos do *stacker* ou empilhador, reduzindo o risco de acidente e tornando esta solução mais robusta e fiável quando comparada com o método utilizado até então.



Figura 62 - Linga de quatro pontos



Figura 63 - Acessório de elevação para stacker

Devido a alguns atrasos nos fornecedores, o acessório de elevação para o *stacker* não chegou a tempo da conclusão do estágio. Como tal, foi utilizada uma cinta para conseguir elevar a linga de quatro pontos presa nos olhais com o auxílio do *stacker*.

Além da solução para elevação e transporte do molde, foi utilizada uma melhor forma de aperto (Figura 64 e Figura 65), que visa acelerar o processo de desaperto do molde através de duas revoluções ao parafuso e colocar o “calço” de ferro fora da direção da chapa superior ou base do molde.



Figura 64 - Aperto superior do molde



Figura 65 - Aperto inferior do molde

Por fim, foi criada uma folha de setup externo (Figura 66), com uma Check list de forma a reduzir o tempo despendido na procura de ferramentas e também o tempo despendido em deslocações desnecessárias.

Checklist de preparação - Troca de Molde			
No.	Atividade	Ponto de atenção	Atividade Realizada
1	Colocar Molde a ser montado na mesa de inspeção	Necessário Staker	() SIM () NÃO NECESSÁRIO
2	Inspeção Visual ao Molde para determinar defeitos	Riscos e desalinhamentos	() SIM () NÃO NECESSÁRIO
3	Colocar Linga nos quatro olhais		() SIM () NÃO NECESSÁRIO
4	Colocar Cinta no Stacker e na linga		() SIM () NÃO NECESSÁRIO
5	Garantir ferramentas necessárias à troca estão ao lado da máquina	Ver lista abaixo	() SIM () NÃO NECESSÁRIO
6	Garantir a existência de novos tubos de ar comprimido junto da máquina	Tubos anteriores com fugas	() SIM () NÃO NECESSÁRIO
	Ferramentas para Manutenção		
	Chaves Allen		
	Bancada		
	Peças suplentes		

Figura 66 - Folha de setup externo

A troca de moldes é um processo que ocorre quando a máquina está parada devido às necessidades de abertura de portas de segurança e de passagem através dos sensores de segurança presentes à frente da prensa hidráulica que, como medida de segurança, param qualquer operação da máquina quando detetam algum obstáculo. Como tal, a passagem de atividades internas para externas não pôde ser efetuada com grande extensão, passando o foco para reduzir ao máximo a duração das atividades internas. As atividades de preparação de molde quanto às necessidades de montagem e inspeções visuais começaram então a ser efetuadas antes do início da troca de moldes na nova bancada criada para o processo (Figura 67), bem como a verificação da disponibilidade de todos os equipamentos para iniciar o processo.

Esta bancada foi uma adaptação de uma plataforma elevatória através da colocação de barreiras laterais para impossibilitar o contacto com os braços em cruz que poderiam causar acidentes, e ainda instalação de um reforço do tampo da mesa.



Figura 67 - Bancada de trabalho

Primeiramente, e após desapertar todos os apertos do molde, o operador terá de colocar a linga de quatro pontos presa na cinta e prender esta aos garfos do stacker, de forma a poder elevar todo o conjunto até à altura necessária, tal como pode ser observado na Figura 68.



Figura 68 - Linga de quatro pontos presa pela cinta nos garfos do stacker

Seguidamente, será necessário prender os quatro ganchos da linga nos parafusos olhal instalados na placa inferior do molde (Figura 69), no sentido de elevar todo o conjunto e reduzir a necessidade de esforços pelo operador.

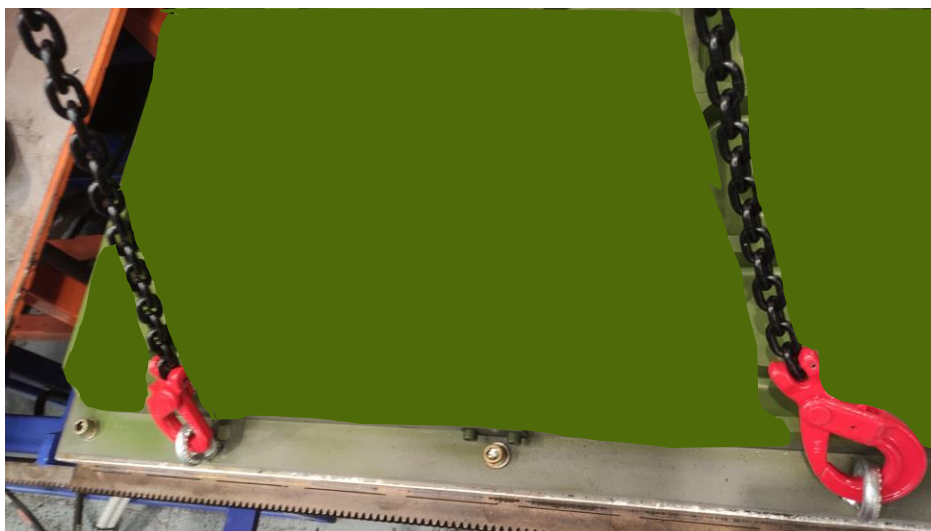


Figura 69 - Ganchos presos nos parafusos olhal

Por fim, o operador repete o processo, mas na forma inversa para o molde a colocar em funcionamento, voltando a colocar os olhais na chapa inferior e fazendo o transporte com o stacker para a prensa, apertando posteriormente os ganchos ou parafusos do molde agora colocado na prensa.

Acompanhou-se assim uma nova troca de moldes com as alterações efetuadas, estando este processo documentado na Tabela 19 e Tabela 20.

Tabela 19 - Folha de observação de troca de moldes após SMED

FOLHA DE OBSERVAÇÃO DE TROCA DE MOLDES						
Etapa	Descrição da atividade	Hora de início	Tipo de atividade	Duração	%	Observações
1	Desapertar frente do molde	10:15:00	Interna	00:04:05	12,69%	
2	Desapertar parte traseira do molde	10:19:05	Interna	00:03:40	11,40%	
3	Abrir Prensa	10:22:45	Interna	00:00:59	3,06%	
4	Ir buscar o staker	10:23:44	Externa	00:00:20	1,04%	
5	Prender linga de quatro pontos no stacker	10:24:04	Interna	00:00:47	2,44%	
6	Prender linga de quatro pontos no molde a retirar	10:24:51	Interna	00:01:25	4,40%	
7	Elevar molde e transporte para a palete	10:26:16	Interna	00:01:35	4,92%	
8	Descer para a palete	10:27:51	Interna	00:00:28	1,45%	
9	Posicionamento do stacker junto do molde a colocar	10:28:19	Interna	00:00:46	2,38%	
10	Prender linga de quatro pontos no molde a colocar	10:29:05	Interna	00:00:41	2,12%	
11	Transporte do molde a colocar na prensa	10:29:46	Interna	00:01:11	3,68%	
12	Descer molde para o prato da prensa e alinhar	10:30:57	Interna	00:00:34	1,76%	
13	Libertar linga de quatro pontos do molde	10:31:31	Interna	00:00:42	2,18%	
14	Apertar molde ao prato de baixo	10:32:13	Interna	00:03:36	11,19%	
15	Fechar prensa	10:35:49	Interna	00:00:45	2,33%	

Tabela 20 - Folha de observação de troca de moldes após SMED (continuação)

16	Apertar restante em baixo e em cima	10:36:34	Interna	00:06:12	19,27%	
17	Apertar restante em cima frontal	10:42:46	Interna	00:03:45	11,66%	
18	Arrumar Stacker	10:46:31	Externa	00:00:39	2,02%	
	Hora de fim	10:47:10				
	Soma			00:32:10	100,00%	
	Soma Setup interno			00:31:11	96,94%	
	Soma Setup externo			00:00:59	3,06%	

Após a análise da folha de observação da troca de moldes após a aplicação da metodologia SMED é possível concluir que este processo permitiu reduzir a duração do processo de 2 horas e 6 minutos para 32 minutos, uma redução de 75%. Este valor poderá ser ainda mais reduzido uma vez que neste tipo de moldes não há a possibilidade de utilizar os apertos rápidos para os restantes moldes.

4.5. Desenho de moldes

O desenho de moldes é uma parte crucial do processo de moldação de cortiça, uma vez que define as características e dimensões do produto final. A escolha adequada do molde pode afetar significativamente a qualidade, eficiência e rentabilidade da produção. A otimização do desenho do molde pode ajudar a reduzir o tempo de ciclo, minimizar o desperdício de matéria-prima e aumentar a precisão dimensional dos produtos.

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos relacionados com o desenho de moldes, desde a análise das características da cortiça até à criação de modelos 3D utilizando o software Solidworks. Serão discutidos os principais desafios enfrentados na produção de moldes para cortiça e apresentadas algumas soluções práticas para superá-los.

Antes de iniciar o processo de desenho e modelação dos moldes, foi necessário efetuar um estudo dos moldes atuais. Através da observação do seu funcionamento, foram retiradas informações necessárias tais como o número de cavidades, dimensões das cavidades e do molde, número de partes do molde, entre outras. Na Tabela 21 e Tabela 22 é possível observar os moldes existentes na zona da moldação, bem como informações relevantes para o seu estudo. O material utilizado para o fabrico dos moldes é a liga de alumínio 5083, que contém entre 3 e 5% de adição de cromo e magnésio, sendo também composta por outros elementos tais como silício, ferro, cobre, manganês, zinco e titânio.

Tabela 21 - Moldes e informações

Molde	Número de cavidades	Dimensões (mm)
Triângulos	100	800 x 600
Cubo	100	800 x 600
Paralelepípedo Grande	100	800 x 600
Paralelepípedo Pequeno	100	800 x 600
Cilindro Pequeno	100	800 x 600

Tabela 22 - Moldes e informações (continuação)

Meio Cilindro	100	800 x 600
Cilindro Grande	100	800 x 600
Semi-Cubo	100	800 x 600
Abstrata	1	630 x 595
Diamond	8	800 x 740
Feather	8	800 x 740
Stenpott Grande IKEA	12	954 x 735
Stenpott Pequeno IKEA	30	935 x 769
Coaster IKEA	48	954 x 764

Após o levantamento destas informações, iniciou-se o processo de desenho dos moldes no seu estado atual. Este processo foi extenso, mas foi necessário para entender o que poderia ser feito no sentido da otimização do processo de moldação, bem como quais as principais falhas funcionais que estes moldes poderiam apresentar.

4.5.1. Modelação

O processo de desenho do molde começa com o desenho da peça final, uma vez que é através desta que queremos criar todas as partes do molde. A peça utilizada para exemplificar será o cilindro grande (Figura 70), uma vez que devido à sua simplicidade geométrica será mais expedita a explicação do processo.



Figura 70 - Cilindro grande em cortiça

Primeiramente, e tal como mencionado no capítulo 2.3 da revisão bibliográfica, inicia-se o desenho da base da geometria, um círculo, tendo em consideração as dimensões reais da peça e com recurso à ferramenta “Sketch” do menu superior do Solidworks. É necessário definir qual o plano do sketch,

neste caso o utilizado foi o “Top Plane”, devido à facilidade de criação a partir deste plano. O cilindro grande possui um diâmetro de 42 milímetros.

Seguidamente, é necessário passar de um sketch 2D para uma peça com volume. Para tal, utiliza-se a ferramenta “Extruded Boss/Base”, que permite definir a altura do cilindro que vai ser criado através da caixa de diálogo (Figura 71). Neste caso, o cilindro possui uma altura de 84 mm, sendo este o valor introduzido na caixa de diálogo, o que leva a que um preview da peça final seja visível no local onde anteriormente existia o círculo, passando agora a ser um cilindro (Figura 72).

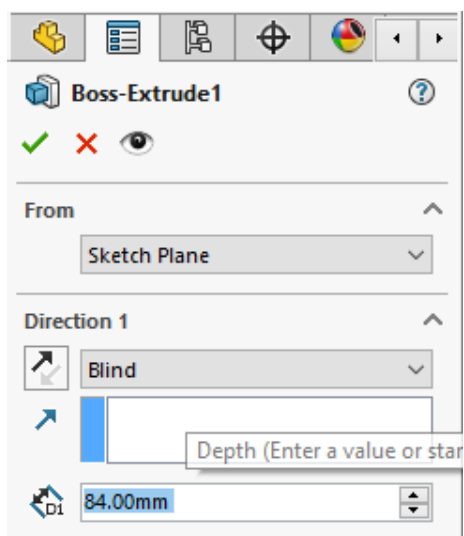


Figura 71 - Caixa de diálogo da ferramenta Extruded Boss/Base

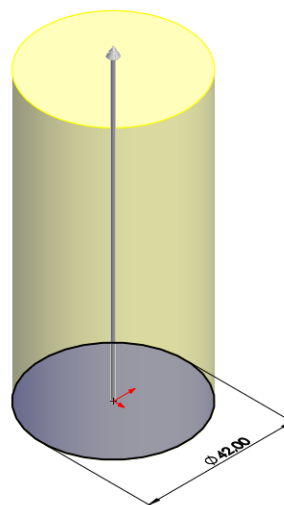


Figura 72 - Preview da peça a etapa

Visto que a peça não é um cilindro simples, é necessário efetuar mais etapas até conseguir a geometria da peça final. Posto isto, a próxima etapa é criar os chanfros da peça através da ferramenta “*Chanfer*”. Esta ferramenta funciona através da atribuição da distância a que a base do chanfro estará do topo da peça, e, como se pode observar pela Figura 73, esta distância será de 3,5 mm, sendo o chanfro criado a 45 graus. A peça final obtida pode ser observada na Figura 74.

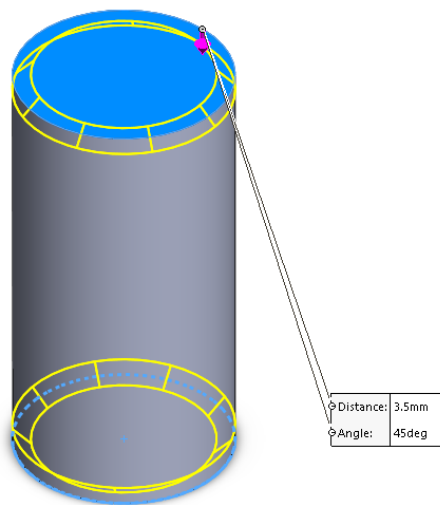


Figura 73 - Criação do chanfro no cilindro

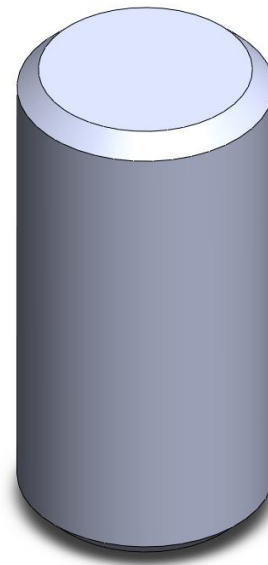


Figura 74 - Peça real

Com a peça desenhada na sua totalidade, é possível dar início ao processo de criação do molde. Este processo tem como primeira etapa a obtenção do macho que dá origem a esta peça durante o processo de produção real. Para tal é necessário utilizar as ferramentas contidas no menu “*Mold Tools*” do software Solidworks.

Neste menu, ter-se-á de utilizar a ferramenta “*Parting Line*”, que permite ao utilizador separar a peça entre a cavidade e as restantes partes constituintes do molde. Através da seleção da face superior e da linha onde se pretende efetuar a divisão, o software selecionará as faces por cor, representando o topo (macho), o centro da peça e o fundo da peça moldada (Figura 75).

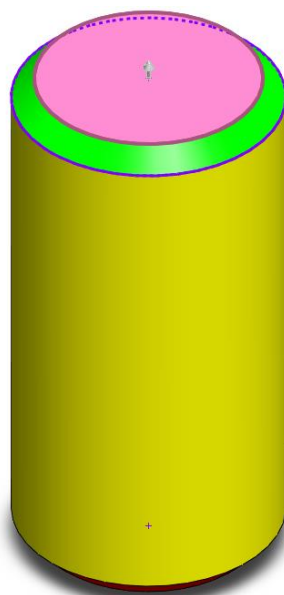


Figura 75 - Peça dividida

Uma vez criada a linha de divisão, através da ferramenta *"Parting Surface"* (Figura 76), é possível criar a superfície onde a criação das partes do primeiro molde mais pequeno para esta peça irá ser criado. Neste caso, como a linha de partição é um círculo, a superfície criada também será uma superfície circular com um excedente de 3 mm relativamente ao diâmetro da peça (Figura 77).

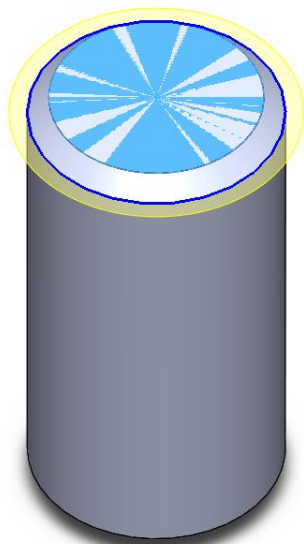


Figura 76 - Utilização da ferramenta *"Parting Line"*

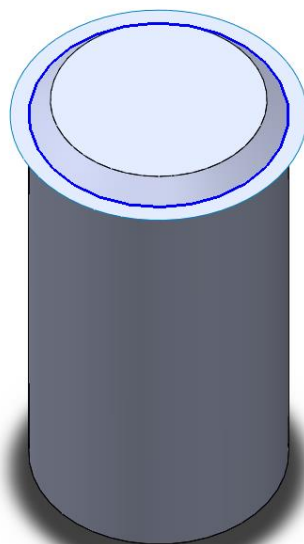


Figura 77 - Peça com a superfície de partição

Finalmente, com recurso à ferramenta *"Tooling Split"* (Figura 78), é possível criar o macho do molde que dará origem à peça pretendida. Para tal, é necessário desenhar a forma pretendida para o macho, neste caso será circular, e através da caixa de diálogo definir a altura pretendida para o mesmo. O resultado pode ser observado na Figura 79.

Para poder utilizar o novo corpo sólido criado, utiliza-se a ferramenta *"Save Bodies"* e é possível guardar os novos corpos sólidos criados num ficheiro novo que poderá ser utilizado para o molde total.



Figura 78 - Utilização da ferramenta "Tooling Split"



Figura 79 - Peça com os novos corpos sólidos criados

Com a obtenção do macho da peça a moldar, é possível dar início à modelação das restantes partes do molde, sendo a primeira peça a caixa útil da peça. O processo de modelação é idêntico ao da peça principal, iniciando-se pelo sketch 2D, neste caso um retângulo, criando volume através da definição da altura do prisma retangular, neste caso 76 mm uma vez que é necessário contabilizar a caixa removível inferior e também a altura do macho.

Uma vez atribuída a altura da caixa de útil, é necessário criar as cavidades do molde onde irão ser produzidas as peças moldadas. Para tal, foi utilizado um sistema simples de equações (Figura 80), que permitem alterar facilmente as dimensões quando foi necessário, agilizando o trabalho e tornando o molde mais aproximado possível da realidade.

As dimensões aplicadas às diferentes partes do molde são dimensões nominais. No entanto, para a ordem de maquinagem, são aplicadas tolerâncias de $\pm 0,01 \text{ mm}$, sendo contabilizado um ajustamento livre para o funcionamento do molde.

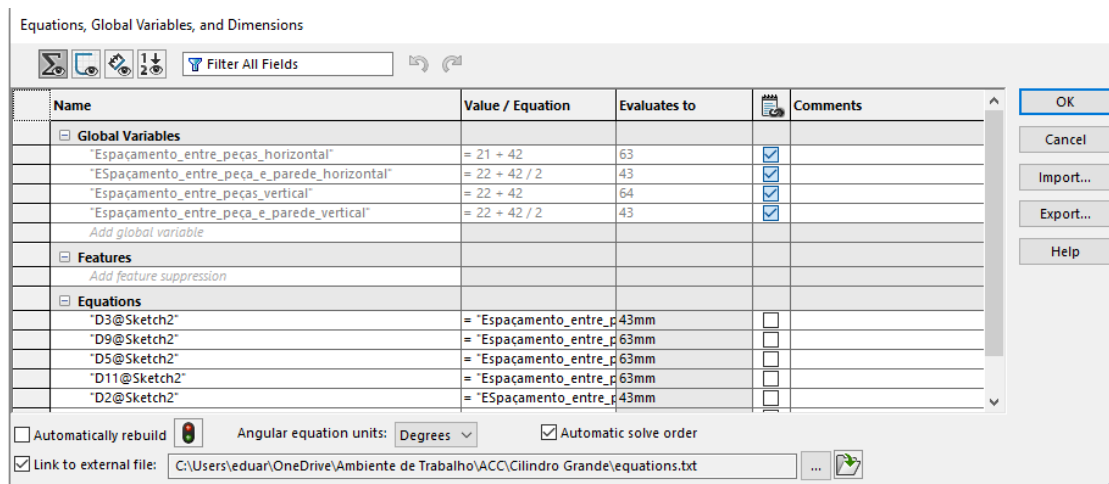


Figura 80 - Equações utilizadas na criação do molde

As dimensões foram atribuídas com base nas medições efetuadas no molde real e com vista também a otimizar as dimensões do molde, de forma a criar uma dispersão uniforme das cavidades do molde. A caixa criada com o sistema de equações pode ser observada na Figura 81.

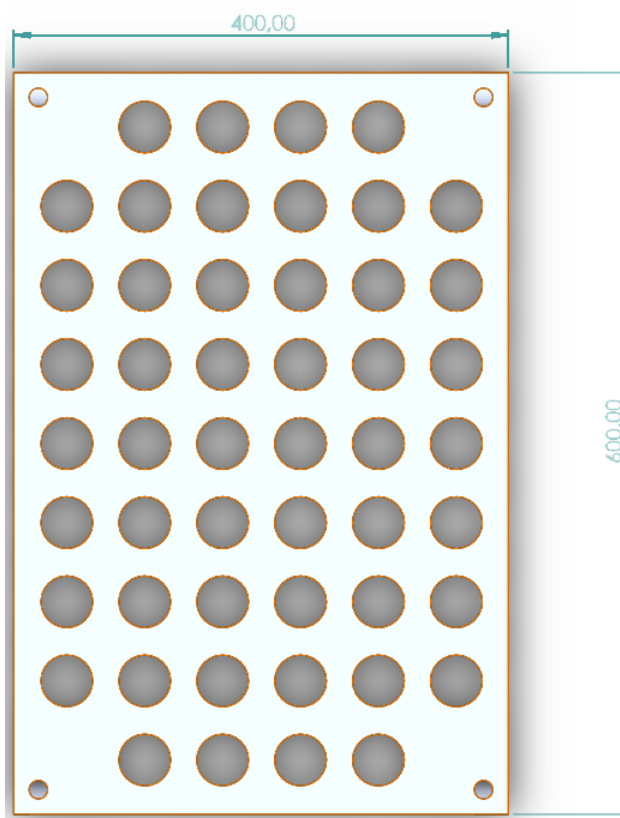


Figura 81 - Caixa de útil da peça

Posteriormente, ao desenhar a caixa de enchimento, esta terá as cavidades com as dimensões da caixa útil da peça, mas o corte da cavidade terá de ser efetuado com recurso à ferramenta "Cut Extrude" e com a atribuição de um pequeno ângulo, neste caso 0.50° (Figura 82), uma vez que tal

permitirá que o macho consiga efetuar todo o movimento pela cavidade sem contactar com a caixa de enchimento e levar à falha. Uma vista de secção do molde pode ser observada na Figura 83, onde também é notável a inclinação do corte na cavidade.

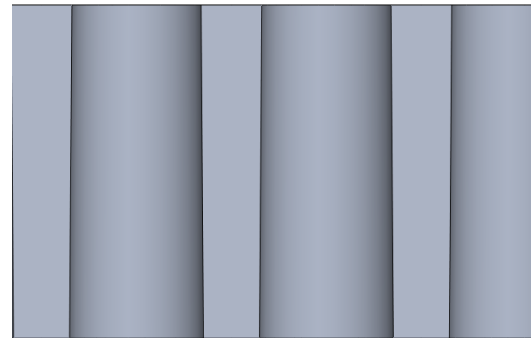
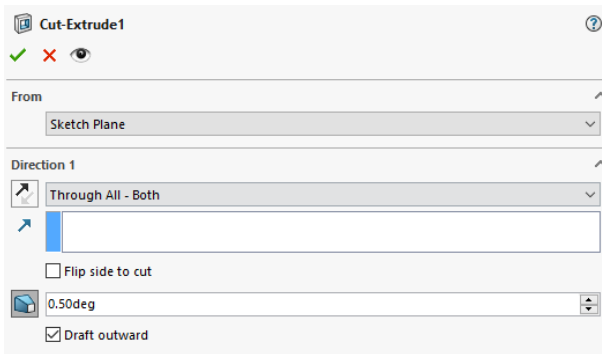


Figura 82 - Caixa de diálogo da ferramenta "Cut Extrude"

Figura 83 - Secção da caixa de enchimento

A base removível do molde será agora desenhada com recurso à ferramenta "Cavity". Esta ferramenta permite ao utilizar criar uma cavidade de uma peça com a forma de uma outra peça, passando todas as suas características para a peça recetora. Neste caso, utilizou-se a peça final para replicar o fundo da mesma na base removível (Figura 84).

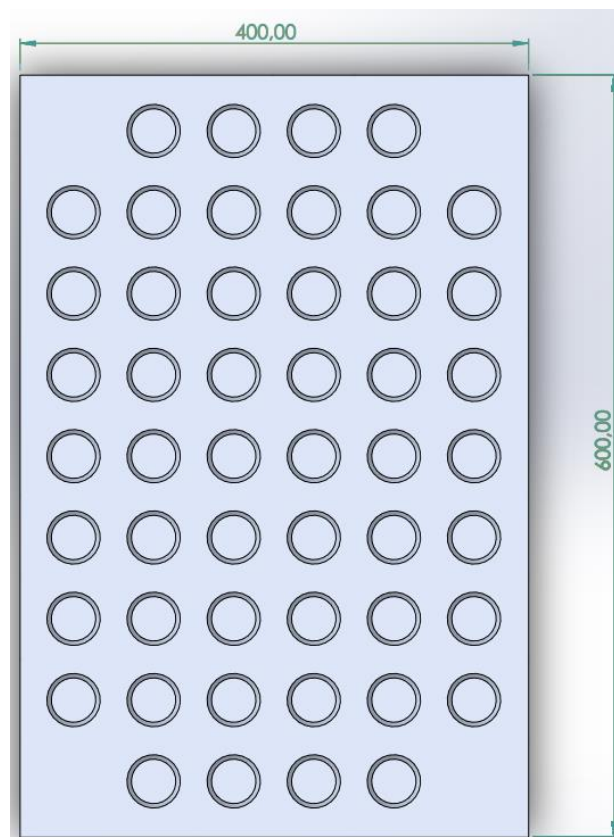


Figura 84 - Base do molde com o fundo da peça

Por fim, é possível construir o molde através da criação de um conjunto no software e criando as relações entre as peças, os *mates*. O resultado será uma réplica do molde real (Figura 85), com as dimensões de 800 x 600 mm, permitindo estudar o funcionamento e também quais as possíveis melhorias para o funcionamento do molde e possíveis otimizações do processo. A Figura 86 mostra um corte de secção interior do molde, sendo possível observar que as interações entre o macho, a caixa útil da peça e a base produzem a peça com a geometria final pretendida.

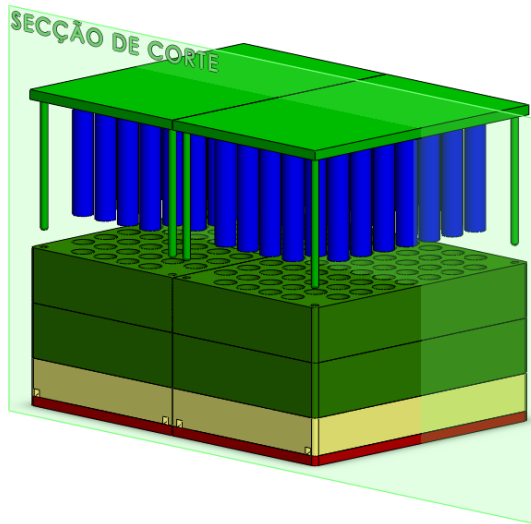


Figura 85 - Réplica do molde real

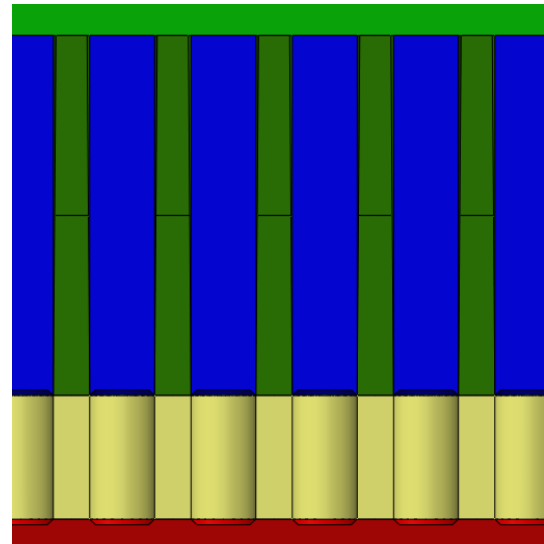


Figura 86 - Secção do molde real

4.5.2. Análise Térmica

A simulação de aquecimento de moldes em SolidWorks é uma técnica avançada que permite a previsão do comportamento térmico dos moldes durante o processo de moldação de cortiça. Esse processo é fundamental para a produção de peças plásticas em larga escala, pois o aquecimento adequado dos moldes é essencial para a qualidade e a eficiência da produção.

A simulação de aquecimento de moldes em SolidWorks é realizada através de um conjunto de ferramentas que permitem a criação de um modelo computacional que representa o molde com todos os seus componentes e o meio circundante. Esse modelo é então submetido a condições de aquecimento que simulam o processo real de trabalho, permitindo a previsão de problemas potenciais, como a perda de calor e distribuição não uniforme do mesmo.

É neste sentido que foi desenvolvido o trabalho de simulação de um molde para uma nova geometria. Em conjunto com um fornecedor, foi criado um protótipo de molde com apenas duas cavidades e a partir do mesmo foi iniciado um processo industrialização.

O processo foi idêntico ao anterior:

1. Desenho da peça;
2. Obtenção do macho;
3. Desenho das partes do molde;
4. Criação do conjunto (Figura 87 e Figura 88).

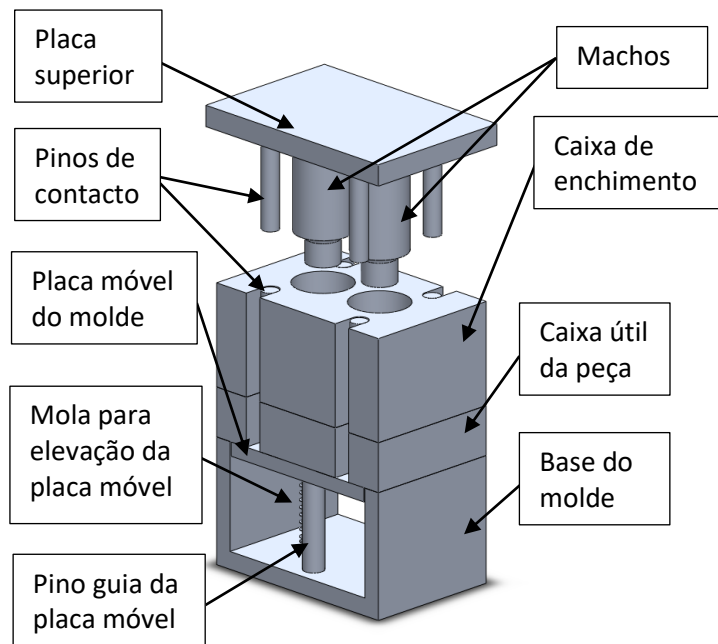


Figura 87 - Molde protótipo aberto

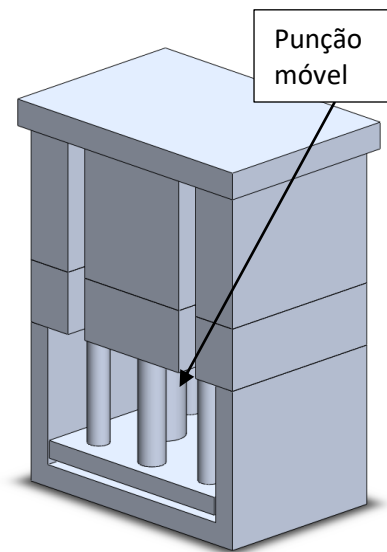


Figura 88 - Molde protótipo fechado

O conjunto final composto por todas as partes do molde deu início ao processo de simulação. Foi para isso necessário aumentar o molde para uma dimensão que tornasse viável a industrialização, mas que reduzisse os problemas que possam surgir num molde com grandes dimensões e com elevada complexidade.

A solução (Figura 89) foi um molde composto por 24 cavidades, desenhado com vista a ser modular e permitir que mediante a necessidade de trabalho fosse apenas utilizada metade do molde ou posteriormente criada uma réplica do molde de 24 cavidades, passando a 48 ou, com melhor aproveitamento da dimensão do molde, 54 cavidades.

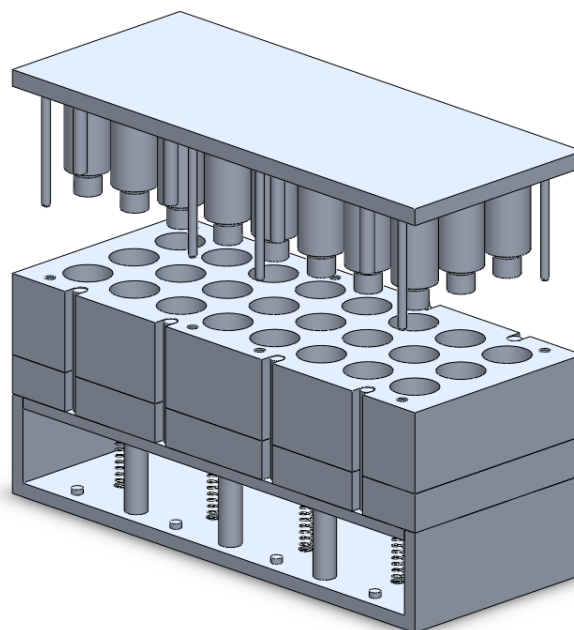


Figura 89 - Primeira solução para molde industrial

Após a modelação, deu-se início à simulação de aquecimento. Antes deste procedimento foi necessária efetuar uma pesquisa sobre o coeficiente de convecção e sobre a resistência térmica de contacto.

O valor do coeficiente de convecção será dependente do fluido em estudo, com variações acentuadas do valor mediante as condições do meio. Neste caso, o fluido em estudo será ar livre, sem convecção forçada e, através da Figura 90, é possível observar que este valor está compreendido entre 2.5 a 25 W/(m².K). Como tal, o valor utilizado neste estudo será 15 W/(m².K) de forma a utilizar um valor médio para melhor simular as condições reais [48].

Type of Convection	Convective Heat Transfer Coefficient <i>h</i>	
	Btu/(h · ft ² · R)	W/(m ² · K)
Air, free	1–5	2.5–25
Air, forced	2–100	10–500
Liquids, forced	20–3000	100–15,000
Boiling water	500–5000	2,500–25,000
Condensing water vapor	1,000–20,000	5,000–100,000

Figura 90 - Valores de coeficiente de transferência de calor [48]

Posteriormente, foi necessário calcular a resistência térmica de contacto entre superfícies. Para tal utilizou-se a equação (1) [49], que permite obter o valor da resistência térmica (R_t) através do inverso da condutância térmica de contacto (h_c).

$$R_t = 1/(A * h_c) \quad (1)$$

Ao utilizar a resistência térmica dividida é possível não considerar a área (A) na equação 1, resultando na equação (2):

$$R_t = 1/(h_c) \quad (2)$$

Uma vez que os componentes do molde e as resistências utilizadas neste aquecimento são de alumínio, semelhantes às utilizadas no aquecimento real das prensas hidráulicas em uso, é possível retirar os valores de h_c da Tabela 23, obtendo-se a seguinte solução na equação:

$$R_t = \frac{1}{2200} = 4.54 * 10^{-4} (K.m^2)/W \quad (3)$$

O valor utilizado de $2200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ deve-se ao facto de considerar o pior cenário possível em que o valor de condutância é menor.

Tabela 23 - Valores de condutância [49]

Faces em contacto	Condutância (h_c) ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
Ferro / alumínio	45000
Cobre / cobre	10000 - 25000
Alumínio / alumínio	2200 - 12000
Aço INOX / aço INOX	2000 - 3700
Aço INOX / aço INOX (sem folgas)	200 - 1100
Cerâmico / cerâmico	500 - 3000

A solução de aquecimento utilizada atualmente pode ser observada na Figura 91. É composta pelos pratos da prensa e com resistências circulares inseridas lateralmente.

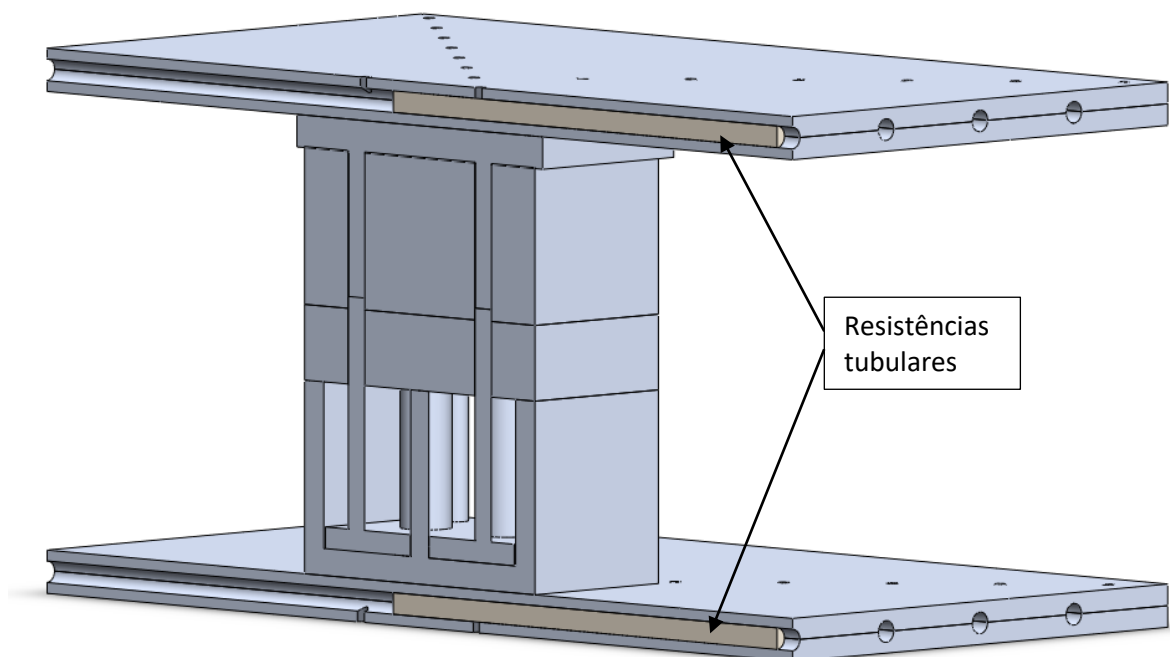


Figura 91 - Vista em secção das resistências inseridas nos pratos

Inserindo estes valores no software, é possível começar o processo de simulação. Começando pelo molde de duas cavidades, inseriu-se o valor da potência das resistências, de 1375 W , foi criada a *Solid mesh* (malha composta por elementos 3D tetraédricos) com base na curvatura das formas das peças, utilizando uma malha composta por 149939 elementos, com o tamanho do maior elemento igual a $70,8726 \text{ mm}$ e o menor $14,1745 \text{ mm}$, no sentido de tornar a simulação mais fidedigna possível, e correu-se o estudo de simulação. Foi considerado ar não forçado à temperatura de 20°C , com um coeficiente de convecção de $15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Foram efetuados dois estudos com condições semelhantes mas em estados diferentes do molde. O primeiro (Figura 92) foi efetuado com o molde totalmente aberto, havendo separação da caixa

de enchimento e do macho de forma a não haver troca de calor por condução nem por convecção entre as estas duas partes do molde. O resultado foi um aquecimento até à temperatura pretendida de 150°C da parte superior e uma falta de aquecimento da caixa de enchimento e útil do molde, chegando a uma temperatura de aproximadamente 70 °C.

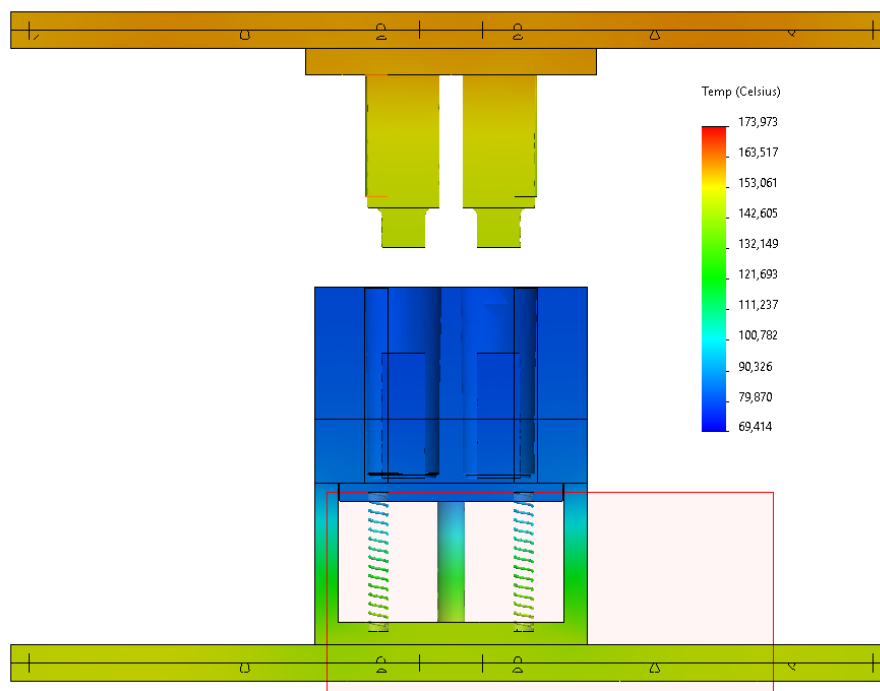


Figura 92 - Simulação de aquecimento com molde aberto

Posteriormente, foi efetuado um segundo estudo com o molde fechado, havendo agora transferência de calor por condução e convecção entre as duas partes do molde bem como com os pratos superior e inferior da prensa.

O resultado (Figura 93) mostra que o aquecimento até aproximadamente 140°C é possível na caixa útil da peça e nas restantes partes do molde é possível aquecimento até 150°C, ou seja, a temperatura pretendida. No entanto, no local que será mais importante manter a temperatura pretendida não será possível de acordo com este estudo. Como tal, será necessário pensar numa nova solução de aquecimento do molde.

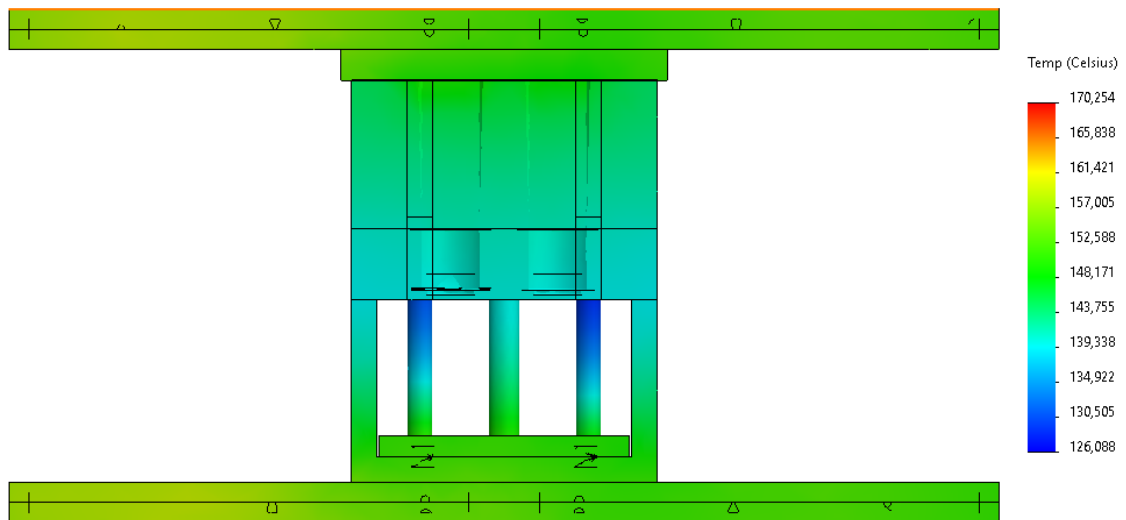


Figura 93 - Simulação de aquecimento com molde fechado

Após o primeiro estudo de aquecimento com o molde de duas cavidades e com o prato da prensa, é possível concluir que a fase mais crítica de aquecimento será quando o molde se encontra aberto. Neste sentido, os estudos seguintes foram efetuados com o molde aberto e sem o contacto da parte superior, uma vez que com o calor proveniente da parte superior do molde este irá chegar à temperatura necessária. Estes resultados foram confirmados em ensaios com o molde real e através da medição da temperatura com um termómetro laser.

A primeira solução de aquecimento foi pensada utilizando o formato de resistências utilizado no aquecimento do prato da prensa, as resistências cilíndricas, ou em cartucho. Para tal, foram criados três furos equidistantes entre si que atravessam o molde transversalmente, com o diâmetro da resistência, tendo sido colocados no local onde as duas caixas se juntam.

Após a inserção das resistências no conjunto, deu-se início ao estudo de aquecimento com as condições estabelecidas nos estudos anteriores, com os mesmos valores de convecção e de resistência térmica obtidos. O primeiro estudo de aquecimento pode ser observado na Figura 94.

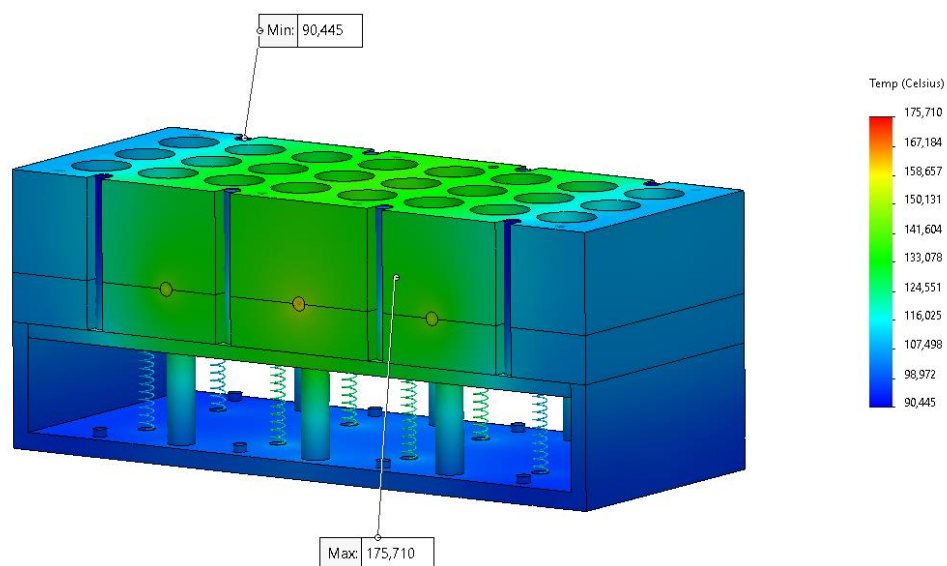


Figura 94 - Estudo de aquecimento com resistências cilíndricas

O resultado foi um aquecimento não uniforme por todo o molde, com o centro do molde onde estão localizadas as resistências a atingir em média 140°C, mas as extremidades apenas atingem aproximadamente 110°C. Como tal, foi necessário repensar a solução de aquecimento, uma vez que apesar da facilidade de maquinagem da cavidade para inserção das resistências, com o *design* atual de molde não será possível o aquecimento com o molde aberto.

A solução seguinte foi mudar o *design* das resistências, passando para resistências retangulares, com menor espessura e de igual comprimento (Figura 95). Como tal, foram criados rasgos diferentes para inserir as novas resistências, sendo possível inserir mais resistências, mas mantendo a potência total fornecida pelo conjunto.

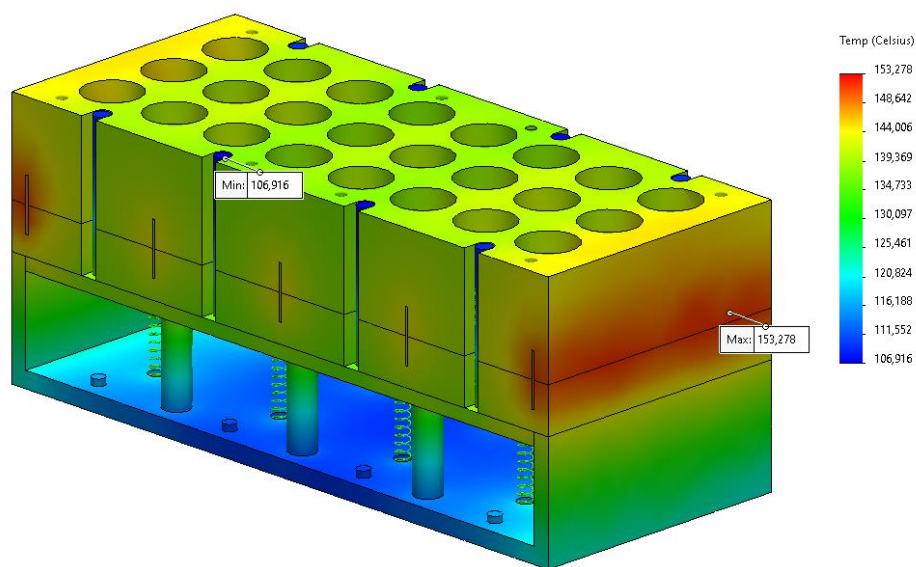


Figura 95 - Estudo de aquecimento com resistências retangulares

O novo resultado é um aquecimento mais uniforme pelo molde todo, havendo um pico de aquecimento nas extremidades devido à facilidade de transferência de calor para o ar circundante. Assim, as cavidades mais centrais do molde atingem aproximadamente 135°C, com as cavidades nas extremidades do molde a atingir aproximadamente 140°C. É possível concluir assim que o aquecimento do molde será facilitado com esta disposição das resistências, uma vez que com o molde fechado será possível chegar à temperatura desejada de 150°C e a perda de calor com o molde aberto para efetuar o enchimento não será impeditiva de produzir peças com a qualidade expectável.

Por fim, realizou-se um último estudo, desta vez com resistências em forma de L, disposta no sentido de envolver o molde pelo exterior (Figura 96). Esta solução foi pensada devido à facilidade de instalação das resistências e com base numa solução de aquecimento idêntica utilizada na extrusora da área industrial adjacente.

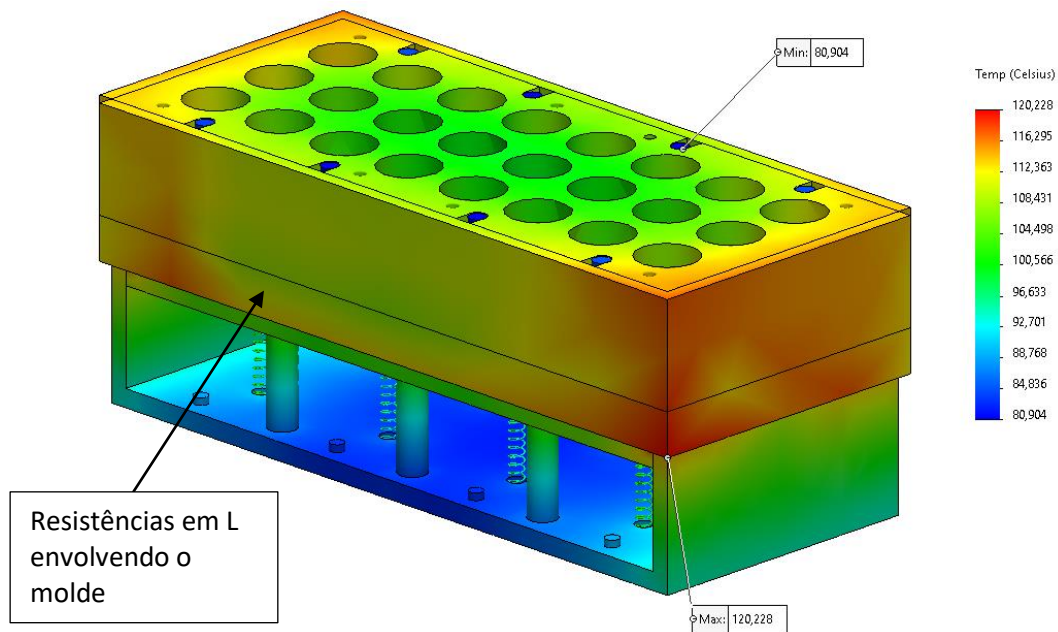


Figura 96 - Estudo de aquecimento com resistências em L

Este último estudo resultou num aquecimento uniforme por todo o molde, mas que não seria suficiente, uma vez que as cavidades do molde apenas atingem aproximadamente 105°C e ocorre uma maior dissipação de calor das resistências para o meio envolvente devido à facilidade de transmissão por convecção. Assim, foi possível concluir que esta solução não seria viável no estado atual, sendo necessário isolar a face exterior das resistências de forma a reduzir a transferência de calor para o meio.

Após todos os estudos de aquecimento, concluiu-se que a melhor solução para aquecimento no design atual do molde seriam as resistências retangulares (Figura 95), uma vez que a temperatura nas cavidades é uniforme.

No entanto, criando a possibilidade de alterar o espaçamento das cavidades e colocar mais resistências cilíndricas, esta solução tornar-se-ia a mais viável devido à facilidade de maquinaria do rasgo para a inserção das resistências e também devido à uniformidade de temperatura nas cavidades no estudo efetuado com este tipo de aquecimento.

Graças a este estudo, foi possível reduzir o tempo despendido pelo fornecedor em desenhar a peça pretendida e também em otimizar o aquecimento, reduzindo o orçamento para este molde em 20% através da eliminação da necessidade de modelação da peça a produzir e também da eliminação do estudo de aquecimento do molde na prensa onde será utilizado, demonstrando que este processo, embora ainda numa fase bastante embrionária, tem bastante potencial para reduzir custos e melhorar o *design* de novos moldes.

4.6. Instruções de processo

As instruções de processo desempenham um papel fundamental na linha de produção industrial, garantindo a qualidade e eficiência do processo produtivo. Essas instruções são um conjunto de diretrizes que orientam os trabalhadores a realizar as tarefas de forma padronizada, garantindo a uniformidade e a precisão do produto final. Além disso, as instruções de processo podem incluir informações sobre a manutenção e ajuste dos equipamentos, o que contribui para a minimização de erros e a maximização da produtividade.

É neste sentido que foi desenvolvido um trabalho de padronização e sistematização do trabalho diário dos operadores, bem como facilitar o processo de integração de novos operadores.

O primeiro documento desenvolvido foi a instrução operativa das prensas hidráulicas. Para tal, foi consultado o manual do fabricante das prensas hidráulicas e, com base no mesmo, foi desenvolvida uma instrução no sentido de facilitar a aprendizagem e integração de novos operadores. Este documento foi criado para ser algo muito simples e de fácil compreensão (Figura 97) o que permitiu reduzir o tempo de integração de novos operadores ao libertar o formador para continuar a produzir na prensa hidráulica.

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
3	Ecrã Tátil – Menu Principal		



Fig. 4

3.1	Menu 1 – Abrir / Fechar Máquina	Pressionar E
3.2	Menu 2 – Ajustar Misturador	Pressionar F
3.3	Menu 3 – Ciclo Automático	Pressionar G
3.4	Menu 4 – Modo Manutenção	Pressionar H
3.5	Indicação luminosa de Setpoint de temperatura atingida (superior e inferior) da prensa 1	I
3.6	Indicação luminosa de Setpoint de temperatura atingida (superior e inferior) da prensa 2	J
3.7	Indicação luminosa de posicionamento do misturador	K

Figura 97 - Instrução operativa da prensa hidráulica

Na Figura 97 é possível observar a primeira interface com que o operador tem contacto, o Menu Principal. É a partir deste que é possível navegar para os quatro Submenus apresentados: “Abrir / Fechar Máquina”, “Ajustar Misturador”, “Automático” e “Modo Manutenção”. No primeiro submenu, “Abrir / Fechar Máquina”, referenciado pela letra E na instrução, é possível abrir e fechar gaveta e a tampa da prensa hidráulica completamente, com o premir de dois botões. No segundo submenu, “Ajustar Misturador”, referenciado pela letra F, é possível efetuar os ajustes necessários para utilizar o alimentador automático, apesar de neste submenu o alimentador ser chamado de misturador. O terceiro submenu, “Automático”, referenciado pela letra G, permite operar a prensa em modo automático, e é nas configurações deste submenu onde se insere os parâmetros de prensagem tal como tempo e temperatura. Por fim, o último submenu “Modo Manutenção”, referenciado pela letra H, permite ao operador de manutenção efetuar operações de manutenção e testes ao funcionamento da prensa hidráulica, sendo possível controlar todos os elementos da prensa de forma manual, desde as luzes e sirene de aviso até ao acessório extrator. Esta instrução de processo pode ser observada com maior detalhe no Apêndice H.

O próximo tipo de instrução foi a OPL (*One Point Lesson*), um tipo de instrução em que há predominância de imagens relativamente ao texto e que facilita a introdução de um novo processo na produção. A Figura 98 contém um exemplo de uma OPL criada para a produção de uma geometria em que será necessário ativar manualmente a função de descida lenta da tampa da prensa, demonstrando através da imagem superior a situação inicial do manipulador da válvula de globo que corta o fluxo do óleo, e na imagem inferior demonstra a situação final em que a válvula está completamente fechada e força o óleo a passar pelo estrangulador. Através da introdução da OPL, é possível reduzir a probabilidade de erro no processo produtivo e também a necessidade de formação específica para a produção de novas geometrias. Esta OPL pode ser observada com maior detalhe no Apêndice I.

Moldação



1. Rodar manipulo A quando a prensa estiver quase a fechar de forma a reduzir a velocidade de descida da tampa superior.



2. Regressar à posição inicial após completar a descida.

Figura 98 - OPL processo de produção

Por fim, o último documento criado foi o *Troubleshooting*, ou seja, um documento para a resolução de problemas mais comuns que ocorrem durante o processo de produção. Estes problemas foram registados durante os meses em que este trabalho foi desenvolvido, o que fez com que este documento fosse o último a ser criado de forma a ser o mais completo possível. Ainda assim, este documento continua em constante reavaliação e alteração, no sentido de registar novos problemas que foram surgindo e as respetivas soluções.

Modo de Falha 1: Menu 1 não abre / fecha a prensa

Causa	Resolução
Erro de Software	<ul style="list-style-type: none"> • Ir ao menu 4 – Modo Manutenção; • No quadro 1 premir os botões “Geral Hidráulico” e “Válvula Corte Geral”; • Ir ao quadro 3 ou 5, mediante o lado da prensa necessário e manter premido “Sobe Tampa” até ao sinal amarelo; • Manter premido “Abre Gaveta” até ao sinal amarelo; • Para fechar fazer o mesmo processo nos botões inversos;
Falha Hidráulica / Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> • Se o processo anterior não abriu / fechou a prensa, verificar se o sistema hidráulico tem pressão e se o motor funciona. Se uma destas condições não se verificar, chamar a manutenção.

Modo de Falha 2: Ciclo Automático não funciona

Causa	Resolução
Sensor dos pratos não deteta posição	<ul style="list-style-type: none"> • Ir ao menu 4 – Modo Manutenção; • Garantir nos quadros 3 e 5 que os sensores de posição dos pratos inferior e superior estão a amarelo; • Se isto não se verificar repetir o processo 1 do Modo de Falha 1.

Figura 99 - *Troubleshooting* do processo de moldação

A criação do *Troubleshooting*, aliada à implementação de melhores técnicas de manutenção autónoma, permitiram aumentar a independência dos operadores e agilizar o processo de produção, visto que os operadores se tornam capazes de resolver problemas sem para a produção, aumentando a qualidade da produção e reduzindo a rejeição. Este documento de *Troubleshooting* pode ser observado com maior detalhe no Apêndice J.

4.7. Layout

A otimização dos processos de produção é uma busca constante nas indústrias modernas, visando melhorar a eficiência, a produtividade e a qualidade dos produtos. No setor da cortiça, a competitividade global exige um constante aprimoramento das práticas de fabricação, a fim de enfrentar desafios e explorar oportunidades num mercado em constante evolução. Nesse contexto, o design e a organização adequados do layout da área de produção desempenham um papel crucial.

O presente capítulo centra-se na análise e otimização do layout da área de produção da linha de moldação na indústria da cortiça em estudo. O objetivo é desenvolver uma abordagem para aumentar a eficiência e a fluidez dos processos produtivos, bem como minimizar os custos operacionais e maximizar a utilização dos recursos disponíveis.

Através da análise detalhada das características específicas da linha de moldação e do fluxo de trabalho existente, serão identificados gargalos, pontos de melhoria e oportunidades de reorganização para otimizar a configuração física da área de produção. Além disso, serão considerados fatores humanos, como ergonomia e segurança, a fim de criar um ambiente de trabalho adequado e favorável ao desempenho dos operadores e garantir a eficácia da interação entre o pessoal e o layout proposto, no sentido de aumentar a produtividade, reduzir o tempo de ciclo e minimizar o risco de acidentes de trabalho.

Primeiramente, foi necessário fazer um levantamento do espaço existente, através de medições com uma fita métrica no chão de fábrica. O resultado foi um primeiro esboço em papel que pode ser observado na Figura 100.

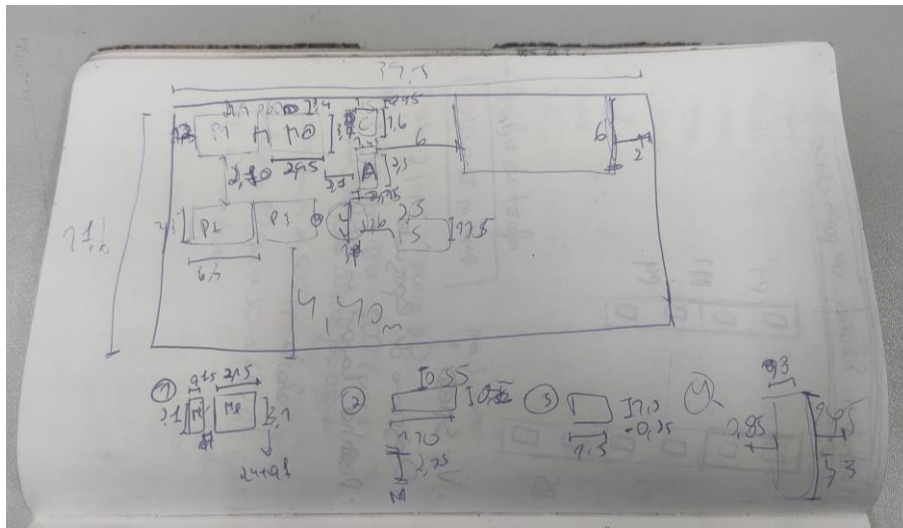


Figura 100 - Esboço inicial do layout

Seguidamente, e de forma a ser mais simples a visualização das dimensões no espaço, foi convertido o layout para SolidWorks à escala 1:1 e respeitando as distâncias relativas entre todos os componentes, resultando no esquema da Figura 101.

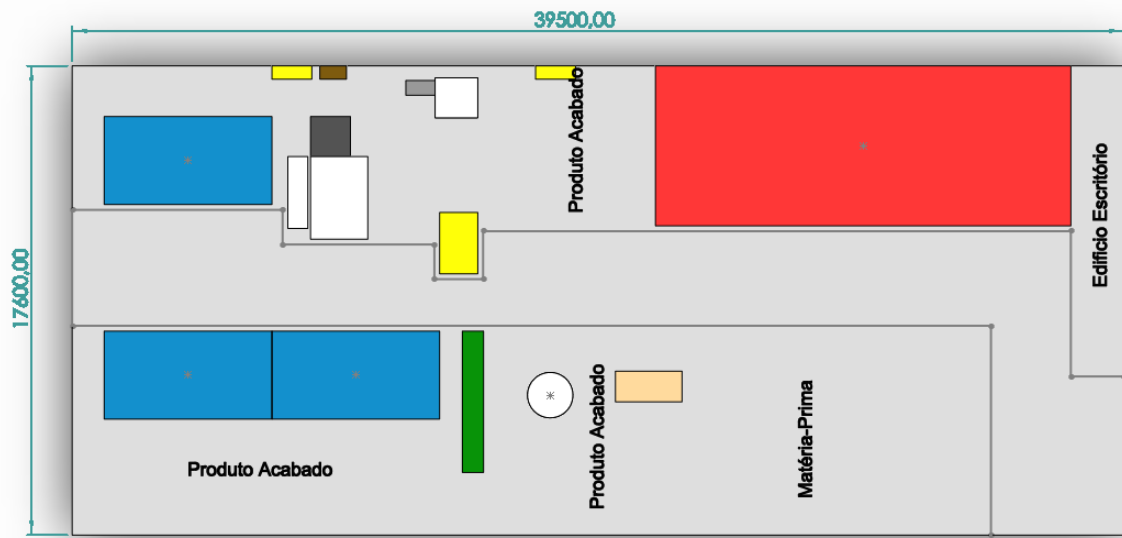


Figura 101 - Layout inicial em SolidWorks

Os equipamentos representados no layout foram divididos por cores, sendo estes os principais:

- Azul: prensas hidráulicas;
- Vermelho: área dedicada à extrusora;
- Retângulos brancos: misturador e plataforma de matéria-prima;
- Círculo branco: lixadora;
- Retângulo verde: tapete de escolha;
- Retângulo grande amarelo: prensa hidráulica menor;
- Retângulo amarelo com diferente tonalidade: misturador para a extrusão.

Após o levantamento para SolidWorks, procedeu-se à alteração do layout com base na possibilidade de crescimento do chão de fábrica e utilizando todo o espaço ocupado por cilindros não conformes de outra área industrial, e ainda uma solução utilizando o espaço disponível para o chão de fábrica existente atualmente.

As soluções para o chão de fábrica aumentado (Figura 102 e Figura 103) teriam mais impacto na organização e limpeza da área, melhorando o fluxo da matéria-prima e reduzindo a necessidade de deslocamentos desnecessários. Nestas novas soluções e na seguinte também apresentada, eliminou-se o retângulo verde de tapete de escolha devido à eliminação da necessidade da utilização do mesmo.

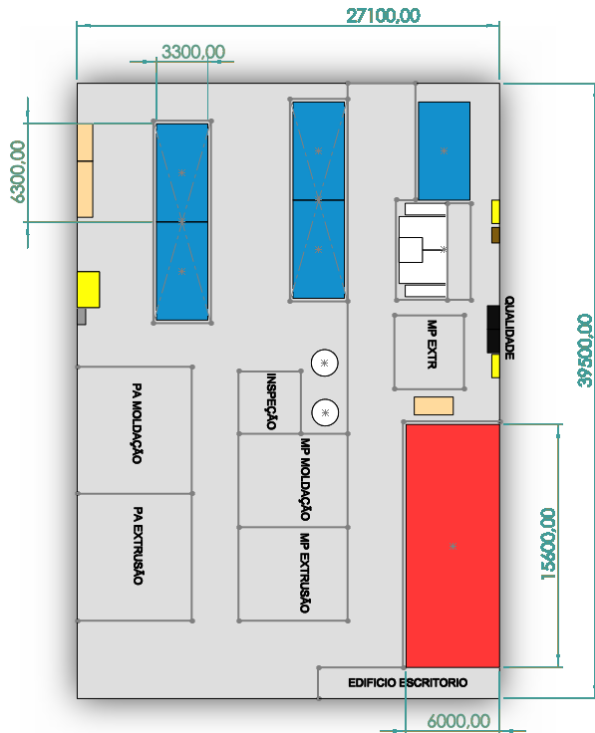


Figura 102 - Solução 1 de layout aumentado

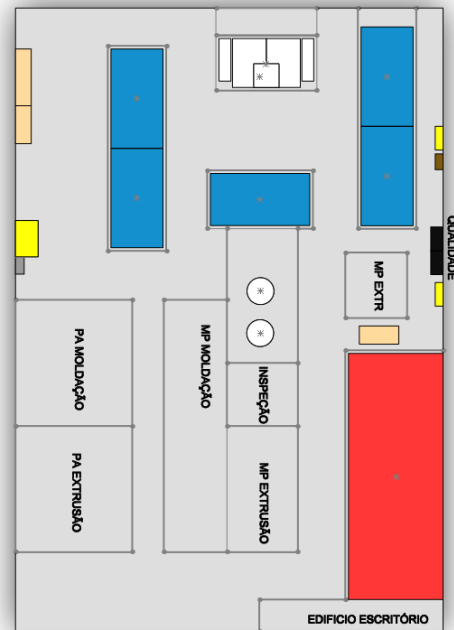


Figura 103 - Solução 2 de layout aumentado

A solução da Figura 104 pressupõe que a atual dimensão do chão de fábrica se mantém, havendo a impossibilidade de crescimento, mas apresenta ainda assim uma melhoria na organização da área e também do fluxo de matéria-prima, desde o abastecimento até ao final do processo produtivo.

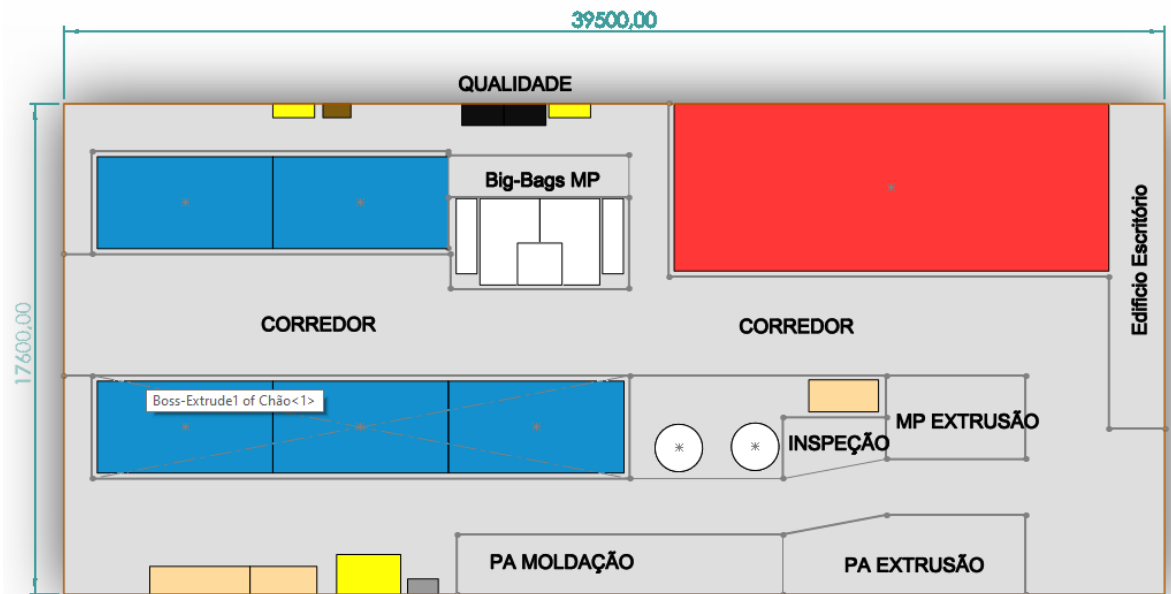


Figura 104 - Solução de layout reduzido

Em suma, a melhor solução para o processo produtivo, desde o abastecimento da matéria-prima até ao produto final, seria a solução 2 com o chão de fábrica aumentado, uma vez que seria mais ergonómico para os operadores devido à eliminação de deslocações desnecessárias para a obtenção de mistura visto que o misturador estaria colocado numa posição mais central e de acesso facilitado de todas as prensas, aumentando a eficiência da linha através da redução do desperdício de matéria-prima desde o peneiro até à prensa hidráulica e diminuindo assim o tempo de ciclo necessário para a produção.

5. CONCLUSÃO

Neste último capítulo, será apresentada uma síntese do trabalho desenvolvido, bem como a comparação face aos objetivos propostos e ainda os trabalhos a desenvolver no futuro, devido à curta duração do estágio não permitir a total implementação.

5.1. Conclusões face aos objetivos

Ao longo deste trabalho, foram abordados temas como o processo de descortiçamento, as propriedades da matéria-prima tais como a impermeabilidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, elasticidade, baixa densidade, elevada suavidade ao toque e leveza e ainda o processo de moldação de cortiça por compressão, um processo que tem vindo a ganhar relevo devido à flexibilidade produtiva e a utilização de novos compósitos de cortiça.

Partiu-se de uma situação em que o processo produtivo era pouco automatizado, com o enchimento e extração a serem efetuados de forma manual, bem como um processo de troca de moldes bastante demorado e bastante dependente da disponibilidade da equipa de manutenção da área, levando a grandes demoras e baixando a cadencia de produção.

Como tal, as melhorias implementadas permitiram uma redução do tempo de extração em 70%, e uma redução do tempo de enchimento em 60%, resultando numa redução geral do tempo de ciclo em 24% para o molde mais crítico.

A metodologia *SMED* não pode ser aplicada com o detalhe esperado, devido a atrasos de encomendas e fornecedores, mas pôde, no entanto, ser aplicada com equipamentos diferentes e com sucesso, levando a uma redução de 126 min para 32 min, uma redução de 75% que, não só permitiu aumentar a disponibilidade da manutenção através da formação de operadores para a troca dos moldes, mas também aumentar a produtividade da linha e a segurança da operação, com um processo mais robusto e fiável.

O revestimento dos moldes foi objeto de estudo também, ocorrendo uma troca de fornecedor e conseqüentemente, um aumento da longevidade do molde de 3 semanas em produção constante para 2 meses antes de ser necessário voltar a revestir, aumentando a qualidade das peças produzidas também através da diminuição da rejeição em 29%.

O desenho de moldes foi também explorado, com a criação de um protótipo em SolidWorks de um molde para uma nova geometria com base na peça fornecida e no molde de testes existente, o que permitiu perceber que o desenho e simulação de aquecimento de moldes tem elevada possibilidade de crescimento dentro da empresa, visto que foi possível reduzir o orçamento para o novo molde em 20%.

Com o estudo de alteração do layout, foi possível concluir que o layout inicial não estaria adaptado às necessidades quer de crescimento da linha quer do ponto de vista do fluxo de matéria-prima. Como tal, a solução 2 do layout aumentada foi a solução adotada para efetuar a implementação no futuro.

É ainda importante realçar a aprendizagem tanto a nível pessoal como profissional durante o desenvolvimento deste projeto, devido às adversidades encontradas na implementação das melhorias junto dos operadores.

5.2. Trabalhos futuros

Relativamente a trabalhos futuros, devido à curta duração do estágio e também aos atrasos dos fornecedores, seria interessante acompanhar a troca de moldes com o acessório de elevação para o stacker sugerido, uma vez que este irá conferir ainda mais rigidez e segurança ao processo, bem como agilizar o mesmo.

Seria também importante estudar a aplicação da nova forma de aquecimento estudada para o molde protótipo nos moldes que estão atualmente em produção, podendo levar a menos perdas de calor para o meio e aumentar a eficiência do processo de moldação, reduzindo assim custos e aumentando a qualidade das peças moldadas.

Por fim, outro estudo interessante seria a introdução de uma bandeja de recolha das peças após extração de forma automática, possivelmente pela introdução de um funil por baixo da gaveta da prensa e com um tapete rolante com laminas para elevar as peças para o local de armazenamento final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Y. Saadallah, "Modeling of mechanical behavior of cork in compression," *Frattura ed Integrita Strutturale*, vol. 14, no. 53, pp. 417–425, 2020, doi: 10.3221/IGF-ESIS.53.32.
- [2] E. M. Fernandes, V. M. Correlo, J. F. Mano, and R. L. Reis, "Novel cork-polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition," *Compos Sci Technol*, vol. 78, pp. 56–62, 2013, doi: 10.1016/j.compscitech.2013.01.021.
- [3] J. C. Motte, J. Y. Delenne, C. Barron, É. Dubreucq, and C. Mayer-Laigle, "Elastic properties of packing of granulated cork: Effect of particle size," *Ind Crops Prod*, vol. 99, pp. 126–134, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.01.043.
- [4] J. F. Mano, "The viscoelastic properties of cork," *J Mater Sci*, vol. 37, no. 2, pp. 257–263, 2002, doi: 10.1023/A:1013635809035.
- [5] Corticeira Amorim, "História da Cortiça," 2021. <https://www.amorim.com/pt/cortica/historia/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [6] H. Pereira, "The rationale behind cork properties: A review of structure and chemistry," *Bioresources*, vol. 10, no. 3, pp. 1–23, 2015, doi: 10.15376/biores.10.3.Pereira.
- [7] L. Gil, "A Cortiça-Capítulo 13," *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, pp. 663–715, 2012.
- [8] APCOR, "Descortiçamento," 2018. <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/descorticamento/> (accessed Nov. 11, 2022).
- [9] Amorim, "A Arte da Cortiça," *Amorim*, p. 96, 2014, [Online]. Available: http://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Brochura_Arte_Cortica_PT_Small.pdf
- [10] APCOR, "Aglomerados Compostos," 2018. <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerados-compostos/> (accessed Nov. 13, 2022).
- [11] APCOR, "Aglomerado Puro Expandido," 2018. <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerado-puro-expandido/> (accessed Nov. 14, 2022).
- [12] Aicep Portugal Global, "Moldes Portugueses - Uma Indústria Reconhecida Mundialmente," *Portugal Global*, 2019, [Online]. Available: <http://portugalglobal.pt/PT/RevistaPortugalglobal/2019/Documents/revista-117-fevereiro.pdf>
- [13] CEFAMOL, "Indústria Portuguesa de Moldes - Relatório de 2021," p. 16, 2021.
- [14] CCIP, "MOLDES, UMA INDÚSTRIA VIRADA PARA O FUTURO," 2021. <https://www.ccip.pt/pt/newsletter-internacional/638-moldes-uma-industria-virada-para-o-futuro> (accessed Nov. 18, 2022).
- [15] F. de Almeida, V. F. C. Sousa, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, and L. P. Ferreira, "Development of a novel design strategy for moving mechanisms used in multi-material plastic injection molds," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 24, 2021, doi: 10.3390/app112411805.
- [16] O. Rashid, K. W. Q. Low, and J. F. T. Pittman, "Mold cooling in thermoplastics injection molding: Effectiveness and energy efficiency," *J Clean Prod*, vol. 264, p. 121375, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121375.
- [17] N. M. B. de Carvalho, "Otimização do Processo de Moldação de Cortiça por Compressão," Master Thesis, ISEP, Porto, 2021.
- [18] A. Y. Yi and A. Jain, "Compression molding of aspherical glass lenses - A combined experimental and numerical analysis," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 88, no. 3, pp. 579–586, 2005, doi: 10.1111/j.1551-2916.2005.00137.x.
- [19] W. Ming *et al.*, "A comprehensive review of theory and technology of glass molding process," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 107, no. 5–6, pp. 2671–2706, 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05051-0.

- [20] K. Prater, J. Dukwen, T. Scharf, H. P. Herzig, S. Plöger, and A. Hermerschmidt, "Microstructuring of glassy carbon for precision glass molding of binary diffractive optical elements," *Opt Mater Express*, vol. 6, no. 11, p. 3407, 2016, doi: 10.1364/ome.6.003407.
- [21] F. J. L. Alves, "MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA II (EM307) 2º Semestre - Processamento de Materiais Cerâmicos," 2005. [Online]. Available: www.fe.up.pt/~falves
- [22] S. F. Wang *et al.*, "Transparent ceramics: Processing, materials and applications," *Progress in Solid State Chemistry*, vol. 41, no. 1–2. Elsevier Ltd, pp. 20–54, 2013. doi: 10.1016/j.progsolidstchem.2012.12.002.
- [23] F. Silva, R. Martinho, M. Andrade, A. Baptista, and R. Alexandre, "Improving the wear resistance of moulds for the injection of glass fibre-reinforced plastics using PVD coatings: A comparative study," *Coatings*, vol. 7, no. 2, 2017, doi: 10.3390/coatings7020028.
- [24] J. M. Mercado-Colmenero, M. A. Rubio-Paramio, J. de J. Marquez-Sevillano, and C. Martin-Doñate, "A new method for the automated design of cooling systems in injection molds," *CAD Computer Aided Design*, vol. 104, pp. 60–86, 2018, doi: 10.1016/j.cad.2018.06.001.
- [25] F. L. O. Ribeiro, "Melhoria do processo de moldação por injeção de um caso real," Master Thesis, Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Braga, 2017.
- [26] S. Kashyap and D. Datta, "Process parameter optimization of plastic injection molding: a review," *International Journal of Plastics Technology*, vol. 19, no. 1, pp. 1–18, Jun. 2015, doi: 10.1007/s12588-015-9115-2.
- [27] M. Delucia, A. Catapano, M. Montemurro, and J. Pailhès, "Pre-stress state in cork agglomerates: simulation of the compression moulding process," *International Journal of Material Forming*, vol. 14, no. 3, pp. 485–498, 2021, doi: 10.1007/s12289-021-01623-x.
- [28] Autodesk, "Computer Aided Design CAD SOFTWARE," 2022. <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software> (accessed Dec. 06, 2022).
- [29] Heather, "The History of the Sketchpad Computer Program – A Complete Guide," Jan. 04, 2021. <https://history-computer.com/sketchpad-guide/> (accessed Dec. 06, 2022).
- [30] Digital School Technical Design College, "CAD: A BRIEF HISTORY," 2022. <https://www.digitalschool.ca/cad-a-brief-history/> (accessed Dec. 06, 2022).
- [31] Dassault Systèmes, "SolidWorks," 2022. <https://www.solidworks.com/> (accessed Dec. 07, 2022).
- [32] A. Arora, A. Pathak, A. Juneja, P. Shakkurwal, and R. Kumar, "Design and analysis of multi cavity injection mould using solidworks," *Mater Today Proc*, vol. 56, pp. 3648–3650, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.343.
- [33] E. Drohomerecki, S. E. Gouvea Da Costa, E. Pinheiro De Lima, and P. A. D. R. Garbuio, "Lean, six sigma and lean six sigma: An analysis based on operations strategy," *Int J Prod Res*, vol. 52, no. 3, pp. 804–824, 2014, doi: 10.1080/00207543.2013.842015.
- [34] A. Sanders, C. Elangeswaran, and J. Wulfsberg, "Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, no. 3, pp. 811–833, 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.
- [35] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, 1st Edition. Routledge, 1985.
- [36] A. Silva, J. C. Sá, G. Santos, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and M. T. Pereira, "A comparison of the application of the smed methodology in two different cutting lines," *Quality Innovation Prosperity*, vol. 25, no. 1, pp. 124–149, 2021, doi: 10.12776/QIP.V25I1.1446.
- [37] J. R. Díaz-Reza, J. L. García-Alcaraz, V. Martínez-Loya, J. Blanco-Fernández, E. Jiménez-Macías, and L. Avelar-Sosa, "The effect of SMED on benefits gained in maquiladora industry," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, no. 12, pp. 1–18, 2016, doi: 10.3390/su8121237.
- [38] A. Silva, J. C. Sá, G. Santos, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, and M. T. Pereira, "Implementation of SMED in a cutting line," *Procedia Manuf*, vol. 51, no. 2020, pp. 1355–1362, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.189.

- [39] P. G. Ferradás and K. Salonitis, "Improving changeover time: A tailored SMED approach for welding cells," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 598–603, 2013, doi: 10.1016/j.procir.2013.06.039.
- [40] E. Sousa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, M. T. Pereira, R. Gouveia, and R. P. Silva, "Applying SMED methodology in cork stoppers production," *Procedia Manuf*, vol. 17, pp. 611–622, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.103.
- [41] M. Martins, R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, "A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry," *Procedia Manuf*, vol. 17, pp. 647–654, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.113.
- [42] C. Roriz, E. Nunes, and S. Sousa, "Application of Lean Production Principles and Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company," *Procedia Manuf*, vol. 11, no. June, pp. 1069–1076, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.218.
- [43] J. Lozano, J. C. Saenz-Díez, E. Martínez, E. Jiménez, and J. Blanco, "Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 90, no. 9–12, pp. 3607–3618, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9686-x.
- [44] M. Bevilacqua, F. E. Ciarapica, I. de Sanctis, G. Mazzuto, and C. Paciarotti, "A Changeover Time Reduction through an integration of lean practices: A case study from pharmaceutical sector," *Assembly Automation*, vol. 35, no. 1, pp. 22–34, 2015, doi: 10.1108/AA-05-2014-035.
- [45] M. K. Karasu and L. Salum, "FIS-SMED: a fuzzy inference system application for plastic injection mold changeover," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, no. 1–4, pp. 545–559, 2018, doi: 10.1007/s00170-017-0799-7.
- [46] K. Yazıcı, S. H. Gökler, and S. Boran, "An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time," *J Intell Manuf*, vol. 32, no. 6, pp. 1547–1561, Aug. 2021, doi: 10.1007/s10845-020-01675-x.
- [47] M. Kemal Karasu, M. Cakmakci, M. B. Cakiroglu, E. Ayva, and N. Demirel-Ortabas, "Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production," *Measurement (Lond)*, vol. 47, no. 1, pp. 741–748, 2014, doi: 10.1016/j.measurement.2013.09.035.
- [48] P. Kosky, R. Balmer, W. Keat, and G. Wise, "Mechanical Engineering," *Exploring Engineering*, pp. 259–281, Jan. 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-415891-7.00012-1.
- [49] "Thermal Contact Resistance - 2021 - SOLIDWORKS Help." https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_Thermal_Contact_Resistance_contact_analysis.htm (accessed May 11, 2023).

APÊNDICE A – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 1 (CILINDROS GRANDES)

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	Mediana	Desvio Padrão
Enchimento	02:57	03:07	03:12	02:24	02:44	03:58	03:40	03:03	03:28	03:21	03:13	03:38	03:14	03:13	00:25
Recolha	00:23	00:22	00:20	00:21	00:21	00:44	00:25	00:21	00:20	00:25	00:21	00:22	00:24	00:22	00:06
Cura	12:40	12:45	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	00:01
Saída	00:42	00:41	00:43	00:47	00:45	00:43	00:43	00:44	00:43	00:45	00:43	00:44	00:44	00:43	00:01
Extração	03:16	03:11	02:40	02:48	03:03	03:01	02:58	02:58	03:00	03:01	02:48	02:59	02:59	03:00	00:09
Limpeza	00:36	00:32	00:10	00:44	00:32	01:00	00:44	00:36	00:43	00:45	00:38	00:41	00:38	00:40	00:11
Paragens	00:00	00:00	01:00	00:00	00:30	00:08	00:00	09:55	03:58	00:00	00:00	00:41	01:21	00:04	02:48
TOTAL	20:34	20:38	20:45	19:44	20:35	22:14	21:10	30:17	24:52	20:57	20:23	21:45	21:59	20:51	02:48
Notas		Ajuda no tapete; Ruben terminou ciclo	Ruben;julia	Ruben;julia	Inicio lado B			Extração e enchimento lado B; ruben almoço	Falta de mistura						
Atraso								Enchimento	Enchimento						

APÊNDICE B – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 2 (CILINDROS GRANDES)

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	Mediana	Desvio Padrão
Enchimento	03:52	03:35	03:37	03:50	03:42	03:33	03:49	03:51	03:40	03:39	03:48	03:34	03:44	03:41	00:07
Recolha	00:25	00:22	00:23	00:21	00:23	00:21	00:23	00:22	00:24	00:21	00:22	00:24	00:23	00:23	00:01
Cura	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	12:40	00:00
Saída	00:41	00:40	00:38	00:37	00:38	00:40	00:41	00:37	00:39	00:38	00:41	00:40	00:39	00:40	00:01
Extração	03:08	03:15	03:01	03:03	03:12	03:05	03:07	03:13	03:05	03:16	03:10	03:00	03:07	03:08	00:05
Limpeza	00:40	00:47	00:43	00:45	00:43	00:48	00:42	00:40	00:46	00:48	00:44	00:43	00:44	00:44	00:03
Paragens	00:00	05:30	06:13	00:00	00:00	00:00	03:47	00:00	04:02	00:00	00:00	02:58	02:56	00:00	02:21
TOTAL	21:26	26:49	27:15	21:16	21:18	21:07	25:09	21:23	25:16	21:22	21:25	23:59	24:11	21:26	02:17
Notas	<p>Enchimento e Extração Lado B; Falta de Mistura</p> <p>Enchimento e Extração Lado B;</p> <p>Enchimento e Extração Lado B;</p> <p>Enchimento e Extração Lado B;</p> <p>Enchimento e Extração Lado B;</p>														
Atraso															

APÊNDICE C – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 1 (TRIÂNGULOS)

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	Mediana	Desvio Padrão
Enchimento	01:15	01:26	01:30	01:26	01:22	01:20	01:29	01:19	01:28	01:18	01:16	01:20	01:22	01:21	00:05
Recolha	00:20	00:18	00:18	00:19	00:19	00:18	00:18	00:19	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:01
Cura	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	00:00
Saída	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:00
Extração	02:55	02:41	02:50	02:39	02:41	02:55	02:45	02:35	02:46	02:48	02:34	02:45	02:44	02:45	00:07
Limpeza	00:10	00:10	00:12	00:11	00:14	00:08	00:10	00:10	00:09	00:10	00:14	00:09	00:11	00:10	00:02
Paragens	00:00	00:00	02:07	00:50	00:00	02:00	01:21	00:00	00:00	02:35	00:56	06:43	01:23	00:53	01:51
TOTAL	11:56	11:51	14:13	12:41	11:52	13:57	13:19	11:39	11:57	14:25	12:34	18:31	13:15	12:37	01:51
Notas			op noutra prensa	op noutra prensa		op noutra prensa	op noutra prensa				almoço op sozinho				
Atraso			Extração	Extração		Extração	Extração				Extração	Extração	Enchimento		

APÊNDICE D – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO PARA TURNO 2 (TRIÂNGULOS)

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	Mediana	Desvio Padrão
Enchimento	01:10	01:11	01:16	01:18	01:06	00:55	01:12	00:49	00:58	01:12	01:09	01:18	01:08	01:11	00:09
Recolha	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:18	00:00
Cura	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	00:00
Saída	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:16	00:00
Extração	04:13	05:06	03:47	03:02	04:41	04:34	03:53	04:59	03:49	03:30	03:47	03:55	04:06	03:54	00:36
Limpeza	00:11	00:26	00:11	00:12	00:12	00:12	00:11	00:12	00:11	00:10	00:14	00:09	00:13	00:11	00:04
Paragens	00:00	03:32	00:00	00:00	03:51	05:05	00:00	03:17	00:00	00:00	00:00	00:00	01:19	00:00	01:54
TOTAL	13:08	17:49	12:48	12:06	17:24	18:20	12:50	16:51	12:32	12:26	12:44	12:56	14:19	12:53	02:21
Notas		Op noutra prensa;			op noutra prensa	op noutra prensa		op noutra prensa							
Atraso		Extração			Extração	Enchimento		Extração							













APÊNDICE E – ENSAIOS DE TEMPO DE CICLO APÓS AS ALTERAÇÕES (CILINDROS GRANDES)










Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média	Mediana	Desvio Padrão	
Enchimento	01:21	01:17	01:12	01:16	01:19	01:22	01:25	01:16	01:18	01:21	01:23	01:20	01:19	01:19	00:03	
Recolha	00:22	00:22	00:20	00:21	00:19	00:20	00:22	00:19	00:20	00:21	00:22	00:19	00:21	00:21	00:01	
Cura	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	00:00	
Saída	00:31	00:32	00:29	00:47	00:35	00:31	00:29	00:35	00:31	00:29	00:32	00:35	00:33	00:32	00:05	
Extração	00:46	00:43	00:47	00:44	00:46	00:45	00:44	00:48	00:43	00:45	00:42	00:44	00:45	00:44	00:02	
Limpeza	01:20	01:44	01:29	01:44	01:45	01:20	01:29	01:39	01:32	01:29	01:22	01:36	01:32	01:30	00:09	
Paragens	00:00	00:00	00:00	00:59	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:52	00:09	00:00	00:21	
TOTAL	16:20	16:38	16:17	17:51	16:44	16:18	16:29	16:37	16:24	16:25	16:21	17:26	16:39	16:27	00:28	
Notas				enchimento lado B									enchimento lado B			
Atraso	extração						extração									

APÊNDICE F – PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA DAS PRENSAS HIDRÁULICAS

Linha: CMS-MOLDAÇÃO		PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA - Equipamento Prensa 3								
Legenda dos Símbolos:		Legenda de cores (Frequência):								
Nº	Equipamento	Tipo de intervenção	Órgão	Ferramenta / Material	Instrução	Frequência	Estado da Máquina	Quando Fazer?	Tempo execução	
1	Prensa 3		Moldes	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpeza de resíduos de cortiça que fiquem agarradas às paredes do molde.	DIÁRIA	Parada	1 Turno/Dia	10	
2			Guias verticais da prensa	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar guias com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1	
3			Guias Moldes	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar guias com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1	
4			Cremalheiras	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar cremalheira com ar comprimido e vassoura pequena.		Parada		1	
5			Cilindros Hidráulicos	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Limpar os cilindros com a vassoura e ar comprimido; Verificar fugas de óleo.		Em funcionamento		1	
6			Central Hidráulica	Pistola de Ar comprimido	Limpar central hidráulica com ar comprimido.		Em funcionamento		1	
7			Sistemas de Segurança	Pistola de Ar comprimido, Vassoura	Verificar funcionamento dos sistemas de segurança e se necessário efetuar limpeza de sensores.		Parada		1	
8			Nível Óleo		Verificar nível do óleo do sistema pneumático na parte de trás da prensa.		Em funcionamento		1	
9			Moldes		Verificar empeno e desgaste dos moldes.		Parada		2	
10			Sistema Pneumático		Verificar fugas nos tubos de ar comprimido.		Em funcionamento		2	
11			Guias verticais da prensa	Spray lubrificante	Lubrificar as guias com o spray.		Parada		2	
12			Guias Moldes	Spray lubrificante	Lubrificar as guias com o spray.		Parada		2	
13			Cremalheiras	Spray lubrificante	Lubrificar a cremalheira com o spray.		Parada		2	
14			Motor	Pistola de Ar comprimido, Vassoura, spray	Limpar o motor e verificar o funcionamento		SEMANAL		Parada	1 Turno/Semana
15			Patins e guias lineares	Massa lubrificante	Lubrificar patins e guias lineares com a bomba da massa	Parada		5		
16			Fuso do extrator	Massa lubrificante	Lubrificar fuso do extrator com a massa	Parada		5		
17			Cilindro da Gaveta	Pistola de Ar comprimido, Vassoura, spray	Limpar o cilindro e lubrificar com spray	Parada		5		

APÊNDICE G – PLANOS DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA DE MISTURADOR E PENEIRO

Linha: Moldação		PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA _Misturador							
<p>Legenda dos Símbolos:</p> 		<p>Legenda de cores (Frequência):</p> 							
Nº	Equipamento	Tipo de intervenção	Órgão	Ferramenta / Material	Instrução	Frequência	Quando Fazer?	Tempo execução (min)	
1			Área envolvente	Ar Comprimido / Vassoura	Limpeza da área	DIÁRIA	Todos os turnos	25	
2			Pás do Misturador	Desincrustador Pneumático	Limpeza das pás do misturador				
3			Funil	Ar Comprimido / Vassoura / Espátula	Limpeza do funil				
4			Tubos	-	Verificação desgaste e fugas de material				
5			Motor	-	Verificação dos ruídos do motor				
6			Pás do Misturador	-	Verificação do estado de desgaste				
7			Pás do Misturador	Ar Comprimido / Espátula / Desincrustador Pneumático	Retirar as pás do misturador para uma limpeza mais minuciosa	SEMANAL (6ª feira)	Todos os turnos (alternando um por semana)	120	
8			Tampa	Ar Comprimido	Limpar tampa do misturador	MENSAL	Todos os turnos (alternando um por semana)	5	
9			Funil	Caldeira	Desapertar e colocar na caldeira para derreter a cola				

Linha: Moldação		PLANO DE MANUTENÇÃO AUTÓNOMA _Peneiro							
<p>Legenda dos Símbolos:</p> 		<p>Legenda de cores (Frequência):</p> 							
Nº	Equipamento	Tipo de intervenção	Órgão	Ferramenta / Material	Instrução	Frequência	Quando Fazer?	Tempo execução (min)	
1			Área envolvente	Vassoura / Ar Comprimido	Limpeza da área	DIÁRIA	Todos os turnos	10	
2			Peneiro	Vassoura / Ar Comprimido	Limpeza do pó do peneiro			3	
3			Redes	Vassoura / Ar Comprimido	Limpeza das redes			3	
4			Redes	-	Verificação do estado de desgaste			1	
5			Motor	-	Verificação dos ruídos do motor				
6			Peneiro	Vassoura / Ar Comprimido	Limpeza minuciosa do equipamento (retirar as redes para se limpar o interior do peneiro)	SEMANAL (6ª feira)	Todos os turnos (alternando um por semana)	20	

APÊNDICE H – INSTRUÇÃO OPERATIVA

1. OBJETIVO

A presente Instrução de Trabalho pretende descrever os comandos de controlo do equipamento denominado Prensa Hidráulica Moldação

2. RESPONSABILIDADES

Operadores e chefias

3. DEFINIÇÕES

I.A. - Informação auxiliar

4. MODO OPERATÓRIO

a) Equipamento

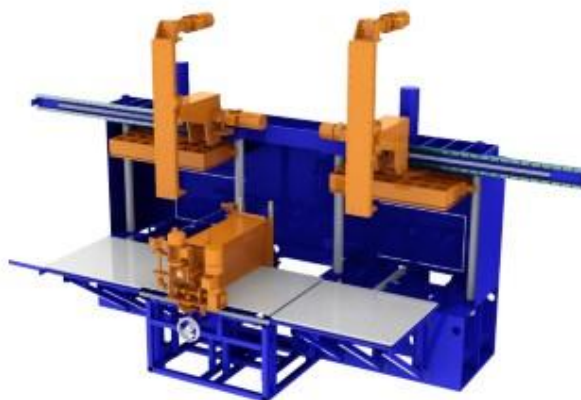


Figura 1 – Prensa Hidráulica da Moldação

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
--------	--------	---------	------------

1 Comandos do Quadro do Equipamento

1.1	Betoneira Geral do Equipamento	<i>Rodar A</i>	
------------	--------------------------------	----------------	--



Fig. 2

2 Comandos do Quadro do Equipamento

2.1	Botão de emergência	<i>Pressionar B</i>	
------------	---------------------	---------------------	--

2.2	Botão Rearme Segurança	<i>Pressionar C</i>	
------------	------------------------	---------------------	--

NOTA para rearmar a segurança : garantir que nenhum objeto está a obstruir as barreiras de segurança verticais amarelas, bem como as portas traseiras estão fechadas; carregar no botão B e depois carregar rearmar no ecrã tátil

2.3	Ecrã Tátil	<i>D</i>	
------------	------------	----------	--

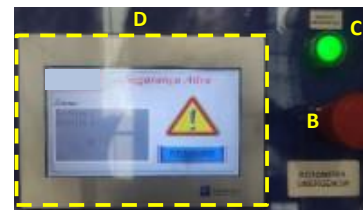


Fig. 3

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
3	Ecrã Tátil – Menu Principal		



Fig. 4

3.1	Menu 1 – Abrir / Fechar Máquina	<i>Pressionar E</i>
3.2	Menu 2 – Ajustar Misturador	<i>Pressionar F</i>
3.3	Menu 3 – Ciclo Automático	<i>Pressionar G</i>
3.4	Menu 4 – Modo Manutenção	<i>Pressionar H</i>
3.5	Indicação luminosa de Setpoint de temperatura atingida (superior e inferior) da prensa 1	<i>I</i>
3.6	Indicação luminosa de Setpoint de temperatura atingida (superior e inferior) da prensa 2	<i>J</i>
3.7	Indicação luminosa de posicionamento do misturador	<i>K</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
4	Ecrã Tátil – Menu 1		



Fig. 5

- | | | |
|------------|---------------------------|---------------------|
| 4.1 | Abrir prensa lado 1 | <i>Pressionar L</i> |
| 4.2 | Fechar prensa lado 1 | <i>Pressionar M</i> |
| 4.3 | Abrir prensa lado 2 | <i>Pressionar N</i> |
| 4.4 | Fechar prensa lado 2 | <i>Pressionar O</i> |
| 4.5 | Ativar Alimentador | <i>Pressionar P</i> |
| 4.6 | Regressar ao Ecrã Inicial | <i>Pressionar Q</i> |

NOTA 1: O processo de abertura / fecho só fica concluído quando o sinal amarelo **OK!** ficar visível.

NOTA 2: Se este processo não funcionar, ver alínea 1 da resolução de problemas.



Fig. 6

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
--------	--------	---------	------------

5

Ecrã Tátil – Menu 2



Fig. 7

- 5.1 Validação das condições de arranque e acesso ao ecrã "Selecionar Lado"

Pressionar R



Fig. 8

- 5.2 Acesso ao ecrã "Ajuste Limites"

Pressionar S

- 5.3 Validação adicional das condições de arranque

Pressionar T



Fig. 9



Fig. 10

- 5.4 Ajuste da posição final do alimentador quando em operação de alimentação do molde

Pressionar U

b) Controladores

Número | Tarefa | Comando | Ilustração

6 Ecrã Tátil – Menu 3



Fig. 11

- | | | |
|-----|--|----------------------|
| 6.1 | Aceder ao menu "Configurações" | Pressionar U |
| 6.2 | Início de ciclo de carregamento de mistura em modo automático | Pressionar V |
| 6.3 | Início de ciclo completo de Prensagem em modo automático a partir do ponto inicial | Pressionar W |
| 6.4 | Tempo definido para cura | X |
| 6.5 | Temperatura Prato Superior | Y |
| 6.6 | Temperatura Prato Inferior | Z |
| 6.7 | Número de ciclos da máquina | AA |
| 6.8 | Redefinir para o valor 0 o número de ciclos | Pressionar AB |

b) Controladores

Número | Tarefa | Comando | Ilustração

6.1 Menu Configurações



Fig. 12

6.1.1 Alterar tempo de cura

Pressionar **AC**

NOTA: Digitar o tempo de cura definido nos parâmetros tal como na figura ao lado

6.1.2 Alterar a pressão de trabalho

Pressionar **AD**

6.1.3 Definir número de filas por molde

Pressionar **AE**

6.1.4 Definir tempo de sopro

Pressionar **AF**

6.1.5 Definir atraso para ativar sopro

Pressionar **AG**

6.1.6 Ativar o ciclo de extração com o pente

Pressionar **AH**

6.1.7 Definir dia da semana em que a máquina liga

Pressionar **AI**

6.1.8 Definir dia da semana em que a máquina desliga

Pressionar **AJ**



Fig. 13

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
6.1.9	Definir hora do dia em que a máquina liga	<i>Pressionar AK</i>	
6.1.10	Definir hora do dia em que a máquina desliga	<i>Pressionar AL</i>	
6.1.11	Alterar o "set-point" da temperatura das resistências de cima	<i>Pressionar AM</i>	
6.1.12	Temperatura atual das resistências de cima	AN	
6.1.13	Ligar resistências de cima	<i>Pressionar AO</i>	
6.1.14	Alterar o "set-point" da temperatura das resistências de baixo	<i>Pressionar AP</i>	
6.1.15	Temperatura atual das resistências de baixo	AQ	
6.1.16	Ligar resistências de baixo	<i>Pressionar AR</i>	
6.1.17	Aceder menu de manutenção/menu de regulação dos parâmetros do pente NOTA 1: para aceder ao menu de manutenção digitar 1975 NOTA 2: para aceder ao menu de regulação dos parâmetros do pente digitar 1985 (só funciona nas prensas 1 e 2)	<i>Pressionar AS</i>	

Fig. 14

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
7	Menu de ajuste dos parâmetros do pente		

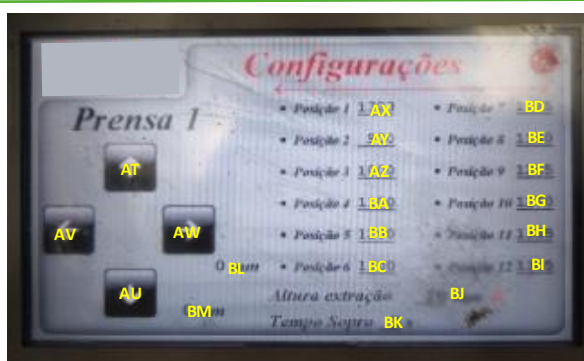


Fig. 15

7.1	Subir pente	<i>Pressionar AT</i>
7.2	Descer pente	<i>Pressionar AU</i>
7.3	Deslocar pente para a esquerda	<i>Pressionar AV</i>
7.4	Deslocar pente para a direita	<i>Pressionar AW</i>
7.5	Definir posição da fila 1 do molde	<i>Pressionar AX</i>
7.6	Definir posição da fila 2 do molde	<i>Pressionar AY</i>
7.7	Definir posição da fila 3 do molde	<i>Pressionar AZ</i>
7.8	Definir posição da fila 4 do molde	<i>Pressionar BA</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
7.9	Definir posição da fila 5 do molde	<i>Pressionar BB</i>	
7.10	Definir posição da fila 6 do molde	<i>Pressionar BC</i>	
7.11	Definir posição da fila 7 do molde	<i>Pressionar BD</i>	
7.12	Definir posição da fila 8 do molde	<i>Pressionar BE</i>	
7.13	Definir posição da fila 9 do molde	<i>Pressionar BF</i>	
7.14	Definir posição da fila 10 do molde	<i>Pressionar BG</i>	
7.15	Definir posição da fila 11 do molde	<i>Pressionar BH</i>	
7.16	Definir posição da fila 12 do molde	<i>Pressionar BI</i>	
7.17	Definir deslocamento vertical máximo	<i>Pressionar BJ</i>	
7.18	Definir tempo de ativação do sopro	<i>Pressionar BK</i>	
7.19	Posição horizontal relativamente ao 0	BL	
7.20	Posição horizontal 0	BM	

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8	Modo de Manutenção		



Caixa de texto para inserir o código 1975

Fig. 16

Pressionar **BN**

Fig. 17

8.1 Menu de Manutenção– Quadro 1

Fig. 18

8.1.1 Ativar Grupo HidráulicoPressionar **BO**

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.1.2	Ativar válvula de corte geral	<i>Pressionar BP</i>	
8.1.3	Ativar luz vermelha	<i>Pressionar BQ</i>	
8.1.4	Ativar luz amarela	<i>Pressionar BR</i>	
8.1.5	Ativar luz verde	<i>Pressionar BS</i>	
8.1.6	Ativar sirene	<i>Pressionar BT</i>	
8.1.7	Navegar para o quadro 1	<i>Pressionar BU</i>	
8.1.8	Navegar para o quadro 2	<i>Pressionar BV</i>	
8.1.9	Navegar para o quadro 3	<i>Pressionar BW</i>	
8.1.10	Navegar para o quadro 5	<i>Pressionar BX</i>	
8.1.11	Navegar para o quadro 7	<i>Pressionar BY</i>	
8.1.12	Navegar para o quadro 8	<i>Pressionar BZ</i>	
8.1.13	Navegar para o quadro seguinte	<i>Pressionar CA</i>	
8.1.14	Navegar para o quadro anterior	<i>Pressionar CB</i>	

b) Controladores

Número | Tarefa | Comando | Ilustração

8.2 Menu de Manutenção– Quadro 2

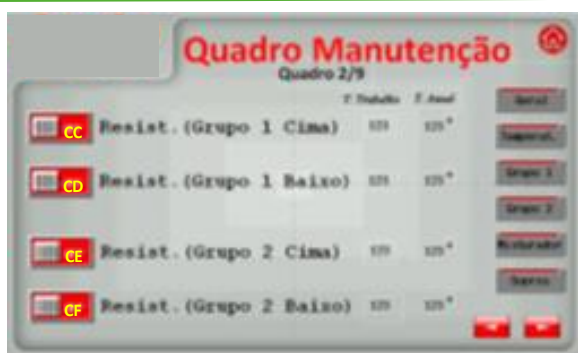


Fig. 19

- | | | |
|-------|--------------------------------------|----------------------|
| 8.2.1 | Ligar resistência de cima do lado 1 | Pressionar CC |
| 8.2.2 | Ligar resistência de baixo do lado 1 | Pressionar CD |
| 8.2.3 | Ligar resistência de cima do lado 2 | Pressionar CE |
| 8.2.4 | Ligar resistência de baixo do lado 2 | Pressionar CF |

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.3	Menu de Manutenção– Quadro 3		



Fig. 20

8.3.1	Subir prato superior da prensa (tampa) – lado 1	<i>Pressionar CG</i>
8.3.2	Descer prato superior da prensa (tampa) – lado 1	<i>Pressionar CH</i>
8.3.3	Abrir prato inferior da prensa (gaveta) – lado 1	<i>Pressionar CI</i>
8.3.4	Fechar prato inferior da prensa (gaveta) – lado 1	<i>Pressionar CJ</i>
8.3.5	Subir cilindros hidráulicos – lado 1	<i>Pressionar CK</i>
8.3.6	Descer cilindros hidráulicos – lado 1	<i>Pressionar CL</i>
8.3.7	Alterar pressão de trabalho – lado 1	<i>Pressionar CM</i>

NOTA: a abertura / fecho de cada parte móvel da prensa tem que chegar sempre ao fim até aparecer o sinal a **amarelo**.

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.4	Menu de Manutenção– Quadro 4		

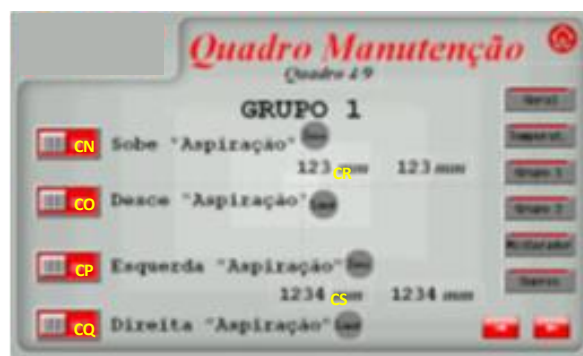


Fig. 21

8.4.1	Subir pente – lado 1	<i>Pressionar CN</i>
8.4.2	Descer pente – lado 1	<i>Pressionar CO</i>
8.4.3	Deslocar pente para a esquerda – lado 1	<i>Pressionar CP</i>
8.4.4	Deslocar pente para a direita – lado 1	<i>Pressionar CQ</i>
8.4.5	Definir deslocamento lateral máximo – lado 1	<i>Pressionar CR</i>
8.4.6	Definir deslocamento vertical máximo – lado 1	<i>Pressionar CS</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.5	Menu de Manutenção– Quadro 5		



Fig. 22

8.5.1	Subir prato superior da prensa (tampa) – lado 2	<i>Pressionar CT</i>
8.5.2	Descer prato superior da prensa (tampa) – lado 2	<i>Pressionar CU</i>
8.5.3	Abrir prato inferior da prensa (gaveta) – lado 2	<i>Pressionar CV</i>
8.5.4	Fechar prato inferior da prensa (gaveta) – lado 2	<i>Pressionar CW</i>
8.5.5	Subir cilindros hidráulicos – lado 2	<i>Pressionar CX</i>
8.5.6	Descer cilindros hidráulicos – lado 2	<i>Pressionar CY</i>
8.5.7	Alterar pressão de trabalho – lado 2	<i>Pressionar CZ</i>

NOTA: a abertura / fecho de cada parte móvel da prensa tem de chegar sempre ao fim até aparecer o sinal a **amarelo**.

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.6	Menu de Manutenção– Quadro 6		

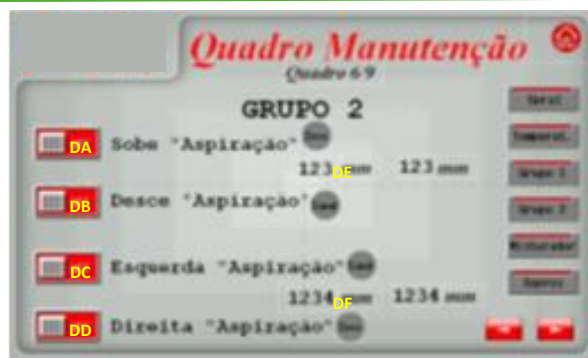


Fig. 23

8.6.1	Subir pente – lado 2	<i>Pressionar DA</i>
8.6.2	Descer pente – lado 2	<i>Pressionar DB</i>
8.6.3	Deslocar pente para a esquerda – lado 2	<i>Pressionar DC</i>
8.6.4	Deslocar pente para a direita – lado 2	<i>Pressionar DD</i>
8.6.5	Definir deslocamento lateral máximo – lado 2	<i>Pressionar DE</i>
8.6.6	Definir deslocamento vertical máximo – lado 2	<i>Pressionar DF</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.7	Menu de Manutenção– Quadro 7		

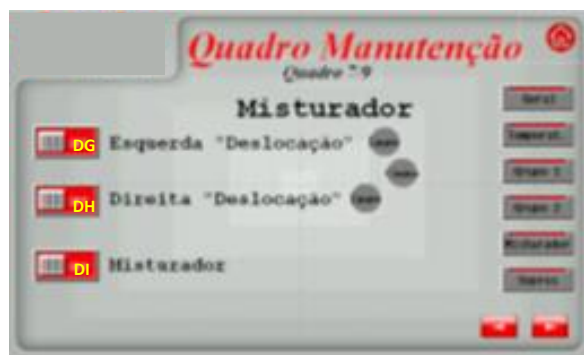


Fig. 24

- | | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 8.7.1 | Deslocar alimentador para a esquerda | <i>Pressionar DG</i> |
| 8.7.2 | Deslocar alimentador para a direita | <i>Pressionar DH</i> |
| 8.7.3 | Ativar pás do alimentador | <i>Pressionar DI</i> |

b) Controladores

Número | Tarefa | Comando | Ilustração

8.8 Menu de Manutenção– Quadro 8



Fig. 25

8.8.1	Ativar sopro da fila 1 do molde – lado 1	<i>Pressionar DJ</i>
8.8.2	Ativar sopro da fila 2 do molde – lado 1	<i>Pressionar DK</i>
8.8.3	Ativar sopro da fila 3 do molde – lado 1	<i>Pressionar DL</i>
8.8.4	Ativar sopro da fila 4 do molde – lado 1	<i>Pressionar DM</i>
8.8.5	Ativar sopro da fila 5 do molde – lado 1	<i>Pressionar DN</i>
8.8.6	Ativar sopro da fila 6 do molde – lado 1	<i>Pressionar DO</i>
8.8.7	Ativar sopro da fila 7 do molde – lado 1	<i>Pressionar DP</i>
8.8.8	Ativar sopro da fila 8 do molde – lado 1	<i>Pressionar DQ</i>
8.8.9	Ativar sopro da fila 9 do molde – lado 1	<i>Pressionar DR</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.8.10	Ativar sopro da fila 10 do molde – lado 1	Pressionar <i>DS</i>	
8.8.11	Ativar sopro da fila 11 do molde – lado 1	Pressionar <i>DT</i>	
8.8.12	Ativar sopro da fila 12 do molde – lado 1	Pressionar <i>DU</i>	

8.9 Menu de Manutenção- Quadro 9



Fig. 26

8.9.1	Ativar sopro da fila 1 do molde – lado 2	Pressionar <i>DV</i>
8.9.2	Ativar sopro da fila 2 do molde – lado 2	Pressionar <i>DW</i>
8.9.3	Ativar sopro da fila 3 do molde – lado 2	Pressionar <i>DX</i>
8.9.4	Ativar sopro da fila 4 do molde – lado 2	Pressionar <i>DY</i>
8.9.5	Ativar sopro da fila 5 do molde – lado 2	Pressionar <i>DZ</i>
8.9.6	Ativar sopro da fila 6 do molde – lado 2	Pressionar <i>EA</i>

b) Controladores

Número	Tarefa	Comando	Ilustração
8.9.7	Ativar sopro da fila 7 do molde – lado 2	<i>Pressionar EB</i>	
8.9.8	Ativar sopro da fila 8 do molde – lado 2	<i>Pressionar EC</i>	
8.9.9	Ativar sopro da fila 9 do molde – lado 2	<i>Pressionar ED</i>	
8.9.10	Ativar sopro da fila 10 do molde – lado 2	<i>Pressionar EE</i>	
8.9.11	Ativar sopro da fila 11 do molde – lado 2	<i>Pressionar EF</i>	
8.9.12	Ativar sopro da fila 12 do molde – lado 2	<i>Pressionar EG</i>	

APÊNDICE I – OPL

OPL - xxx / xx

ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Produção Stenpott	
Responsabilidade:	Operadores	Data: <u>14/11/2022</u>

Mistura



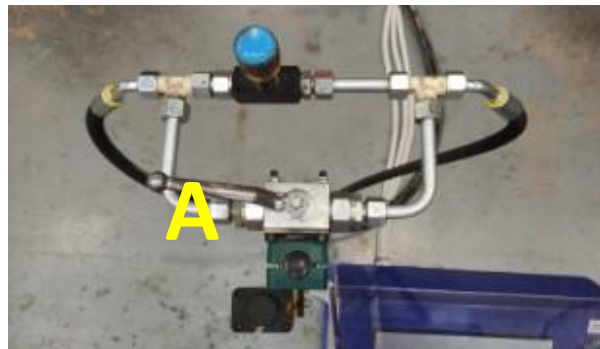
1. Colocar granulado de acordo com a FCO.
2. Com o misturador a funcionar, verter a cola com recurso ao funil.
3. Pesar óxido de ferro no recipiente.
4. Quando a cola acabar de cair, contar 2 minutos e verter óxido de ferro.
5. Contar mais 3 minutos e retirar a mistura.

OPL - xxx / xx

ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Produção Stenpott	
Responsabilidade:	Operadores	Data: 14/11/2022

Moldação



1. Rodar manipulo A quando a prensa estiver quase a fechar de forma a reduzir a velocidade de descida da tampa superior.



2. Regressar à posição inicial após completar a descida.

OPL - xxx / xx

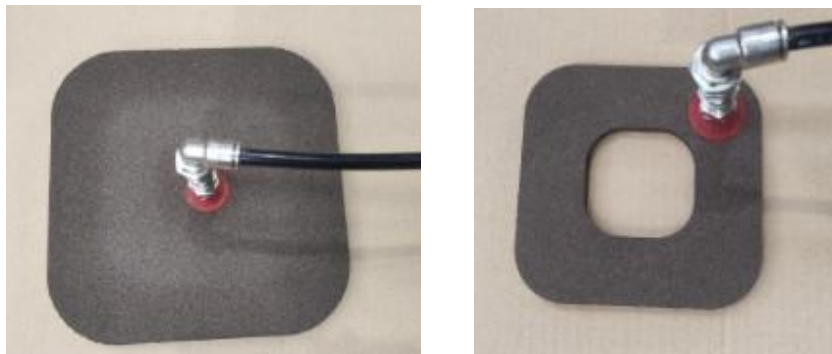
ONE POINT LESSON (OPL)

Tema:	Produção Stenpott		
Responsabilidade:	Operadores	Data:	14/11/2022

Extração



1. Abrir a válvula B para passar o ar e ativar a ventosa



2. Extrair as peças moldadas com recurso à ventosa conforme a figura.

APÊNDICE J – TROUBLESHOOTING

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx/x

1. RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS - GENÉRICO

Modo de Falha 1: Menu 1 não abre / fecha a prensa

Causa	Resolução
Erro de Software	<ul style="list-style-type: none"> • Ir ao menu 4 – Modo Manutenção; • No quadro 1 premir os botões “Geral Hidráulico” e “Válvula Corte Geral”; • Ir ao quadro 3 ou 5, mediante o lado da prensa necessário e manter premido “Sobe Tampa” até ao sinal amarelo; • Manter premido “Abre Gaveta” até ao sinal amarelo; • Para fechar fazer o mesmo processo nos botões inversos;
Falha Hidráulica / Mecânica	<ul style="list-style-type: none"> • Se o processo anterior não abriu / fechou a prensa, verificar se o sistema hidráulico tem pressão e se o motor funciona. Se uma destas condições não se verificar, chamar a manutenção.

Modo de Falha 2: Ciclo Automático não funciona

Causa	Resolução
Sensor dos pratos não deteta posição	<ul style="list-style-type: none"> • Ir ao menu 4 – Modo Manutenção; • Garantir nos quadros 3 e 5 que os sensores de posição dos pratos inferior e superior estão a amarelo; • Se isto não se verificar repetir o processo 1 do Modo de Falha 1.

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx /x

Causa	Resolução
Sistema de Extração fora da posição	<ul style="list-style-type: none"> • Ir ao menu 4 – Modo Manutenção; • Garantir nos quadros 3 e 5 que os sensores de posição dos pratos inferior e superior estão a amarelo; • Se isto não se verificar repetir o processo 1 do Modo de Falha 1.

Modo de Falha 3: Peça queimada (escura)

Causa	Resolução
Tempo de cura demasiado elevado	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar/assegurar que o tempo de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário .
Temperatura demasiado elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar/assegurar que a temperatura de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário .
Nenhuma das causas anteriores	<ul style="list-style-type: none"> • Se nenhuma das causas anteriores se verificar, chamar supervisor e reportar o ocorrido .

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx/x

Modo de Falha 4: Peça sofre desintegração de material na superfície

Causa	Resolução
Tempo de cura demasiado baixo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar/assegurar que o tempo de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário.
Temperatura demasiado baixa	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar/assegurar que a temperatura de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário. • Se ainda assim a temperatura real estiver abaixo do estipulado, ajustar tempo de cura de acordo com FCO 0024. • Contactar Manutenção para avaliar possibilidade de alguma resistência estar avariada.
Molde desgastado	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar apenas a utilização das cavidades que possam estar em bom estado. • Reportar ao supervisor e solicitar a troca do molde.
Restos de cortiça no interior das paredes do molde	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar limpeza a 100% das cavidades. • Considerar apenas a utilização das cavidades que possam estar em bom estado. • Reportar ao supervisor e solicitar a troca do molde.
Tempo excessivo da mistura fora do misturador	<ul style="list-style-type: none"> • Assegurar que o ciclo de mistura seguinte é consumido dentro do tempo máximo estabelecido e dar seguimento às respetivas peças moldadas.

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx/x

Causa	Resolução
Não cumprimento do processo de mistura	<ul style="list-style-type: none"> Seguir ciclo de mistura seguinte e respetivas peças moldadas.
Nenhuma das causas anteriores	<ul style="list-style-type: none"> Se nenhuma das causas anteriores se verificar, chamar supervisor e reportar o ocorrido.

Modo de Falha 5: Peça sofre expansão

Causa	Resolução
Tempo de cura demasiado baixo	<ul style="list-style-type: none"> Verificar/assegurar que o tempo de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário.
Temperatura demasiado baixa	<ul style="list-style-type: none"> Verificar/assegurar que a temperatura de cura na consola se encontra de acordo com a Folha de Parâmetros (FCO 0024) > corrigir se necessário. Se ainda assim a temperatura real estiver abaixo do estipulado, ajustar tempo de cura de acordo com FCO 0024.
Nenhuma das causas anteriores	<ul style="list-style-type: none"> Se nenhuma das causas anteriores se verificar, chamar manutenção e supervisor e reportar o ocorrido.

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx/x

Modo de Falha 6: Peça contaminada / manchas ou pintas escuras

Causa	Resolução
Molde sujo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar estado de limpeza do molde; • Se necessário, limpar com spray definido para o efeito.
Desgaste prematuro do teflon	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar existência de rebarbas de teflon devido ao desgaste do molde; • Limpar as rebarbas e chamar supervisor.
Contaminação no peneiro	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar estado da rede do peneiro; • Verificar limpeza do peneiro;
Mistura mal feita	<ul style="list-style-type: none"> • Assegurar correto procedimento de mistura; • Se o processo for o correto, aumentar a velocidade da mistura.
Nenhuma das causas anteriores	<ul style="list-style-type: none"> • Se nenhuma das causas anteriores se verificar, chamar supervisor e reportar o ocorrido.

Modo de Falha 7: Ecrã não responde

Causa	Resolução
Modo de Falha "PLC"	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir a tampa do ecrã e recolocar ficha.

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxxx/x

Modo de Falha 8: Máquina desligase

Causa	Resolução
Falha de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar quadro elétrico geral.
Resistências em curto-circuito	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar qual o lado da máquina que causa o curto-circuito, através de tentativa Modo de Falha; • Desligar esse lado, continuar a produção no outro e chamar a manutenção.

Modo de Falha 9: Molde desalinhado

Causa	Resolução
Folga nos apertos dos parafusos	<ul style="list-style-type: none"> • Chamar manutenção.

Modo de Falha 10: Mistura não passa no peneiro

Causa	Resolução
Grumos da mistura	<ul style="list-style-type: none"> • Assegurar correto procedimento de mistura;
Falta de limpeza	<ul style="list-style-type: none"> • Efetuar limpeza da rede fora do peneiro, com recurso ao equipamento adequado.
Rede em mau estado	<ul style="list-style-type: none"> • Chamar manutenção e comunicar o estado atual da rede.
Granulado fora da especificação	<ul style="list-style-type: none"> • Medir a dimensão do granulado e se estiver fora do especificado chamar a equipa da Qualidade.

6/8

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxx/x

1.1 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS - ABSTRACTA

Modo de Falha 1: Aspeto de “pipoca” / rugoso

Causa	Resolução
Excesso de granulado graúdo	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar visualmente o big bag do granulado e se necessário chamar a qualidade para verificar os parâmetros do mesmo.
Estratificação	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar o processo de peneirar, assim como a qualidade da rede utilizada e garantir que há uma distribuição uniforme dos diferentes granulados.
Temperatura demasiado elevada do molde	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar se a temperatura definida está de acordo com a FCO-0024. • Medir a temperatura real do molde se necessário.
Excesso de humidade no granulado	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmar se a humidade do granulado se encontra dentro do valor especificado.

Modo de Falha 2: Manchas de cola / menores

Causa	Resolução
Contaminação	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar mistura e respetivos granulados; • Verificar estado da rede do peneiro; • Verificar limpeza do peneiro;
Mistura incorreta	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar e garantir que a mistura está a ser efetuada de acordo com os parâmetros da FCO-0024.

7/8

CMS – PRENSA MOLDAÇÃO

ITO-xxxx/x

Causa	Resolução
Sujidade do molde	<ul style="list-style-type: none"> Garantir que o processo correto de limpeza do molde está a ser efetuado.

Modo de Falha 3: Efeito raiado

Causa	Resolução
Mau espalhamento da mistura	<ul style="list-style-type: none"> Ao verter a mistura, não verter toda diretamente no mesmo sitio e espalhar de forma uniforme pelas laterais do molde.
Temperatura demasiado elevada	<ul style="list-style-type: none"> Verificar se a temperatura definida está de acordo com a FCO-0024. Medir a temperatura real do molde se necessário.
Mistura pré reticulada	<ul style="list-style-type: none"> Verificar e garantir que a mistura está a ser efetuada de acordo com os parâmetros da FCO-0024, bem como se o tempo de espera da mistura não ultrapassou o limite estipulado.

Modo de Falha 4: Rebentamento

Causa	Resolução
Medição por volume / espalhamento	<ul style="list-style-type: none"> Assegurar que o procedimento está a ser efetuado de acordo com a OPL 896/1.