



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ricardo Luís Machado Gonçalves

Injeção Multimaterial com Compósitos de Cortiça

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação de

Doutor António Manuel Cerqueira Gomes Brito

Doutor Álvaro Miguel Céu Gramaxo Oliveira Sampaio

Novembro de 2017

DECLARAÇÃO

Nome: Ricardo Luís Machado Gonçalves

Endereço eletrónico: ricardogoncalves1994@gmail.com Telefone: 915143862

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14574023

Título da dissertação: Injeção Multimaterial com Compósitos de Cortiça

Orientadores:

Professor Doutor António Manuel Cerqueira Gomes Brito

Professor Doutor Álvaro Miguel Céu Gramaxo Oliveira Sampaio

Ano de conclusão: 2017

Mestrado em Engenharia de Polímeros

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos os que mediante o seu empenho, colaboração e incentivo me ajudaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos e a realizar esta etapa da minha formação.

Agradeço em primeiro lugar à minha família pela educação que me deram, por todo o amor, força e coragem transmitida, um obrigado incondicional pois sem eles nada disto seria possível.

Aos meus orientadores, Doutor António Brito e Doutor Álvaro Sampaio, o meu sincero agradecimento pelos conhecimentos transmitidos, por todos os conselhos e pela disponibilidade demonstrada ao longo de toda a dissertação.

Ao professor Pontes o meu muito obrigado pela disponibilidade prestada, pelas oportunidades proporcionadas e pelos seus conselhos sábios determinantes na escolha deste tema.

O meu muito obrigado aos técnicos do Departamento de Engenharia de Polímeros que contribuíram para a concretização desta dissertação, especialmente ao técnico João Paulo pela paciência, pelo acompanhamento no desenrolar do projeto e pelos ensinamentos transmitidos.

Gostaria de agradecer também à empresa TJ Moldes por ter fabricado o molde, ao Sérgio Santos colaborador da empresa TJ Moldes pelos seus conselhos e pela sua ajuda no desenho do molde, ao PIEP pela disponibilização das películas decorativas e por todas as pessoas que fizeram com que fosse possível atingir este patamar.

RESUMO

O crescente interesse em novos materiais derivados de recursos renováveis originou a exploração de diversos materiais, entre os quais a cortiça, que até então era conhecida pela sua aplicação maioritariamente para a produção de rolhas. Do processamento da cortiça são gerados cerca de 30% de resíduos, também denominados subprodutos da cortiça, cuja granulometria não permite as aplicações típicas. Esses subprodutos eram geralmente queimados ou depositados em aterros sanitários, porém devido a trabalhos de investigação relativamente recentes, foi possível fazer o reaproveitamento de forma mais eficiente desses mesmos subprodutos através do desenvolvimento de novas aplicações.

Entre as várias aplicações encontradas para valorizar os resíduos industriais do processamento da cortiça surgem os compósitos polímero-cortiça (CPC) que são um dos campos promissores da evolução da cortiça.

A presente tese pretende estudar a implementação de técnicas e materiais inovadores para produzir uma peça cover de uma máquina de café existente no mercado. Com isso pretende-se adicionar valor acrescentado no produto através da conjugação de soluções não convencionais de injeção, como a injeção multimaterial e a injeção sobre películas decorativas, com o uso de materiais inovadores (compósitos de polímero-cortiça).

Inicialmente foram selecionados os materiais a estudar (ABS, CPC, EVA e LDPE) e foi desenvolvido um molde de injeção bi-material com capacidade também para injetar sobre películas decorativas. Após isso, realizaram-se ensaios de caracterização térmica para caracterizar os materiais e injetaram-se peças nos materiais selecionados. O estudo prosseguiu com a caracterização dos resultados obtidos através de ensaios de caracterização morfológica e mecânica. No fim foi possível concluir que algumas soluções do molde não funcionaram conforme previsto e que a injeção de CPC não traduziu até ao momento vantagens na sua utilização.

Palavras-Chave: Cortiça; CPC; Bi-material; Reaproveitamento ; Decorativas.

ABSTRACT

The growing interest in new materials derived from renewable resources led to the exploration of various materials, including cork, which until then was known for its application mainly for the production of corks. The cork processing produces about 30% of waste, also called cork byproducts, whose granulometry does not allow typical applications. These by-products were generally burnt or landfilled, but relatively recent research has made it possible to more efficiently reuse these by-products through the development of new applications. Among the various applications found to valorize the industrial residues of cork processing come the polymer-cork composites (CPC) that are one of the promising fields of cork evolution.

This thesis aims to study the implementation of innovative techniques and materials to produce a cover piece of a coffee machine on the market. This is intended to add added value to the product through the combination of non-conventional injection solutions, such as multi-material injection and injection onto decorative films, using innovative materials (polymer-cork composites).

Initially the materials to be studied were selected (ABS, CPC, EVA and LDPE) and a bi-material injection mold was also developed with the ability to inject on decorative films. After that, thermal characterization tests were carried out to characterize the materials and parts were injected into the selected materials. The study proceeded with the characterization of the results obtained through morphological and mechanical characterization tests. In the end, it was possible to conclude that some solutions of the mold did not work as expected and that the CPC injection has not translated to the moment advantages in its use.

KEYWORDS: CORK; CPC; BI-MATERIAL; REUSE; DECORATIVE.

ÍNDICE

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Lista de Figuras	xv
Lista de Tabelas	xix
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos e metodologia do trabalho.....	2
1.3. Organização da dissertação.....	5
2. ESTADO DE ARTE	7
2.1. Cortiça.....	7
2.1.1. Aplicações.....	11
2.1.2. Cortiça em materiais compósitos	12
2.2. Técnicas não-convencionais de moldação	14
2.2.1. Injeção multimaterial	15
2.2.2. Core-back.....	17
2.2.3. In-mould decoration (IMD).....	17
2.3. Considerações finais	18
3. CASO DE ESTUDO.....	19
3.1. Molde desenvolvido	20
3.1.1. Parte fixa.....	25
3.1.2. Parte móvel.....	32
3.1.3. Sistema de alimentação.....	41
4. EXPERIMENTAL	43
4.1. Materiais utilizados	43
4.1.1. Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	43
4.1.2. Compósito de polímero-cortiça (CPC)	45
4.1.3. Polietileno de baixa densidade (LDPE)	47
4.1.4. Copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA)	48

4.1.5.	Películas decorativas	49
4.1.6.	Propriedades dos materiais - resumo	50
4.2.	Processamento	51
4.2.1.	Condições de processamento	52
4.2.2.	Injeção sobre películas decorativas.....	53
4.3.	Técnicas de caracterização	54
4.3.1.	Medição do índice de fluidez (MFI).....	54
4.3.2.	Calorimetria diferencial de varrimento (DSC)	57
4.3.3.	Microscopia ótica	60
4.3.4.	Ensaio de tração	62
4.3.5.	Ensaio de impacto	67
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	73
5.1.	Resultados da injeção	73
5.1.1.	Injeção de ABS	73
5.1.2.	Injeção de CPC	75
5.1.3.	Injeção bi-material de CPC e LDPE.....	79
5.1.4.	Injeção bi-material de CPC e EVA	80
5.1.5.	Injeção sobre películas decorativas.....	81
5.2.	Resultados dos ensaios de caracterização	81
5.2.1.	Resultados do MFI	81
5.2.2.	Resultados do DSC	82
5.2.3.	Resultados da microscopia ótica	84
5.2.4.	Resultados do ensaio de tração.....	88
5.2.5.	Resultados do ensaio de impacto.....	93
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	95
6.1.	Conclusões.....	95
6.2.	Propostas de trabalhos futuros	97
	BIBLIOGRAFIA	99
	Anexo I – Alterações do caso de estudo	105
	Anexo II – Características da injetora.....	109
	Anexo III – Desenhos 2D do molde	110
	Anexo IV – Lista de componentes do molde.....	111

Anexo V – Ficha técnica ABS	112
Anexo VI – Ficha técnica CPC	115
Anexo VII – Ficha técnica LDPE.....	117
Anexo VIII – Ficha técnica EVA	118
Anexo IX – Gráficos DSC	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma com todas as tarefas realizadas no estudo.	4
Figura 2- Técnicas não convencionais de moldação por injeção.	15
Figura 3- Exemplo de disposições possíveis na moldação multimaterial.	15
Figura 4- Imagem ilustrativa da técnica core-back.	17
Figura 5- Imagem ilustrativa da técnica IMD.	18
Figura 6- Caso de estudo com as respetivas dimensões gerais.	19
Figura 7- Primeira e segunda injeção.	20
Figura 8- Injetora Ferromatik K85 para a qual o molde foi projetado.	21
Figura 9- Molde desenvolvido completo.	21
Figura 10- Parte fixa e móvel do molde respetivamente.	22
Figura 11- Dimensões gerais do molde.	23
Figura 12- Parte fixa do molde desenvolvido.	25
Figura 13- Vista explodida da parte fixa do molde.	26
Figura 14- Posicionamento do anel de centragem do lado fixo.	27
Figura 15- Injetor da unidade de injeção horizontal (2A).	27
Figura 16- Injetor da segunda unidade de injeção (2B).	28
Figura 17- Dimensões das guias principais do molde.	29
Figura 18- Representação de um interlock macho.	29
Figura 19- Representação de um batente.	30
Figura 20- Sistema de arrefecimento e de vácuo da cavidade do molde.	31
Figura 21- Sistema de vácuo existente na cavidade do molde.	31
Figura 22- Parte móvel do molde desenvolvido.	32
Figura 23- Vista explodida da parte móvel do molde.	33
Figura 24- Dimensões dos casquilhos do molde.	34
Figura 25- Retentor do sistema de injeção da unidade horizontal (2A).	35
Figura 26- Retentor do sistema de injeção da unidade vertical (2B).	35
Figura 27- Posicionamento dos retentores do sistema de alimentação.	36
Figura 28- Representação de um interlock fêmea.	36
Figura 29- Suportes de apoio do molde.	37

Figura 30- Microswitch existentes no molde representados a azul.	38
Figura 31- Bucha com o respetivo postigo móvel e hidráulico.	39
Figura 32- Sistema de arrefecimento da bucha.	39
Figura 33- Sistema de extração do molde representado a vermelho.	40
Figura 34- Representação da ficha elétrica do molde.	40
Figura 35- Representação do jito com a peça resultante da primeira injeção.	41
Figura 36- Representação do jito com a peça resultante da segunda injeção.	42
Figura 37- Resultado esperado de obter.	42
Figura 38- Fórmulas químicas dos monómeros de ABS.	44
Figura 39- Amostra do acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).	44
Figura 40- Esquema da extrusão reativa de compósitos de polímeros-cortiça.	45
Figura 41- Grades disponíveis comercialmente de compósitos de polímero-cortiça.	46
Figura 42- Amostra do compósito de polímero-cortiça.	46
Figura 43- Estrutura química do polietileno (PE).	47
Figura 44- Estrutura molecular do LDPE.	47
Figura 45- Amostra do polietileno de baixa densidade (LDPE).	48
Figura 46- Síntese do copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA).	48
Figura 47- Amostra do copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA).	49
Figura 48- Película decorativa alvo de estudo.	49
Figura 49- Fluxograma com o plano de injeções estipulado.	51
Figura 50- Molde na injetora. (1)- Lado do operador; (2)- Lado oposto ao operador.	52
Figura 51- Recorte manual da película decorativa.	53
Figura 52- Imagem representativa da técnica MFI.	55
Figura 53- Equipamento utilizado no ensaio de MFI. (1)- equipamento experimental; (2)- balança digital.	56
Figura 54- Exemplo de curvas obtidas num ensaio DSC.	57
Figura 55- Representação da técnica DSC por compensação de energia. S- amostra; R- referência; 1- forno; 2- sensor de temperatura.	58
Figura 56- Equipamento de DSC e algumas ferramentas utilizadas para a realização do ensaio. (1)- prensa para fechar o cadinho com a amostra; (2)- balança digital para pesar a amostra; (3)- equipamento de DSC.	59

Figura 57- Exemplos de imagens captadas por microscopia de campo claro e microscopia de luz polarizada.	60
Figura 58- Ferramentas utilizadas para a preparação de amostras. (1)- corte de uma peça bi-injetada com uma serra de mão; (2)- pedaço de material que deu origem à amostra alvo de estudo; (3)- micrótomo utilizado para cortar a amostra; (4)- ferramentas utilizadas para colocar a amostra entre a lâmina e a lamela.	61
Figura 59- Microscópio utilizado para analisar as amostras.	61
Figura 60- Representação esquemática um gráfico de tensão-deformação.	63
Figura 61- Representação do comportamento tensão-deformação em tração de materiais dúcteis e frágeis.	64
Figura 62- Peças cortadas com uma serra elétrica.	65
Figura 63- Ferramentas utilizadas para cortar os provetes e resultado final na peça. (1)- cortante; (2)- placa de madeira para não danificar o cortante; (3)- prensa hidráulica; (4)- aspecto final das peças cortadas.	66
Figura 64- Provetes obtidos do corte na prensa hidráulica: (1)- provete de ABS; (2)- provete de CPC.	66
Figura 65- Equipamento utilizado para realizar o ensaio de tração.	67
Figura 66- Ilustração de um equipamento utilizado em ensaios de impacto.	68
Figura 67- Diferenças entre o ensaio Charpy e Izod respetivamente (dimensões em milímetros).	69
Figura 68- Corpos de prova para ensaios Charpy (dimensões em milímetros).	69
Figura 69- Corpo de prova para ensaios Izod (dimensões em milímetros).	70
Figura 70- Equipamentos e resultados obtidos. (1)- corpo de prova de referência; (2)- resultado do corte das paredes laterais; (3)- micrótomo usado para gravar o entalhe; (4)- corpo de prova com entalhe a utilizar no ensaio.	70
Figura 71- Equipamento utilizado para realizar o ensaio de impacto.	71
Figura 72- Peças injetadas em ABS.	74
Figura 73- Observação dos defeitos na peça.	74
Figura 74- Peça injetada com CPC.	76
Figura 75- Linhas de fluxo nas peças de CPC.	77
Figura 76- Diferenças na contração das peças.	78
Figura 77- Efeito do empeno nas peças de CPC.	78

Figura 78- Problemas verificados nas peças bi-injetadas.	79
Figura 79- Empeno verificado numa peça bi-injetada de CPC e LDPE (a verde está representada uma linha para perceber melhor o efeito do empeno).....	79
Figura 80- Peça bi-injetada com CPC e EVA.	80
Figura 81- Empeno verificado em peças bi-injetadas de CPC e EVA.	80
Figura 82. Termograma do aquecimento do ABS.	82
Figura 83- Termograma do aquecimento do CPC.	82
Figura 84- Termograma do aquecimento do LDPE com a área do pico preenchida.	83
Figura 85- Termograma do aquecimento do ABS com as linhas tangentes utilizadas para calcular a temperatura de transição vítrea.....	83
Figura 86- Identificação dos provetes alvo de estudo numa peça de ABS.	89
Figura 87- Resultados obtidos para cinco provetes de ABS analisados na direção “1”	89
Figura 88- Resultados obtidos para cinco provetes de ABS analisados na direção “2”	90
Figura 89- Resultados obtidos para cinco provetes de CPC analisados na direção “1”	90
Figura 90- Resultados obtidos para cinco provetes de CPC analisados na direção “2”	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Adesão entre diferentes polímeros.....	16
Tabela 2- Aços aplicados nos diversos constituintes do molde.....	24
Tabela 3- Propriedades dos materiais alvo de estudo.....	50
Tabela 4- Parâmetros de injeção utilizados para cada material.....	53
Tabela 5- Técnicas de caracterização utilizadas.....	54
Tabela 6- Temperaturas utilizadas no ensaio.	56
Tabela 7- Condições adotadas para cada material no ensaio de DSC.	59
Tabela 8- Medições de massa e intervalo de tempo do ensaio de MFI.	81
Tabela 9- Temperaturas de fusão (T_f) e de transição vítrea (T_g) obtidas do ensaio de DSC....	84
Tabela 10- Resultados obtidos na microscopia de campo claro.....	85
Tabela 11- Resultados obtidos na microscopia de luz polarizada.	87
Tabela 12- Resultados obtidos do ensaio de tração.	91
Tabela 13- Resultados obtidos no ensaio de impacto.	93

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CPC- compósito de polímero-cortiça

PE- polietileno

PP- polipropileno

PLLA- poli(L-ácido láctico)

PHBV- poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato)

PCL- poli(ϵ -caprolactona)

SPCL- amido-policaprolactona

PLA- poliácido láctico

LDPE- polietileno de baixa densidade

LLDPE- polietileno de baixa densidade linear

HDPE- polietileno de alta densidade

EVA- copolímero de acetato-vinilo de etileno

ABS- acrilonitrilo-butadieno-estireno

PPgMA- polipropileno enxertado com anidrido maleico

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento relevante no desenvolvimento de materiais derivados de recursos renováveis. Isto ocorre devido à necessidade de desenvolver materiais inovadores e sustentáveis e também ocorre, em certos casos, como forma de proceder à valorização de resíduos industriais produzidos.

Neste campo, tem sido evidente os esforços no desenvolvimento de materiais com cortiça. Entre alguns dos materiais desenvolvidos: lã de cortiça, aglomerados de cortiça, tecido e papel de cortiça, compósitos polímero-cortiça [1-3]; que são o alvo deste estudo.

A cortiça é a casca externa do sobreiro *Quercus Suber L.*, uma árvore cujo habitat natural é a bacia Ocidental do Mediterrâneo. É colhida a cada 9-12 anos, tendo em conta a região de cultura, num processo sustentável que não danifica a árvore. Dada a capacidade natural de regenerar após cada extração e o tempo de vida do sobreiro rondar 170-200 anos, é possível este ser descortiçado cerca de 15 a 18 vezes [4]. Portugal desempenha aqui um papel importante, sendo o país com maior área de sobreiro e maior produtor de cortiça a nível mundial com 49,6% da produção mundial [5].

A composição química típica da cortiça é baseada principalmente em suberina (33-50%), lenhina (20-25%), polissacáridos (12-20%) e extrativos (14-18%) [6-9]. Estruturalmente, esta é uma espuma natural de células fechadas compostas por pequenas células ocas de forma prismática hexagonal [10].

Possui uma combinação única de propriedades tais como baixa densidade, baixa condutividade térmica, impermeabilidade a líquidos e gases, excelente isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, sensação agradável ao toque, elasticidade e compressibilidade [2,3,7].

Grande parte da aplicação da cortiça baseia-se na produção de rolhas. Durante o seu processamento, resultam quantidades significantes de resíduos na ordem dos 30%, que por não terem a granulometria necessária para as aplicações típicas da cortiça, são geralmente queimados ou depositados em aterros sanitários [6,7]. Este facto propiciou o

desenvolvimento de novas soluções de materiais para as mais variadas aplicações. A indústria automóvel, aeronáutica e aeroespacial, são algumas das visadas por estas novas soluções desenvolvidas [7].

Entre os novos materiais desenvolvidos, encontramos os compósitos polímero-cortiça (CPC), que são um dos campos promissores da evolução da cortiça e que contribuem para o desenvolvimento sustentável. As propriedades destes compósitos dependem especialmente da interação entre a matriz polimérica e a cortiça [6,7]. Desta interação, resulta uma dificuldade que advém do facto da cortiça ser polar e o polímero não polar [11]. Por esse motivo são geralmente aplicados agentes compatibilizadores com base no anidrido maleico ou então utilizam-se fibras naturais como forma de promover a compatibilidade entre a matriz polimérica e os materiais lenhocelulósicos [11]. De outro modo, procedendo à modificação da superfície da cortiça através de soluções alcalinas, salinização, água quente e tratamento de plasma, é possível melhorar a compatibilidade da mistura [7,12-13].

A degradação da cortiça é dependente da temperatura; a partir dos 200 °C verificam-se perdas de massa significativas e a mudança de cor para castanho escuro, a 300 °C a mudança de cor é para preto. [40]

Em estudos recentes, foram aplicadas como matrizes termoplásticas de CPC sobretudo o polietileno (PE) e o polipropileno (PP) [6,7,11-12,14]. Contudo, o interesse na utilização de reforços biodegradáveis com matrizes termoplásticas biodegradáveis, os denominados biocompósitos, tem suscitado muito interesse, tendo sido já desenvolvidos trabalhos de cortiça misturada com poli(L-ácido láctico) (PLLA), poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) (PHBV), poli(ϵ -caprolactona) (PCL), amido-policaprolactona (SPCL) entre outros [11,15].

1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA DO TRABALHO

O presente trabalho pretende estudar a implementação de técnicas e materiais inovadores para produzir uma peça *cover* de uma máquina de café já existente. Pretende-se com isso adicionar valor acrescentado no produto através da conjugação de soluções não convencionais de injeção (injeção multimaterial e injeção sobre películas decorativas) com o uso de materiais inovadores (compósitos de polímero-cortiça). A combinação de todos estes fatores origina um desafio interessante cuja finalidade consiste principalmente no aumento

da competitividade no mercado, na diminuição das operações de montagem e na minimização do impacto ambiental.

A esta peça alvo de estudo estão associados alguns requisitos entre os quais se destacam: a injeção multimaterial, onde a peça deve ser constituída por dois materiais diferentes (sendo um deles um material inovador compósito de polímero-cortiça rígido para responder a questões estéticas e outro material polimérico translúcido para permitir a passagem de luz); a qualidade superficial, onde não devem ser visíveis marcas superficiais; a necessidade da peça sair pronta do molde sem requerer operações de acabamento e/ou de montagem; a implementação de películas decorativas de modo a conferir uma enorme flexibilidade na decoração da peça.

É um trabalho que surge na sequência do projeto SMIT, que visa a investigação e o desenvolvimento de soluções moldantes inovadoras multifuncionais que permitam a produção de produtos de maior valor acrescentado, com a integração de materiais, componentes e tecnologias. O projeto SMIT envolve um consórcio constituído pelas empresas ITJ e a RTJ e as entidades não empresariais do SI&I Centimfe e Universidade do Minho, através dos centros de investigação: IPC/I3N (laboratório associado) e Algoritimi.

Inicialmente serão selecionados os materiais alvo de estudo e será desenvolvido o molde da peça referida de acordo com os requisitos anteriormente mencionados. Posteriormente serão injetadas peças nos materiais selecionados e por fim, será realizado um plano de experiências que passa por realizar ensaios de caracterização térmica, morfológica e mecânica de modo a estudar as propriedades dos materiais e caracterizar e os resultados obtidos. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma com as várias etapas realizadas neste estudo.

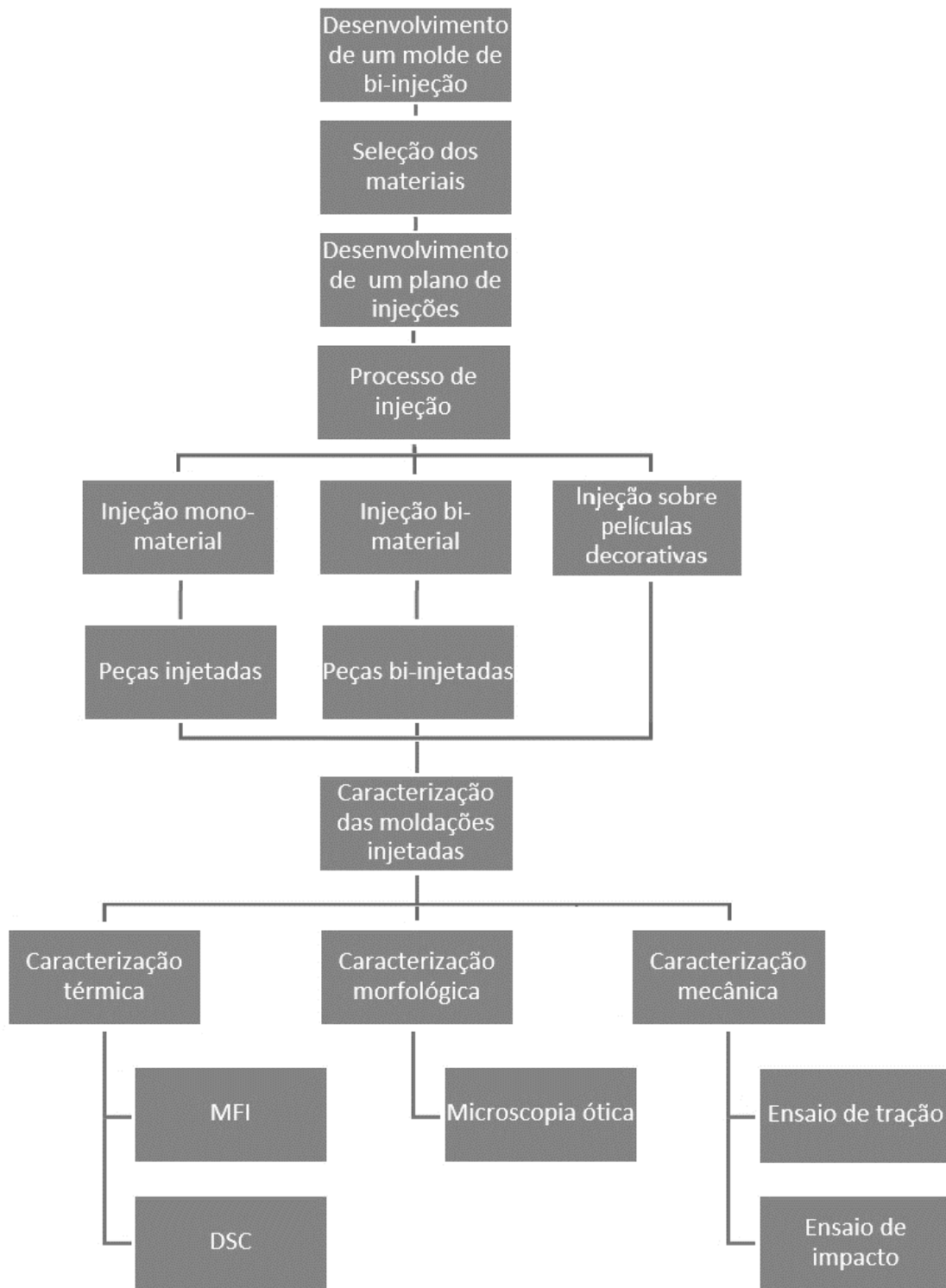


Figura 1- Fluxograma com todas as tarefas realizadas no estudo.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em vários capítulos sobre os quais será feita de seguida uma breve síntese do que cada um retrata:

- Capítulo 1- INTRODUÇÃO: neste capítulo inicial é feita uma introdução ao trabalho a ser elaborado e são apresentados os objetivos e a metodologia adotada do mesmo;
- Capítulo 2- ESTADO DE ARTE: este capítulo é referente à pesquisa bibliográfica de publicações de teor científico que suportam o trabalho a ser efetuado;
- Capítulo 3- CASO DE ESTUDO: neste capítulo é referido o caso de estudo e é apresentado o molde desenvolvido;
- Capítulo 4- EXPERIMENTAL: neste capítulo são descritas as técnicas de caracterização, os materiais alvos de estudo e é abordado o procedimento experimental, sendo descritos os equipamentos utilizados e a metodologia adotada em toda a parte experimental;
- Capítulo 5- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS: aqui são apresentados e discutidos todos os resultados obtidos;
- Capítulo 6- CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS: neste capítulo são tecidas as conclusões do trabalho realizado e é descrito um conjunto de sugestões de trabalhos futuros relativos ao tema em causa;

2. ESTADO DE ARTE

2.1. CORTIÇA

Estudos com as mais variadas finalidades foram realizados até então, e em muito contribuíram para um melhor entendimento da cortiça em si. De seguida é apresentada uma extensa revisão de trabalhos que se podem encontrar na literatura.

GIBSON et al. [16] examinaram a estrutura da cortiça por microscópio eletrónico de varrimento e também realizaram outros ensaios experimentais para medir algumas propriedades mecânicas da cortiça. Alguns dos resultados que obtiveram são os registos das curvas de tensão-deformação de cubos de cortiça, em compressão e em tensão, carregadas ao longo das direções radial, axial e tangencial, assim como os registos do módulo de Young, do módulo de corte, e do coeficiente de Poisson.

PEREIRA et al. [17] dedicaram-se também a estudar a estrutura da cortiça por microscópio eletrónico de varrimento. Verificaram que as células heptagonais, hexagonais e pentagonais representavam 95% da totalidade das células e que as formas triangulares eram muito raras. A estrutura tridimensional foi descrita como formada por células prismáticas, e as dimensões das células da cortiça estavam dependentes da estação em que foram formadas, sendo que as células formadas nas primeiras estações de crescimento eram maiores e tinham paredes mais finas que as células formadas numa estação de crescimento mais tardia. Num outro artigo, PEREIRA et al. [18] apresentaram um estudo sobre cortiça com diferentes taxas de crescimento (correspondentes a diferentes calibres) e relacionaram a taxa de crescimento (largura anual do anel) com características anatômicas e propriedades mecânicas em compressão. Concluíram que a diferença na espessura de tábuas de cortiça com a mesma idade, 9 anos, correspondia a diferentes taxas de crescimento como indicado pela largura dos anéis de crescimento anuais, e que grandes calibres resultavam de mais células a ser produzidas e de um aumento na dimensão radial das células. Concluíram também que a cortiça em grandes calibres tinha menor resistência em compressão e possuía módulos de Young mais baixos.

ROSA e FORTES desenvolveram diversos estudos sobre a cortiça. Em [19], estudaram o efeito da taxa de deformação sobre o comportamento da cortiça em compressão, tendo em

consideração a anisotropia do material. Obtiveram curvas de compressão a três taxas diferentes para cada direção (radial, axial e tangencial) e estudaram também a recuperação das dimensões após a compressão em cada direção e concluíram que a taxa de recuperação diminuía sensivelmente com o tempo e aumentava com o grau de deformação imposta. Em [20], estudaram a relaxação de tensões e a fluência da cortiça sob compressão para as três direções principais (radial, axial e tangencial). Realizaram também ensaios cíclicos de carga-relaxação-descarga nas direções radial e tangencial com a finalidade de simular o desempenho de uma rolha de cortiça. Em [21], apresentaram um estudo onde determinaram várias propriedades relacionadas à deformação e fratura da cortiça em tensão incluindo, entre outras, o módulo de Young e a resistência à fratura. Num outro estudo [22], estudaram detalhadamente as tensões de crescimento com base em relações constitutivas determinadas experimentalmente para cortiça em tensão e compressão. Neste estudo foram analisadas consequências das tensões de crescimento como a ocorrência de ondulações nas paredes celulares laterais da cortiça, a variação da largura dos sucessivos anéis de crescimento e a ocorrência de fissuras na camada posterior e nas camadas externas da cortiça. Novamente ROSA e FORTES [23], apresentaram um estudo sobre a absorção de água líquida por parte da cortiça tendo em conta a anisotropia da cortiça. Concluíram que a difusão da água na cortiça era um processo lento comparado, por exemplo, com a madeira. Verificaram que inicialmente a absorção causava um inchaço da cortiça que cessava quando as paredes celulares estavam saturadas de água, e que o inchaço era anisotrópico com menor expansão na direção radial. Verificaram também que as dimensões iniciais eram recuperadas após a secagem quando a água era absorvida a 20 °C, porém ocorria uma grande contração quando a absorção de água ocorria a 100 °C.

VAZ e FORTES [24] desenvolveram um estudo experimental onde investigaram a anisotropia do atrito da cortiça através da determinação do coeficiente pelo deslize sobre superfícies paralelas e perpendiculares à direção radial. A medida do coeficiente de atrito foi realizada para o deslizamento da cortiça sobre três materiais distintos (vidro, aço e cortiça) para vários valores de velocidade e tensão de compressão. Estudaram também os efeitos da rugosidade da contra superfície e da humidade da cortiça, e realizaram testes de compressão uniaxial para obter e comparar propriedades mecânicas da cortiça seca e húmida. Concluíram que ao deslizar no vidro ou no aço, o coeficiente de atrito da cortiça seca diminuía com o aumento da carga compressiva e que os coeficientes de atrito da cortiça seca no vidro e no

aço aumentavam com o aumento da rugosidade. Concluíram também, entre outros aspetos, que à medida que o teor de humidade da cortiça aumentava o coeficiente de atrito diminuía de tal forma que a anisotropia do coeficiente de atrito se tornava menos pronunciada.

GIL [25] estudou alguns aspetos das transformações provocadas na estrutura e composição química de aglomerados negros de cortiça através do processo de densificação com base em extrações químicas e observações de microscopia eletrónica de varrimento. Concluiu que a densificação a pressão quente produzia a exsudação de alguns materiais da parede celular que ajudavam a ligação da parede celular, tornando o processo de densificação irreversível. Em [26] o mesmo autor desenvolveu um processo de densificação que deu origem a um pedido de patente.

MANO [27] estudou as propriedades viscoelásticas da cortiça para uma gama de temperaturas entre -40 e 120 °C usando a técnica Análise Mecânica Dinâmica (DMA). Em [28] realizou ensaios de fluência em provetes de cortiça sob compressão a diferentes temperaturas, entre 0 e 50 °C, e avaliou o comportamento relativamente à relaxação de tensões.

MARAT-MENDES e NEAGU [29] desenvolveram um estudo sobre o transporte de carga elétrica na cortiça tendo em vista uma possível aplicação elétrica do material. Concluíram que as propriedades elétricas da cortiça eram drasticamente afetadas pela absorção e adsorção de água.

NÓVOA et al. [30] estudaram o comportamento mecânico de duas séries de formulações de argamassa polimérica modificada com cortiça com diferentes proporções de peso de resina/areia. Realizaram testes de flexão e compressão à temperatura ambiente e registaram as curvas de carga vs. deslocamento até à falha. Concluíram que o módulo de força e elasticidade eram afetados negativamente quer na flexão, quer na compressão. Concluíram também que à medida que o conteúdo da cortiça aumentava o material tornava-se mais dúctil e que comparativamente com materiais de cimento convencionais o módulo de elasticidade de argamassas de polímero modificado com cortiça era bastante baixo, mas relativamente à resistência à flexão e compressão era notavelmente maior.

GAMEIRO e CIRNE [31] estudaram o comportamento de absorção de energia de tubos de alumínio preenchidos com cortiça aglomerada submetidos a cargas de impacto uniaxial com o objetivo de relacionar e melhor compreender o comportamento dinâmico de curtos a longos tubos de alumínio preenchidos com cortiça aglomerada para considerar possíveis aplicações mecânicas em campos de absorção de energia. Realizaram simulações numéricas

usando o código de elementos finitos LS-DYNA baseado num modelo que mostrou boa concordância com os resultados experimentais. GAMEIRO et al. [32] comparam a resposta quasi-estática e dinâmica de quatro tipos de cortiça quando comprimidas axialmente a taxas de deformação de 10^{-3} s^{-1} a 600 s^{-1} .

COSTA et al. [33] estudaram influência das características do solo, do declive e drenagem nos padrões de crescimento dos sobreiros (densidade, tamanho da árvore, cobertura da copa da coroa e produção de cortiça). Concluíram que o crescimento e produção, sob as mesmas condições climáticas e sob o mesmo sistema de manejo silvo-pastoral, parecia ser influenciado pelo solo, inclinação e drenagem.

MATOS [34] estudou a transferência de oxigénio através de rolhas de cortiça utilizadas especialmente em garrafas de vinho. Verificou que a permeabilidade das rolhas dependia da diferença de pressão parcial entre o permeado e o retido e concluiu que a permeabilidade dependia da diferença de pressão total para valores superiores a cerca de 30 mbar. Verificou também que as rolhas com tratamento de superfície possuíam valores de permeabilidade inferiores aos valores de permeabilidade das rolhas sem tratamento de superfície.

Estudos mais recentes abordam sobretudo aplicações novas e inovadoras para se aplicar à cortiça.

MAIO [35] desenvolveu um estudo onde incorporou pó de cortiça numa tinta com o intuito de obter um desempenho acústico otimizado e concluiu que o uso da tinta aumentou o coeficiente de absorção sonora, mas não em valores significativos para um uso eficaz. GIL e MARREIROS [36] desenvolveram também um estudo nesse sentido que deu origem a um pedido de patente. Desenvolveram novas tintas com incorporação de partículas de cortiça de modo a obter um melhor comportamento a nível do isolamento e de absorção acústica. Verificaram que as tintas com cortiça apresentavam uma menor condutividade térmica e uma maior absorção acústica do que as tintas correntes.

ABENOJAR et al. [13] estudaram o efeito de tratamentos superficiais em placas de cortiça, nomeadamente tratamento por plasma e silano. Os efeitos dos tratamentos foram estudados por energia superficial, rugosidade, espectroscopia infravermelhos, testes de adesão e análises acústicas. Uma das conclusões que tiraram é que o tratamento com plasma de

placas de cortiça podia ser uma ferramenta útil para melhorar as propriedades de adesão no processo de fabricação de painéis sanduíche de cortiça.

2.1.1. APLICAÇÕES

Numa breve contextualização histórica sabe-se que os primeiros desenvolvimentos do processamento da cortiça foram feitos para produzir rolhas de cortiça natural e aí observou-se um grande volume de resíduos produzidos que era necessário aproveitar [2,38]. No século XVIII o monge benedito francês Dom Pierre Pérignon deu uso à cortiça para vedar o seu famoso champanhe *Dom Pérignon* [63]. No fim do século XIX, um fabricante Americano de coletes salva-vidas descobriu acidentalmente que era possível produzir cortiça auto-aglomerada. Este facto deu início a novas soluções para os resíduos gerados pelo processamento da cortiça [2,37]. Também por acaso no Reino Unido, Frederick Walton inventou o linóleo para revestimento de piso quando misturou óleo de linhaça oxidado com resíduos de cortiça muito finos e pressionou a mistura [38]. Em 1909 Charles McManus inventou a composição da cortiça, onde usou cola natural para ligar os grânulos de cortiça [2]. No início do século XX foram desenvolvidas as primeiras rolhas de cortiça aglomeradas [2,38].

Nos tempos atuais novas aplicações inovadoras vão sendo descobertas constantemente. GIL [2] apresentou um trabalho sobre os avanços no desenvolvimento de compósitos de cortiça até à data em causa. São referidos diversos desenvolvimentos tais como: novas resinas à base de lenhina na produção de compósitos de cortiça, placas de cortiça compósitas, argamassas poliméricas leves com grânulos de cortiça, compósitos de cortiça e gesso, materiais elastoméricos de poliuretano com enchimento de cortiça, entre outros.

Uns anos mais tarde, GIL [3] deu continuidade ao trabalho anteriormente desenvolvido, apresentando as novas aplicações desenvolvidas até à data em causa. Neste trabalho destacou desenvolvimentos tais como: materiais de amortecimento baseados em cortiça, materiais absorventes baseados em cortiça, novas aplicações em veículos de transporte, micropartículas de cortiça como agente de reforço e enchimento, produtos de design feitos com cortiça, compósitos de cimento com cortiça, entre outras aplicações.

É notável que num espaço relativamente curto de tempo as soluções e aplicações para a cortiça não param de aumentar. Tal facto demonstra o interesse no material e nas

propriedades em si da cortiça, e é perfeitamente espectável que continuem a surgir novas e inovadoras soluções.

2.1.2. CORTIÇA EM MATERIAIS COMPÓSITOS

O conhecimento das propriedades da cortiça associado ao crescente interesse no desenvolvimento de novos materiais derivados de recursos renováveis permitiu desenvolver novas soluções e aplicações para este material. Entre as diversas soluções e aplicações desenvolvidas encontram-se os materiais compósitos que podem ser definidos como misturas não solúveis de dois ou mais constituintes distintos com o intuito de se obter propriedades que não se conseguem obter com os constituintes isolados. As propriedades dos compósitos dependem da natureza dos materiais e do grau de ligação entre eles através da interface, já os materiais usados na sua formulação podem ser de matriz polimérica, cerâmica ou metálica.

MATA [39] desenvolveu um estudo onde se pretendia desenvolver e caracterizar um material compósito de cerâmica – cortiça. Efetuou o estudo a três percentagens distintas de cortiça (20, 50 e 80%) e submeteu provetes normalizados a ensaios de tração, flexão, tenacidade à fratura e dureza, porém concluiu que como não tinha garantido a homogeneidade do compósito, obteve valores dispares na realização dos ensaios.

ABDALLAH et al. [12] estudaram a possibilidade de melhorar as propriedades mecânicas de uma matriz de polipropileno (PP) reforçada com grânulos de cortiça. Estudaram especialmente a modificação de superfície dos grânulos de cortiça e os seus efeitos sobre as propriedades mecânicas do composto e obtiveram as propriedades mecânicas através de ensaios de tração. Concluíram que o tratamento da superfície com silano melhorava a adesão da cortiça ao polipropileno, melhorava as propriedades do compósito na tração, flexão e compressão, já o tratamento alcalino dos grânulos de cortiça diminuía as propriedades mecânicas do compósito.

FERNANDES et al. [8, 9, 40-43] apresentaram diversos estudos incidindo sobretudo em estratégias de reforço para compósitos polímero-cortiça e em aplicações inovadoras para produtos baseados em cortiça. Em [40] tiveram como objetivo transformar um subproduto da cortiça num compósito de alto valor; Em [41] relatam o efeito do uso de fibra de cocô como material mecânico para promover um maior desempenho mecânico dos compósitos à base

da cortiça; Em [42] investigaram o uso de fibra de sisal curta como estratégia para reforçar compósitos de polímero-cortiça; Em [8] estudaram um compósito de polímero-cortiça com o polipropileno como matriz polimérica; Em [9] desenvolveram compósitos de polímero-cortiça utilizando suberina e lignina como agentes de ligação; Em [43] preparam biocompósitos resultantes da combinação de diferentes poliésteres alifáticos biodegradáveis com cortiça.

ALCÂNTARA et al. [44] analisaram as características, propriedades e comportamento de um material compósito resultante da combinação de cortiça granular com uma resina epóxida. Neste estudo descrevem o processo de fabricação do material compósito desenvolvido, apresentam estudos experimentais com base em testes de compressão axial quasi-estática e apresentam um estudo numérico para analisar a capacidade de absorção de energia de estruturas tubulares metálicas com incorporação do material compósito estudado. Do estudo numérico concluíram que o compósito desenvolvido era capaz de aumentar a capacidade de absorção de energia em estruturas tubulares metálicas.

VILELA et al. [15] prepararam e caracterizaram biocompósitos à base de cortiça e duas matrizes poliméricas biodegradáveis (PLA e PCL). Estudaram a acetilização superficial e a hexanoilação da cortiça para melhorar a adesão interfacial entre os componentes PLA e PCL. Concluíram que os compósitos com maior teor de cortiça eram mais flexíveis e que a resistência à tração diminuía com a cortiça. Concluíram também que a hexanoilação superficial das partículas de cortiça tinha um impacto positivo na maioria das propriedades dos compósitos, e que a incorporação de cortiça diminuía consideravelmente a densidade dos materiais compósitos.

VERAS [45] usou materiais compósitos de cortiça para estudar soluções em estruturas sanduíche para aplicação como piso na indústria ferroviária e procedeu ao fabrico e caracterização dessas soluções.

FERREIRA [46] avaliou o efeito da adição de pó de cortiça e de pó de caroço de azeitona a um polietileno de baixa densidade (LDPE), com vista a avaliar a eficácia de vir a introduzir este tipo de resíduos em produtos compósitos com utilização em acabamentos para a construção. Concluiu que as propriedades mecânicas dos materiais compósitos eram inferiores às do polietileno de baixa densidade sem incorporações e que, apesar de isso se verificar, concluiu que poderia ser uma forma de aproveitamento válida de resíduos e diminuição da utilização de plásticos em aplicações que não requerem características mecânicas elevadas como rodapés e revestimentos de porta e de pisos.

AROSO et al. [14] estudaram a estabilidade termo-oxidativa de polipropileno em compósitos contendo 15% em peso de cortiça e o desempenho de extratos de cortiça selecionados como aditivos estabilizantes para polipropileno. Verificaram que os resultados demonstravam a adequação da cortiça como fonte de aditivos estabilizadores termo-oxidativos para a formulação de poliolefinas e permitiam a exploração de novas rotas de valorização da cortiça.

SILVA et al. [7] analisaram o efeito da temperatura, granulometria e presença de um agente de ligação (PPgMA) no comportamento reológico de compósitos de polipropileno com três granulometrias de cortiça diferentes para aplicações na moldação por injeção. Em [6], os mesmos autores desenvolveram um novo estudo sobre o comportamento de cristalização não-isotérmica de compósitos de polímero-cortiça (CPC) à base de polipropileno. O objetivo principal do trabalho foi o estudo da cinética de cristalização do CPC em condições não isotérmicas usando a calorimetria diferencial de varrimento (DSC).

2.2. TÉCNICAS NÃO-CONVENCIONAIS DE MOLDAÇÃO

A moldação por injeção é a técnica de maior relevo na produção de peças plásticas, contudo está limitada em alguns aspectos pois é extremamente difícil moldar peças com determinadas geometrias tais como peças muito profundas, peças ocas ou peças com paredes muito finas. A existência de problemas estéticos ou defeitos estruturais tais como linhas de soldadura, vazios ou orientação de reforços inadequada podem comprometer a performance do produto, de modo que a injeção convencional por si só não seria suficiente para dar resposta a todas as solicitações.

O desenvolvimento de técnicas não convencionais permitiu superar algumas limitações supracitadas e ainda aumentar a produtividade através da implementação de dois ou mais materiais na mesma moldação, melhorando aspectos estéticos e funcionais das peças. A possibilidade de incorporação de operações de montagem no mesmo processo tais como decorações ou insertos metálicos permitiu reduzir de modo significativo o custo de produção das peças e originou peças com melhor qualidade. Na Figura 2 que se segue estão identificadas diversas técnicas não convencionais de injeção já desenvolvidas [50].

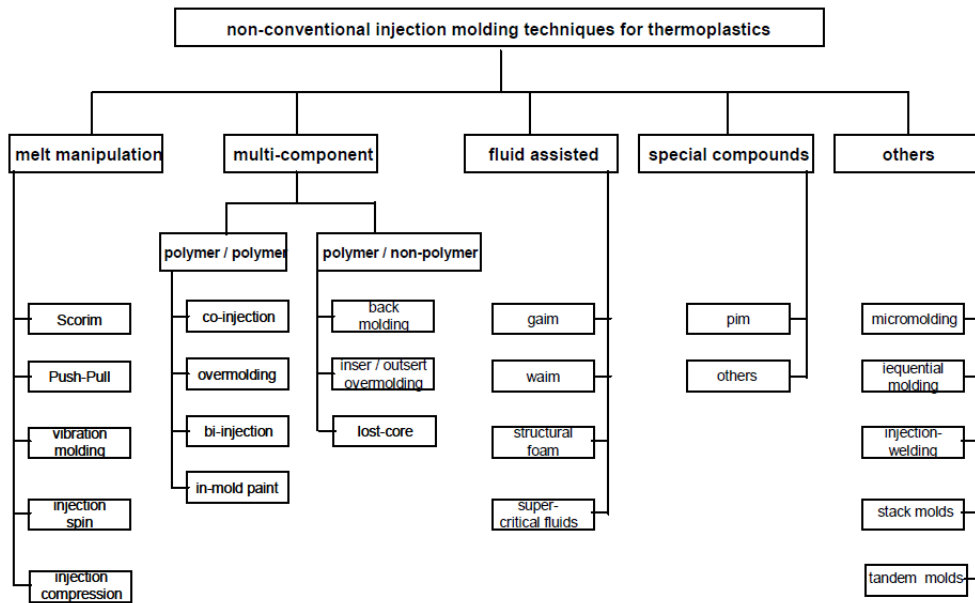


Figura 2- Técnicas não convencionais de moldação por injeção [50].

2.2.1. INJEÇÃO MULTIMATERIAL

A injeção multimaterial envolve a injeção de dois ou mais materiais que podem ser compatíveis entre si ou não. É uma técnica capaz de produzir peças multifuncionais com variedade de cores e/ou materiais, porém, uma vez que é uma técnica usada para peças de relativa complexidade geométrica, exige o desenvolvimento de um molde especial e requer também equipamento extra uma vez que são necessárias no mínimo duas unidades de injeção. Uma vantagem interessante é que podem ser adaptadas unidades de injeção independentes a máquinas convencionais permitindo desse modo obter soluções inovadoras e flexíveis. A disposição das unidades de injeção varia de caso para caso e um exemplo de posicionamentos adotados pode ser visto na Figura 3 [50,51].

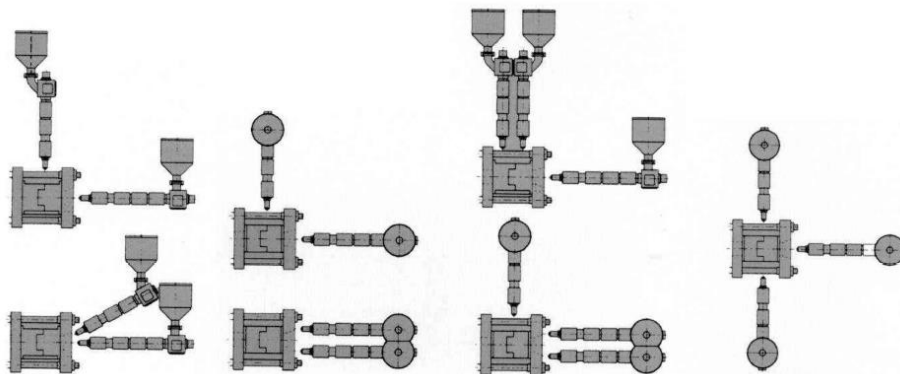


Figura 3- Exemplo de disposições possíveis na moldação multimaterial [50].

Da técnica resultam as principais variantes que são:

- Co-injeção: envolve o fluxo de dois materiais simultaneamente. Desta variante resultam moldações com estrutura *sandwich* ou *monosandwich*;
- Overmoulding: envolve a injeção de diferentes materiais sequencialmente.

Das variantes referidas a que importa salientar neste projeto é a variante *overmoulding*. Contrariamente à co-injeção, os moldes desempenham o papel principal no processo de *overmoulding* uma vez que envolvem ferramentas bastante dispendiosas e de elevada complexidade. Conforme já referido esta técnica envolve a moldação sequencial de dois ou mais materiais implicando isso a alteração da geometria moldante no interior do molde. Dependendo obviamente de caso para caso, a alteração da geometria pode ser feita internamente por ação de componentes móveis ou então pode ser feita externamente por ação de robots ou pratos rotativos. Independentemente da solução a adotar, implica um conhecimento profundo do processo e da construção do molde [50].

Um dos aspetos relevantes a ter em consideração na utilização desta técnica é a interação entre os materiais utilizados. Um dos requisitos que muitas vezes se coloca na injeção de peças multimaterial é a boa adesão entre materiais, por isso a escolha dos materiais para cada caso deve ser bem estudada. Na Tabela 1 está registado o tipo de adesão entre alguns polímeros.

Tabela 1- Adesão entre diferentes polímeros [50].

	ABS	PC+ABS	PC	HIPS	PMMA	PA	PBT	POM	PPO	PP	TPU
ABS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PC+ABS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
HIPS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PMMA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PBT	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
POM	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PPO	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PP	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
TPU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ good; ■ moderate; ■ poor; ■ incompatible; □ without registry

2.2.2. CORE-BACK

A utilização da técnica *core-back*, Figura 4, usa-se para peças de geometria simples e consiste na injeção de um primeiro polímero e de seguida dá-se um movimento da zona moldante que vai permitir a segunda injeção de material. A grande vantagem desta técnica é que o movimento pode ser feito com o molde fechado e isso traduz vantagens significativas em relação ao tempo de ciclo [50].

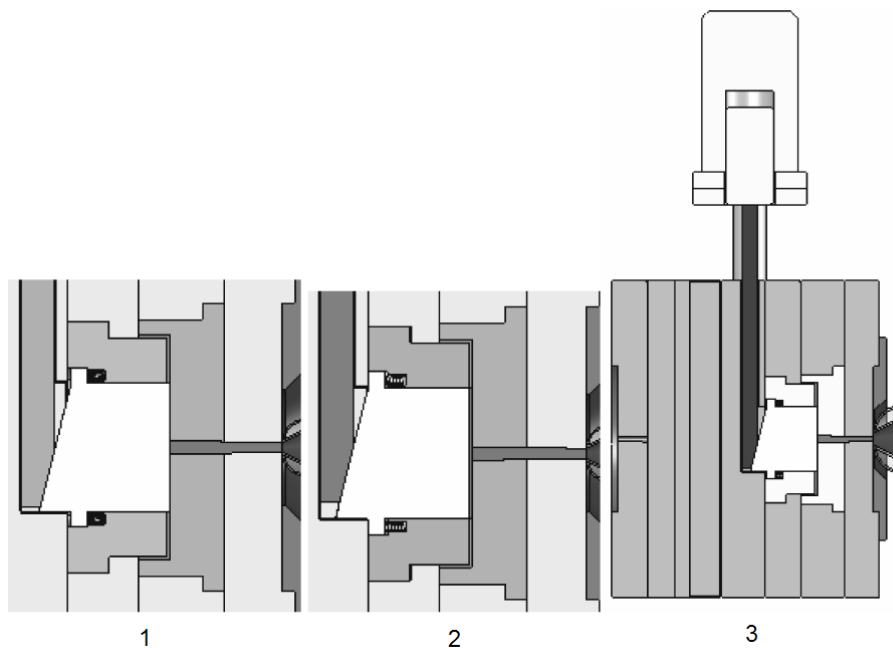


Figura 4- Imagem ilustrativa da técnica *core-back*. Adaptado de [50].

2.2.3. IN-MOULD DECORATION (IMD)

A técnica *in-mould decoration* (IMD) é versátil na decoração de peças plásticas e não requer grandes mudanças na concepção do molde. Possibilita a decoração de peças com contornos complexos, elimina operações pós-moldação, melhora a qualidade em termos de adesão, a resistência a riscos na superfície e ainda permite o uso de texturas específicas. Na Figura 5 está representado um exemplo prático da técnica.

Os aspetos que mais influenciam o processo é o desenho do molde, a decoração do filme e a automação do processo. Além disso o processo requer um bom sistema de controlo da temperatura, da pressão de injeção e do curso do fuso [50,51].

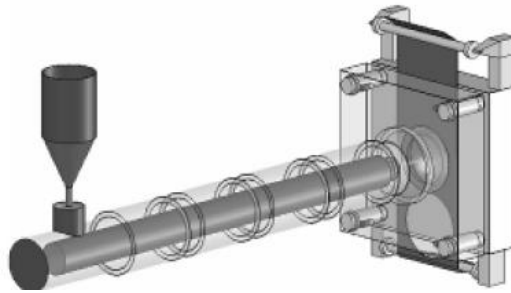


Figura 5- Imagem ilustrativa da técnica IMD. Adaptado de [50].

2.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diversos estudos apresentados no capítulo 2.1 comprovam que o interesse na cortiça foi suscitado desde muito cedo. Os primeiros estudos foram focados sobretudo no conhecimento das propriedades da cortiça e uma parte desses estudos teve como finalidade a melhoria da qualidade e do desempenho das rolhas de cortiça, que como se sabe, são uma das principais aplicações da cortiça. Com o evoluir do tempo foram surgindo novas necessidades e atualmente, o desenvolvimento de materiais mais “amigos do ambiente” e o aproveitamento de resíduos gerados (neste caso os resíduos gerados no processo de transformação da cortiça) tornou-se uma realidade. É de notar os esforços feitos neste sentido de modo a criar materiais e soluções inovadoras, alargando assim o leque de aplicações da cortiça e a promover um desenvolvimento mais sustentável. Prova disso mesmo são os campos que atualmente a cortiça vai alcançando, como a indústria automóvel e aeronáutica por exemplo.

Relativamente às técnicas não convencionais de moldação é possível verificar que existem já variadíssimas soluções. Para este estudo foram destacadas: a técnica moldação multimaterial que consiste na injeção simultânea ou sequencial de dois ou mais materiais num único molde; a técnica core-back que consiste no movimento de um postigo com o molde fechado; a técnica in-mould decoration (IMD) que consiste na injeção sobre películas decorativas.

3. CASO DE ESTUDO

Previamente a qualquer descrição é necessário conhecer o elemento que propiciou este estudo. O elemento fundamental deste estudo é uma peça *cover* de uma máquina de café. Na Figura 6 está representada a peça em causa com as respetivas dimensões gerais.

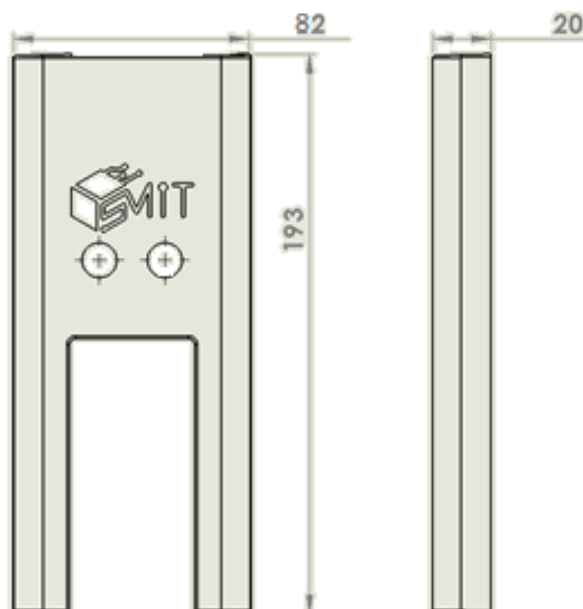


Figura 6- Caso de estudo com as respetivas dimensões gerais.

A esta peça estão associados alguns requisitos importantes que influenciaram o projeto do molde:

- Injeção multimaterial: a peça deveria ter dois materiais a injetar no mesmo ciclo produtivo;
- Função decorativa: deveria ser possível decorar a peça pela injeção de compósitos de polímero-cortiça e através de soluções *in-mould decoration*;
- Qualidade superficial: a peça não deveria conter marcas visíveis na superfície;
- Produtividade: a peça deveria sair do molde completa para reduzir o número de operações pós-processamento e obter cadências de produções elevadas.

Na Figura 7 é possível verificar as diferentes injeções que originam a peça. A primeira injeção é referente à injeção do compósito de polímero-cortiça que é o responsável sobretudo

pela aparência pretendida, já a segunda injeção é referente à injeção do material translúcido que deve permitir a passagem de luz.

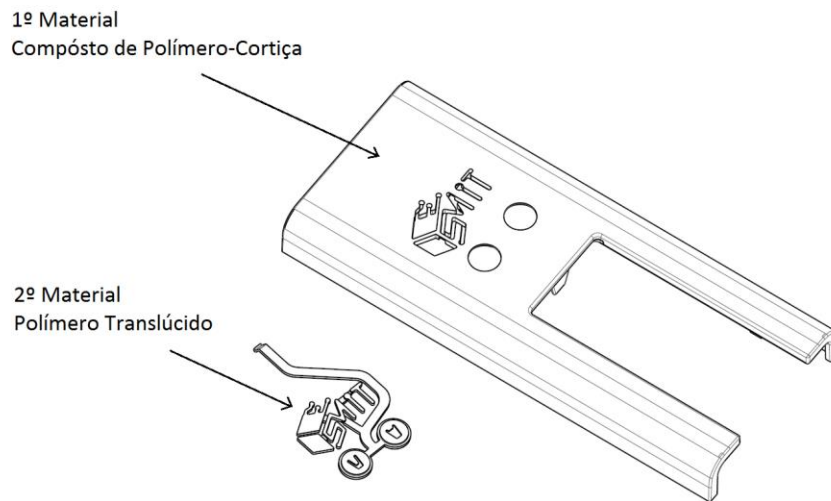


Figura 7- Primeira e segunda injeção.

Esta peça foi alvo de pequenas alterações do seu design para responder a questões técnicas e económicas que foram surgindo ao longo do desenvolvimento do molde. Tais alterações podem ser visualizadas no Anexo I.

3.1. MOLDE DESENVOLVIDO

O projeto do molde desenvolvido teve em consideração a injetora para o qual o molde foi projetado e também teve em consideração alguns requisitos definidos desde início. A injetora em questão é a Ferromatik Milacron K85 que pode ser visualizada na Figura 8. As características da injetora podem ser visualizadas no Anexo II.

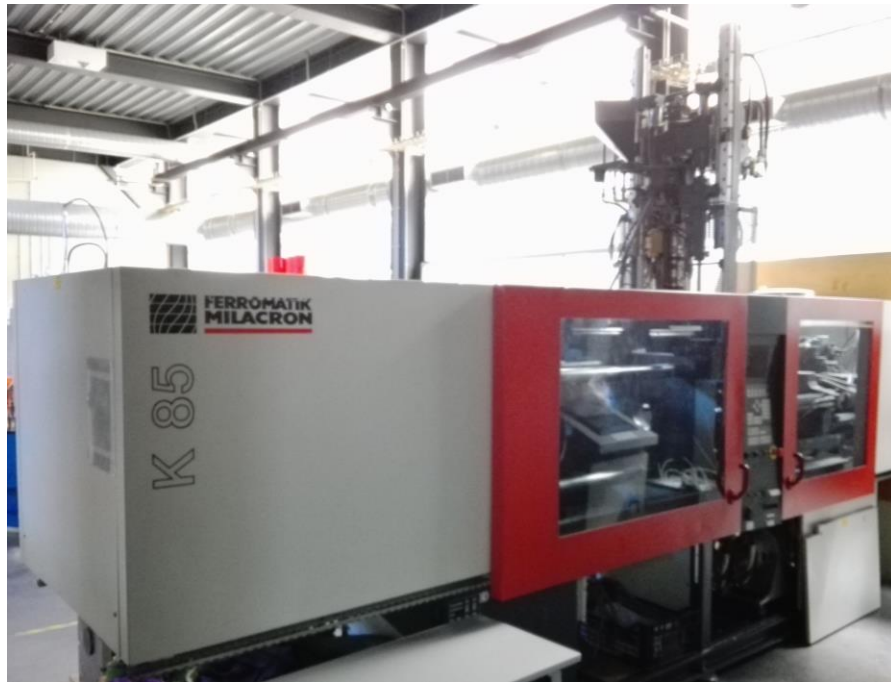


Figura 8- Injetora Ferromatik K85 para a qual o molde foi projetado.

Relativamente aos requisitos, por um lado deveria de estar preparado para a bi-injeção de material, onde o primeiro material a injetar seria um compósito de polímero-cortiça e o segundo material um polímero translúcido, por outro lado deveria de conter na sua conceção também uma solução que permitisse a injeção sobre películas decorativas e personalizáveis.

Na Figura 9, é possível visualizar o molde desenvolvido com algum detalhe.

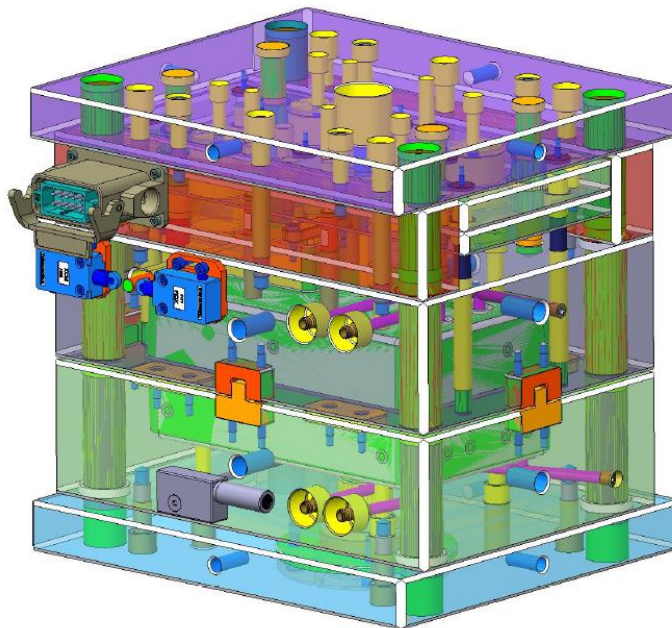


Figura 9- Molde desenvolvido completo.

Tendo em conta os requisitos mencionados anteriormente, pode-se verificar na Figura 10 que só se considerou uma cavidade e uma bucha, o que significa que está associado um movimento na bucha, acionado por um hidráulico localizado no topo do molde, que cria o espaço necessário para a segunda injeção. A introdução de películas decorativas é possível pela incorporação de um sistema de vácuo com a finalidade de segurar a película na cavidade do molde. Estes sistemas e mecanismos entre outros mais, serão explicados com maior detalhe nos subcapítulos que se seguem.

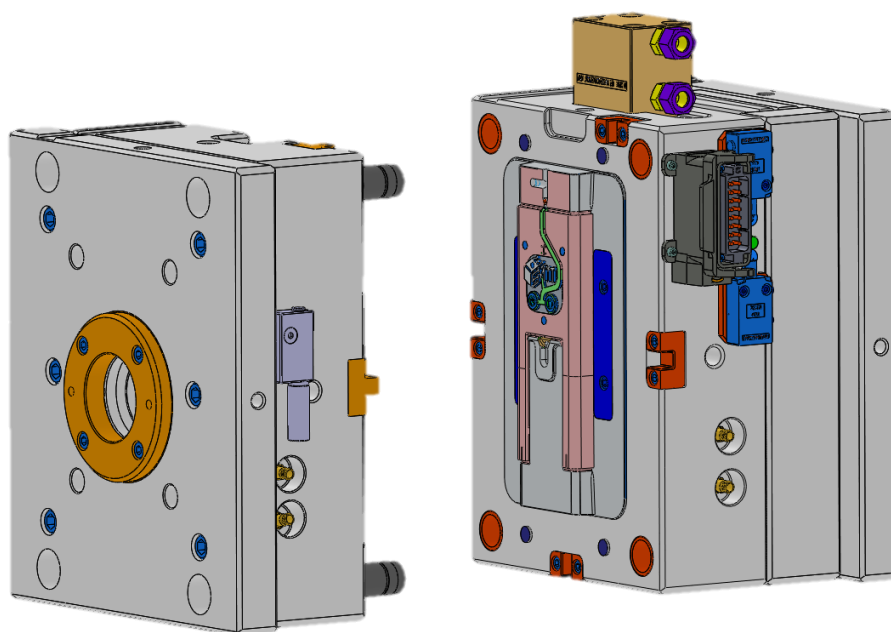


Figura 10- Parte fixa e móvel do molde respetivamente.

Relativamente às dimensões do molde desenvolvido é possível verificar as mesmas na Figura 11 onde se pode visualizar uma vista do molde que fornece essa mesma informação. No Anexo III é possível encontrar os desenhos 2D do molde em causa.

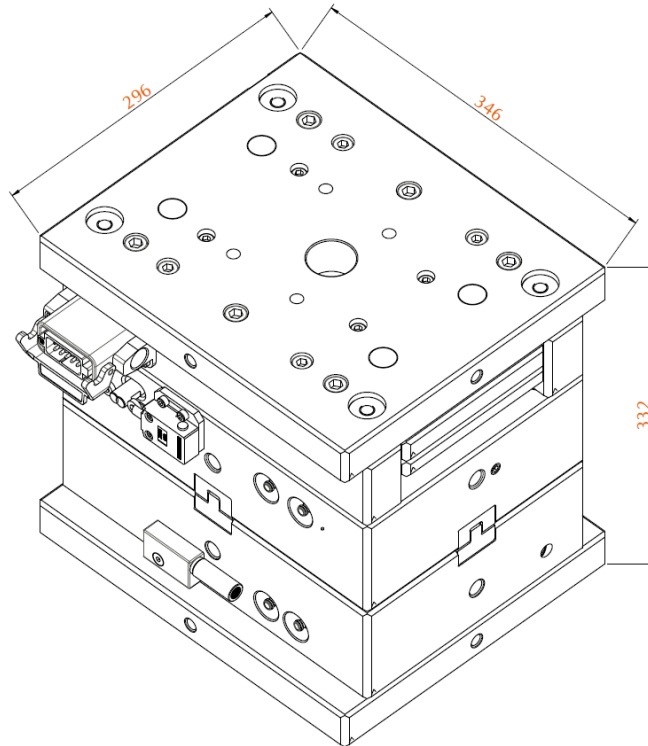


Figura 11- Dimensões gerais do molde.

Os diferentes tipos de aços aplicados em alguns dos constituintes mais relevantes do molde estão descritos na Tabela 2. No Anexo IV está disponibilizada a lista completa com todos os componentes do molde, quantidades, dimensões, entre outras informações pertinentes.

Tabela 2- Aços aplicados nos diversos constituintes do molde.

Descrição	Aço
Haste da barra extratora 90	1.1213
Chapa de aperto da injeção	1.1730
Chapa da cavidade	
Chapa da bucha	
Calços	
Chapa dos extratores	
Chapa de aperto dos extratores	
Chapa de aperto da extração	
Anel de centragem	
Barra de fecho	
Puxador cilindros	
Chapa de fixação dos <i>microswitch</i>	
Barra	
<i>Interlock</i> Macho	1.2080
Anel de ajuste do injetor	1.2343
<i>Interlock</i> fêmea	
Barra de deslize	
Postiço da bucha	
Barra p/ ajuste da cavidade	
Aro/ barra extratora	1.2738
Cavidade	
Bucha	

3.1.1. PARTE FIXA

O molde pode-se dividir em duas partes sendo uma delas a parte fixa e a outra a parte móvel. A parte fixa pode ser descrita como a parte do molde que, como o nome indica, está sempre na mesma posição nas diversas fases do ciclo de injeção. Esta possui essencialmente, entre outros constituintes que serão descritos de seguida, a cavidade, o anel de centragem, as guias, os injetores e o sistema de arrefecimento do lado fixo. Na Figura 12, está representada a parte fixa do molde em causa.

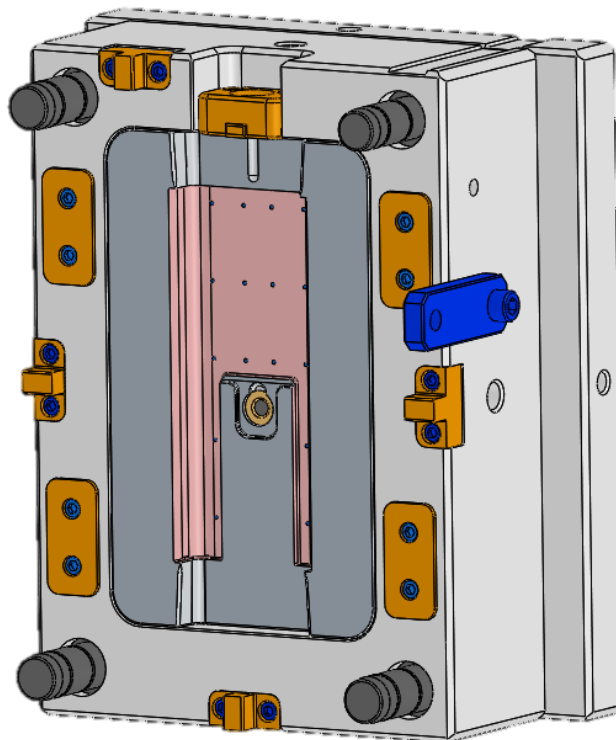


Figura 12- Parte fixa do molde desenvolvido.

Fazendo a vista explodida da parte fixa, Figura 13, é possível identificar os seguintes constituintes:

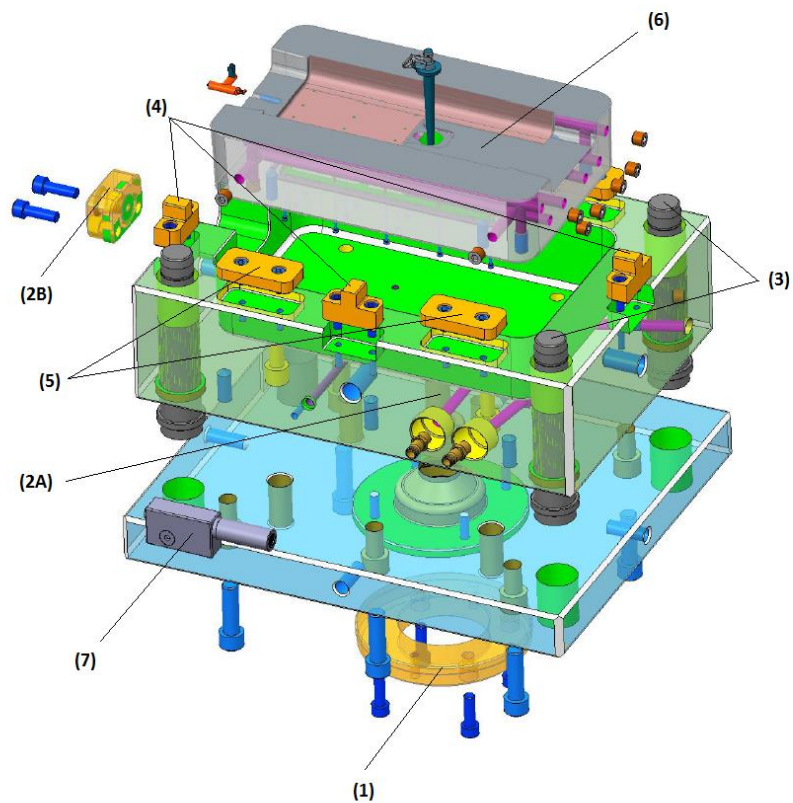


Figura 13- Vista explodida da parte fixa do molde.

- (1) Anel de centragem: o anel de centragem é responsável pelo centramento do molde na injetora. Deve possuir o mesmo diâmetro da injetora e altura suficiente para ficar devidamente ajustado. É sempre requerido do lado fixo, porém do lado móvel nem sempre é necessário. Na Figura 14 está indicado o posicionamento do anel de centragem do molde.

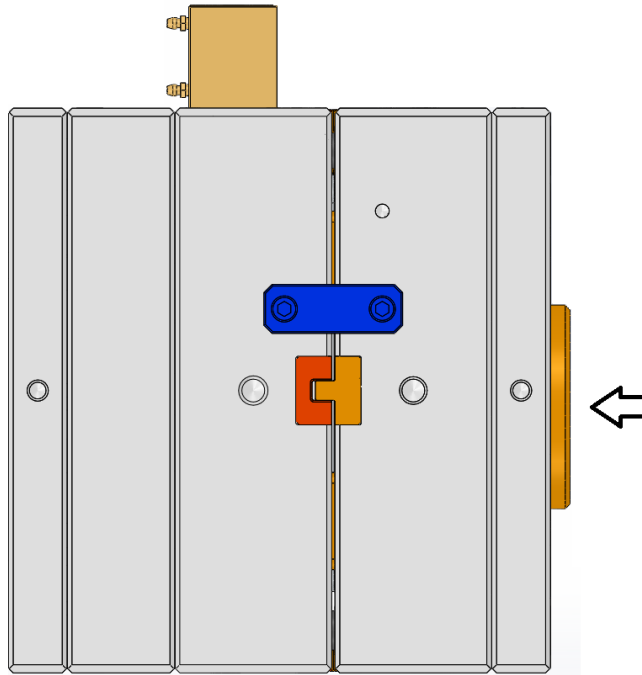


Figura 14- Posicionamento do anel de centragem do lado fixo.

- (2) **Injetores:** o injetor é o elemento onde normalmente é encostado o bico da unidade de injeção e faz ligação com os canais de alimentação por onde o material passa até chegar às zonas moldantes. Neste caso como se trata de um molde de bi-injeção, são requeridas duas injetoras (dispostas neste caso uma na horizontal e outra na vertical) o que significa que existem dois injetores no mesmo molde. Um deles, (2A), é um injetor típico em moldes de canais frios que contém um ângulo de saída para permitir a extração do jito aquando da peça, Figura 15.

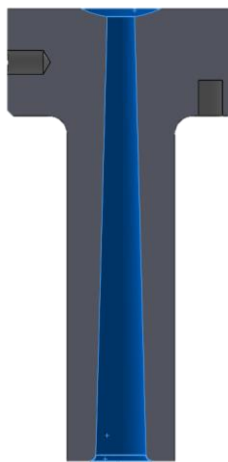


Figura 15- Injetor da unidade de injeção horizontal (2A).

O outro injetor, (2B), foi uma solução não convencional adaptada para que este funcione como uma espécie de um distribuidor. Como o espaço era limitado, colocar um distribuidor, por mais pequeno que fosse, era mais complicado e por isso utilizou-se a solução apresentada em (2B) e na Figura 16 de forma mais elucidativa. Teoricamente o funcionamento é simples: o bico da unidade vertical encosta na parte superior do injetor, enche a “câmara” (representada com os contornos azuis na Figura 16) com material e quando o elemento móvel retrai o material da “câmara” é injetado e consequentemente a “câmara” é enchida com novo material quando o elemento móvel volta à posição inicial. Isto requer um aquecimento prévio deste componente para evitar que o material solidifique no primeiro contacto do material com o injetor e assim permitir que o material flua sem grandes implicações.

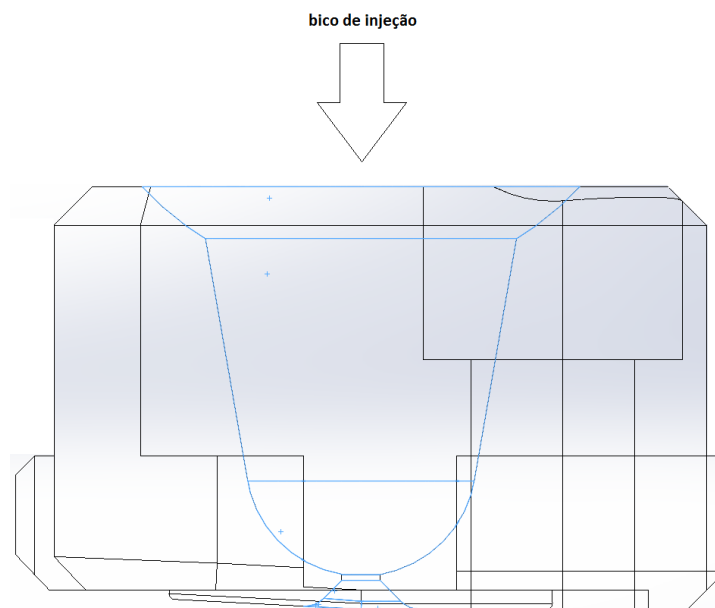


Figura 16- Injetor da segunda unidade de injeção (2B).

- (3) Guias do molde: as guias do molde tal como o nome indica, servem para guiar o molde tanto quando o molde abre assim como quando o molde fecha. Geralmente é constituído por quatro guias principais onde uma delas tem um diâmetro ligeiramente inferior para evitar a incorreta montagem do molde. Na Figura 17 é possível verificar as guias do molde em maior destaque.

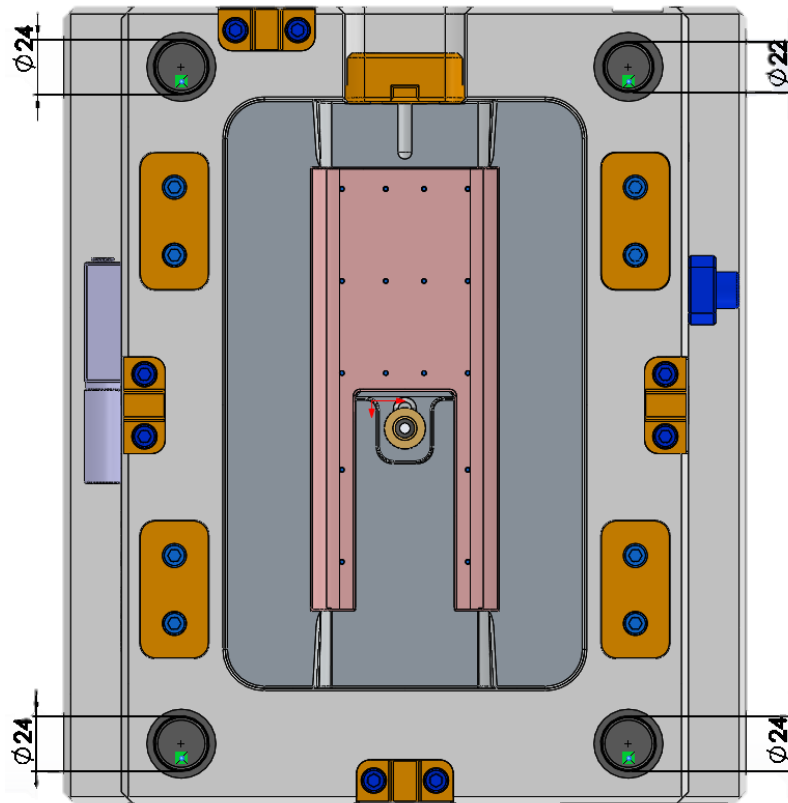


Figura 17- Dimensões das guias principais do molde.

- (4) Interlocks: os *interlocks* servem para ajustar o molde quando este abre e fecha, garantindo desta forma que o molde fica sempre na mesma posição evitando a ocorrência de eventuais folgas. São geralmente compostos por machos e fêmeas estando neste caso os machos localizados na parte fixa e as fêmeas na parte móvel. Na Figura 18 está representado um *interlock* macho.

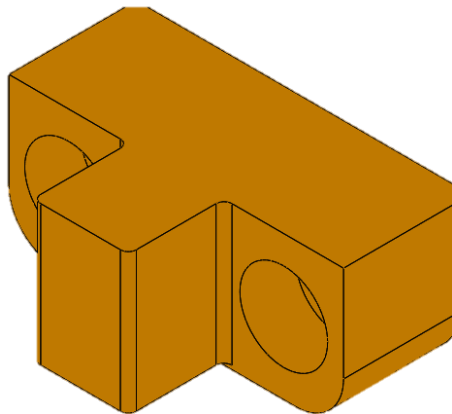


Figura 18- Representação de um *interlock* macho.

- (5) Batentes: Os batentes têm a função de “absorver” algum do impacto resultante principalmente do fecho do molde, evitando o impacto direto das placas fixa e móvel. A sua forma é bastante simples tal como se pode observar na Figura 19.

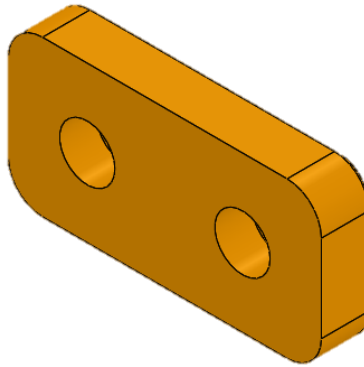


Figura 19- Representação de um batente.

- (6) Cavidade: a cavidade juntamente com a bucha, contêm a zona moldante a ser preenchida pelo material plástico. Neste caso em específico, a cavidade em causa apresenta um sistema de vácuo como foi mencionado anteriormente e um sistema de arrefecimento para permitir o arrefecimento da peça do molde. Na Figura 20 é possível visualizar a cavidade com o respetivo esquema do sistema de arrefecimento e sistema de vácuo. O sistema de arrefecimento é composto por um circuito independente que percorre toda a cavidade contendo um local de entrada e outro de saída e ambos são orientados para o lado oposto ao operador. O vácuo atua segundo o canal representado a verde e o seu funcionamento será detalhado de seguida.

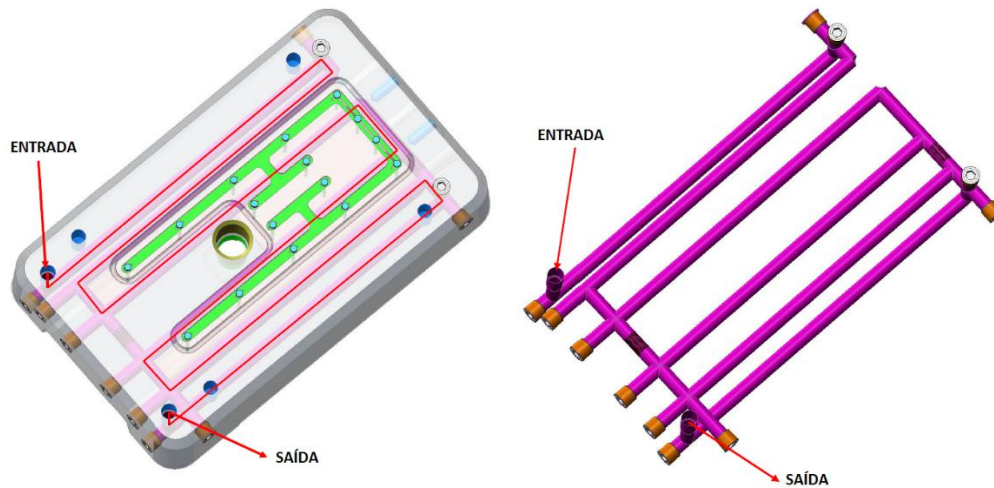


Figura 20- Sistema de arrefecimento e de vácuo da cavidade do molde.

- (7) Vácuo: o vácuo neste molde é responsável por fixar as folhas decorativas para aplicação da técnica *in-mould decoration*. Os dezasseis pequenos postigos que são possíveis verificar na cavidade servem precisamente para a atuação do vácuo e este só será aplicado aquando do uso das folhas decorativas. A atuação do vácuo dá-se pelas folgas existentes entre os furos representados na Figura 21 e os postigos que neles se encontram. Estes furos contêm todos o mesmo diâmetro, estão localizados de forma simétrica na peça para tentar garantir uma uniformização na fixação da folha decorativa e encontram-se vedados a toda à volta por um *o'ring*. Na posição (7) é possível verificar o elemento responsável pela atuação do vácuo.

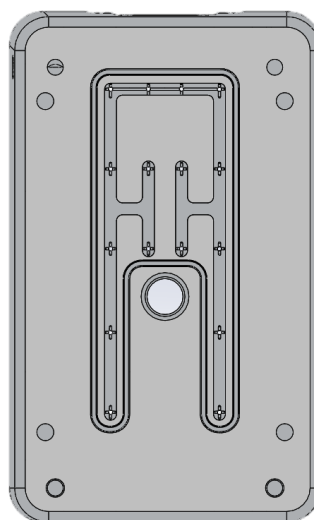


Figura 21- Sistema de vácuo existente na cavidade do molde.

3.1.2. PARTE MÓVEL

A parte móvel do molde, Figura 22, é a parte do molde que se movimenta para possibilitar a extração das peças. Apresenta-se como a parte mais complexa neste caso onde se insere o sistema de extração, que tal como o nome indica é o sistema responsável pela extração da peça do molde, é onde está contido o hidráulico que aciona o movimento dos elementos móveis, é onde está contida a ligação elétrica à máquina para efetuar o controlo de determinados parâmetros, entre outros constituintes e sistemas que serão descritos de seguida.

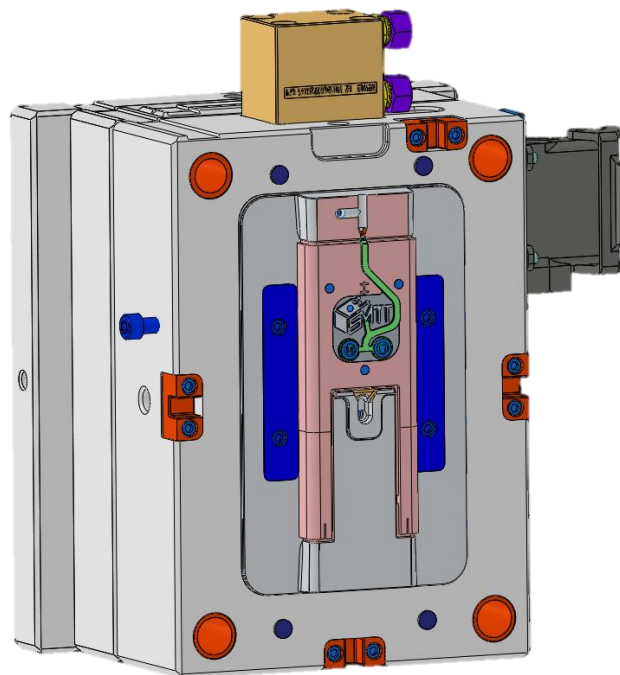


Figura 22- Parte móvel do molde desenvolvido.

Fazendo uma abordagem semelhante à parte fixa, é possível verificar na Figura 23 uma vista explodida da parte móvel onde é possível identificar os diferentes constituintes desta:

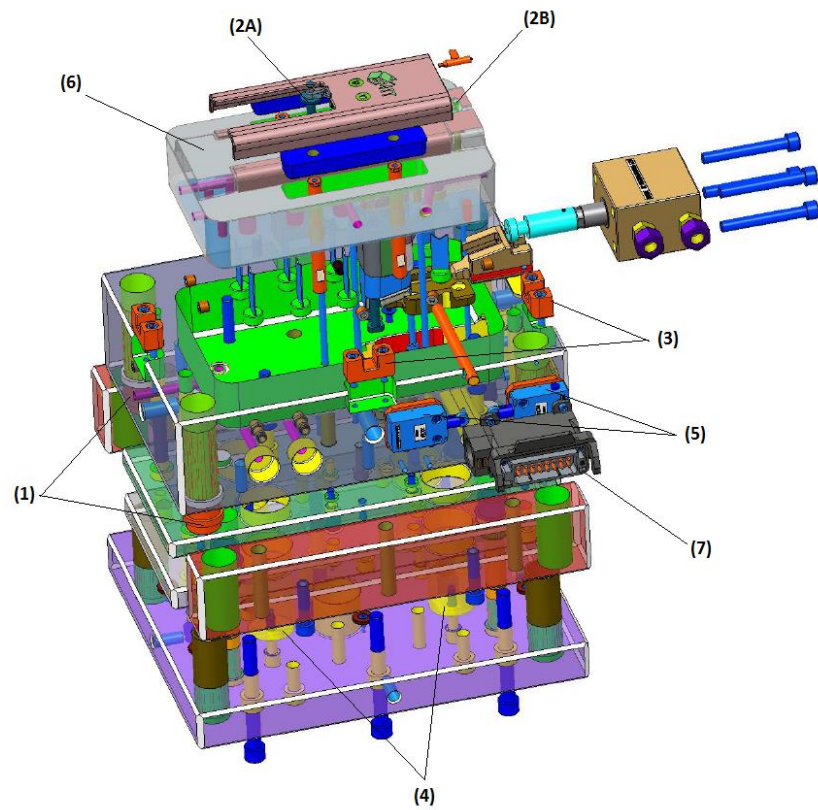


Figura 23- Vista explodida da parte móvel do molde.

- (1) Casquilhos: os casquilhos têm a função de minimizar o atrito proveniente do contacto das guias do molde nos movimentos de abertura e fecho. Na Figura 24 é possível verificar os casquilhos e os respetivos diâmetros.

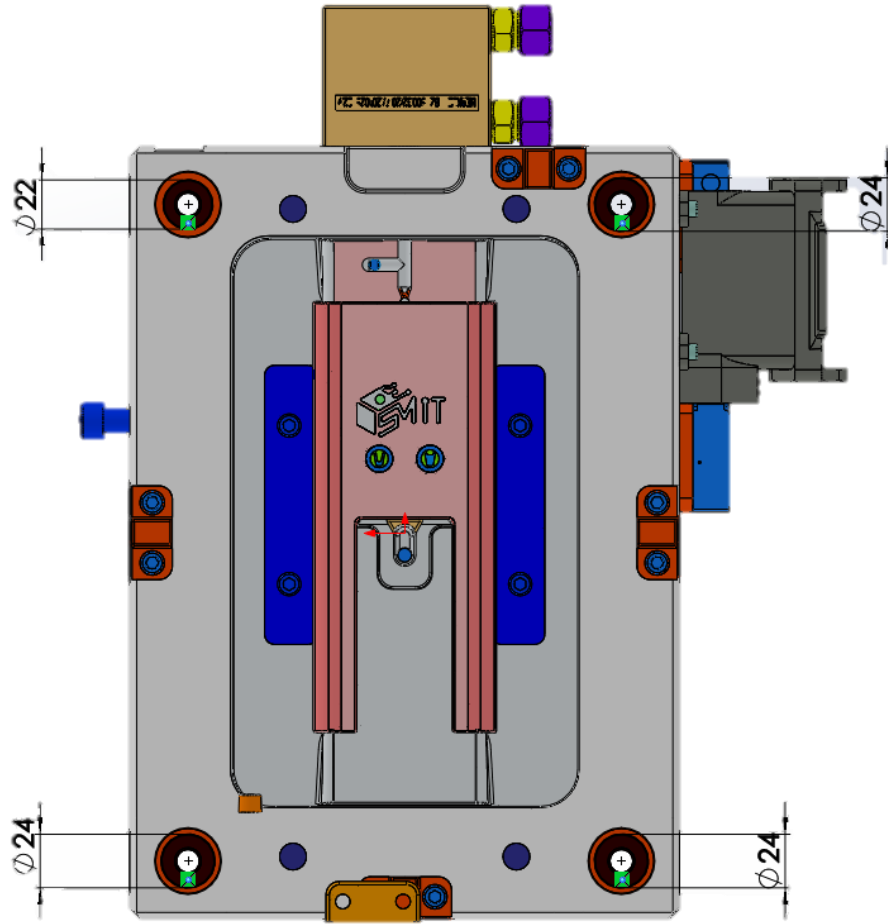


Figura 24- Dimensões dos casquilhos do molde.

- (2) Retentor do sistema de alimentação: o retentor do sistema de alimentação serve para garantir que o jito fica preso da parte móvel do molde. Em (2A) está representado um retentor cônico, representado também na Figura 25, que contém uma contra saída para garantir a prisão do jito da injeção horizontal do lado móvel que posteriormente é extraída por um extrator cilíndrico normal colocado precisamente nesse local.

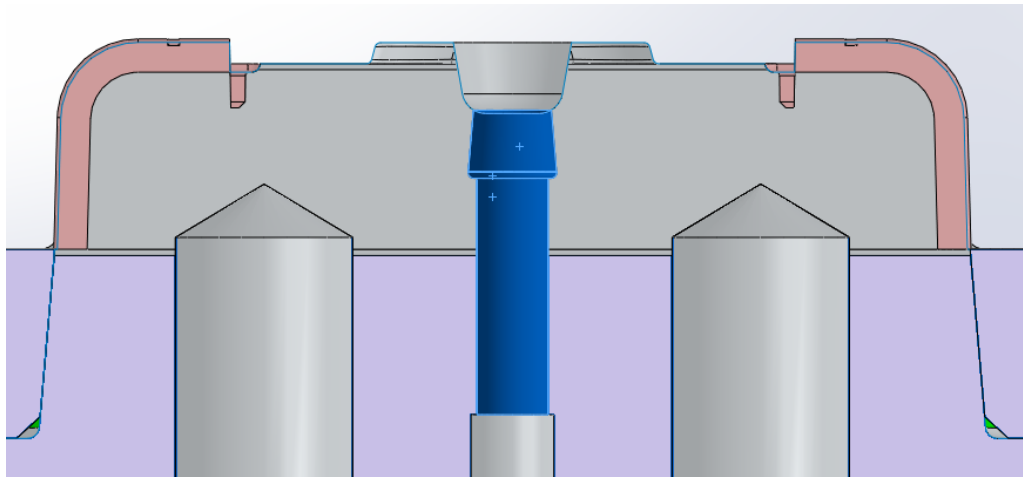


Figura 25- Retentor do sistema de injeção da unidade horizontal (2A).

Em (2B) foi criado um pequeno canal (devido a limitações de espaço) para permitir a colocação de um extrator especial com a forma evidenciada na Figura 26, onde é possível também verificar uma contra saída especialmente projetada para assegurar a prisão do jito do lado móvel.



Figura 26- Retentor do sistema de injeção da unidade vertical (2B).

Através destas soluções assegura-se que os jitos ficam retidos na parte móvel e possibilita a extração dos mesmos juntamente com a peça. Na Figura 27 que se segue está representado o posicionamento dos extratores previamente referidos.

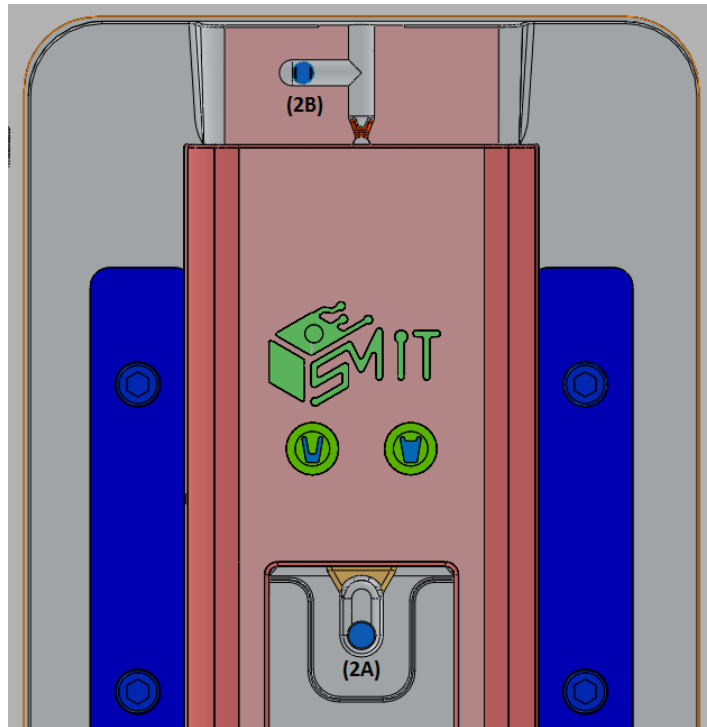


Figura 27- Posicionamento dos retentores do sistema de alimentação.

- (3) Interlocks: tal como referido anteriormente na parte fixa, os *interlocks* servem para ajustar o molde quando este abre e fecha, garantindo que o molde fica sempre na mesma posição. Neste caso estamos perante *interlocks* fêmea e é possível encontrar um em cada lado do molde. Na Figura 28 está representado um *interlock* fêmea.

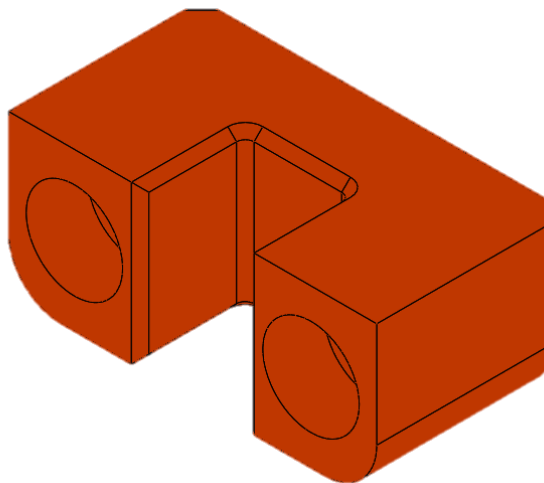


Figura 28- Representação de um *interlock* fêmea.

- (4) Suportes de apoio: os suportes de apoio servem como um elemento estrutural do molde para ajudar a suportar as altas pressões que ocorrem durante a injeção. Nem sempre se aplicam, porém, em moldes de média e alta produção, sujeitos a milhares de injeções, estes podem fazer toda a diferença ao aumentar a longevidade dos moldes. Ao aplicarem-se estes, devem ser colocados em número e tamanho tal que o espaço disponível para isso o permita. Na Figura 29 estão representados os suportes de apoio utilizados no molde em causa.

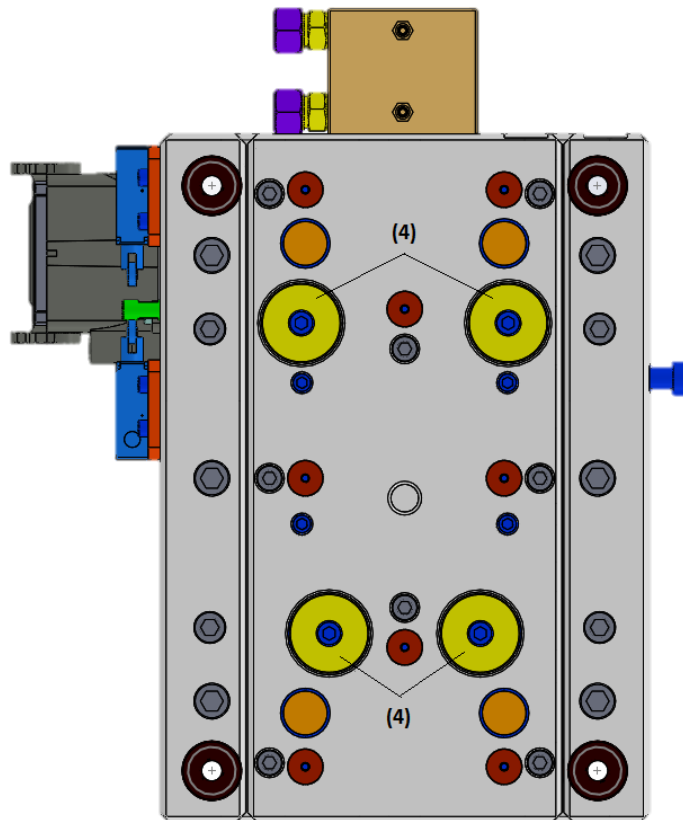


Figura 29- Suportes de apoio do molde.

- (5) Microswitchs: os *microswitchs* são sensores instalados em posições específicas com a função, neste caso em específico, de “indicar” o posicionamento do postigo móvel que será possível observar mais adiante. Estes estabelecem comunicação com a máquina e ajudam a controlar o bom funcionamento do processo. O postigo móvel ao avançar ou recuar vai acionar um dos dois sensores (através do toque de uma haste representada a verde na Figura 30 que se encontra acoplada ao postigo

móvel) colocados precisamente em posições chave e caso o sensor não faça a leitura correta devido a algum problema, a injetora interrompe imediatamente o processo. São componentes de extrema relevância que podem impedir que se danifique algum componente do molde e/ou da máquina. Na Figura 30 é possível verificar os dois *microswitch* existentes no molde.

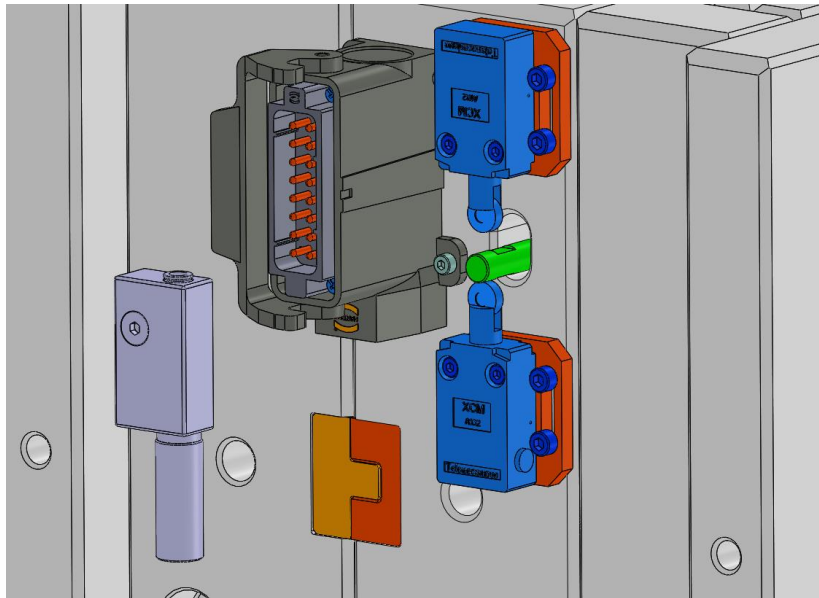


Figura 30- *Microswitch* existentes no molde representados a azul.

- (6) **Bucha:** conforme já foi referido anteriormente, a bucha juntamente com a cavidade compõe a zona moldante a ser preenchida pelo material plástico. Esta bucha em particular contém um postigo móvel que irá permitir a bi-injeção de material. Quando se dá a primeira injeção o postigo encontra-se na frente e só retrairá quando o arrefecimento dessa primeira injeção se consumir, criando desta forma o espaço necessário para a segunda injeção. O movimento deste postigo é possível pela atuação de um hidráulico como se pode ver na Figura 31. A utilização desta técnica é bastante vantajosa porque as operações de movimentação do postigo dão-se com o molde fechado reduzindo com isso ao tempo de ciclo em segundos preciosos.

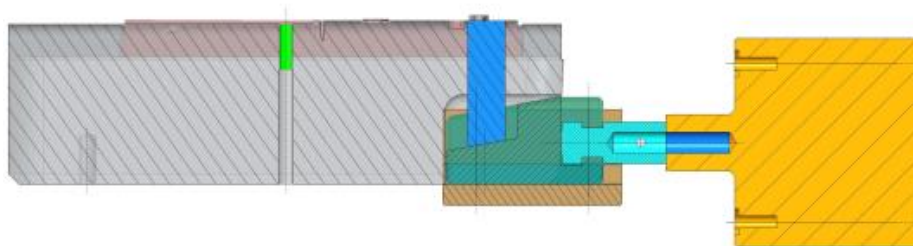


Figura 31- Bucha com o respetivo postigo móvel e hidráulico.

Tal como na cavidade, também a bucha contém um sistema de arrefecimento. Este sistema de arrefecimento é composto por um circuito independente que percorre toda a bucha no limiar das possibilidades, contendo uma entrada e uma saída como se pode verificar na Figura 32 assim como o respetivo esquema. Uma vez que o espaço disponível no molde o permite, o sistema de arrefecimento foi orientado também para o lado oposto ao operador.

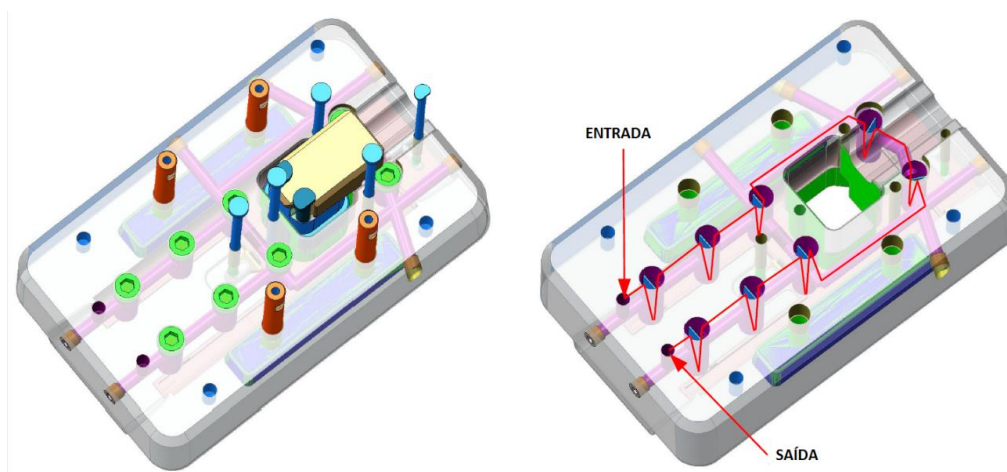


Figura 32- Sistema de arrefecimento da bucha.

Em total sintonia em termos de espaço com o sistema de arrefecimento está o sistema de extração representado na Figura 33. Este é bastante simples contendo duas barras extratoras e cinco extratores que avançam e recuam simultaneamente quando o sistema destinado a isso mesmo da máquina avança e recua respetivamente. Outro aspeto relevante é que os extratores e barras extratoras responsáveis por extrair a peça estão posicionados de forma simétrica na peça de forma a evitar empenos e outros defeitos que possam surgir na peça.

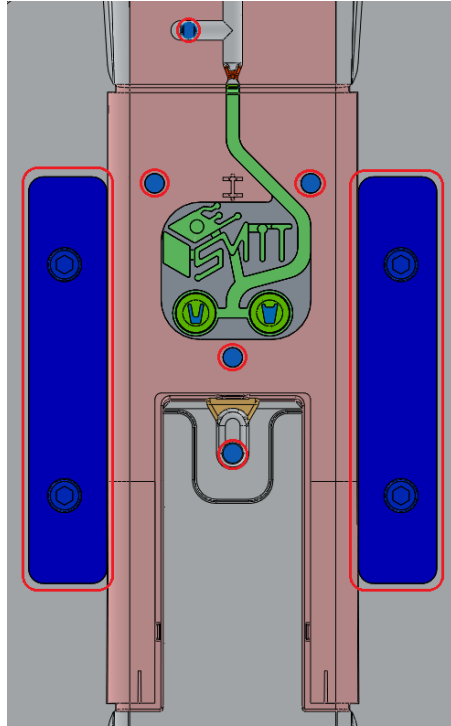


Figura 33- Sistema de extração do molde representado a vermelho.

- (7) Ficha elétrica: a ficha elétrica permite reunir todos os componentes elétricos do molde numa única ligação permitindo deste modo uma ligação simples e rápida de todos os componentes com a injetora. Na Figura 34 está representado a cinzento escuro a ficha elétrica do molde em causa.

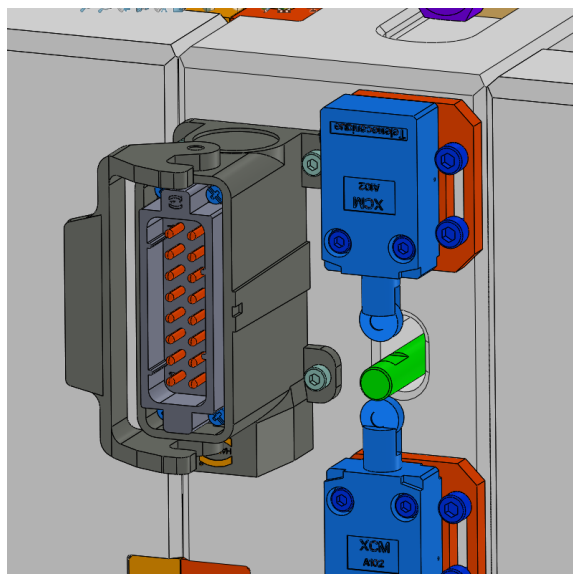


Figura 34- Representação da ficha elétrica do molde.

3.1.3. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Sendo o molde de bi-injeção, existe um sistema de alimentação correspondente a cada uma das duas injeções. Na Figura 32 está representado o jito da unidade de injeção horizontal com a peça que este forma. O ataque desta injeção foi propositadamente definido em forma de leque devido à injeção de compósitos de polímero-cortiça para facilitar o fluxo de material uma vez que as partículas de cortiça variam entre 0.5 e 1mm de diâmetro.

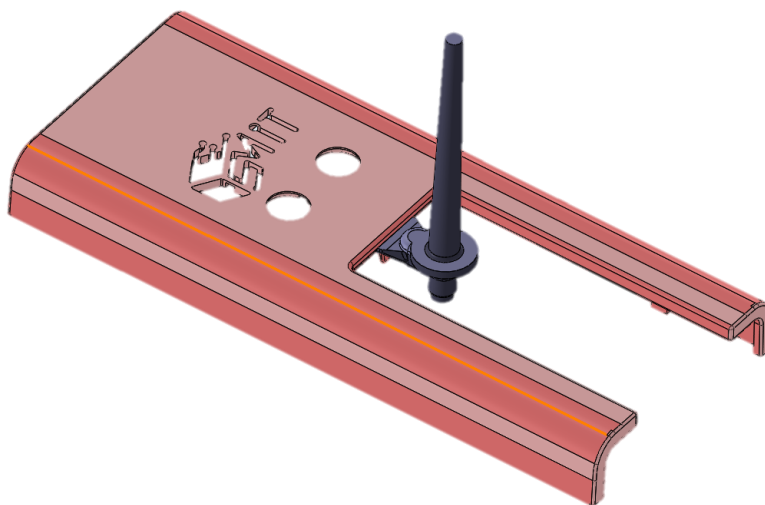


Figura 35- Representação do jito com a peça resultante da primeira injeção.

Na Figura 36 está representado o jito da unidade de injeção vertical também com a peça que este forma. Uma vez que as paredes do canal que forma o logótipo e os botões são relativamente finas (4mm de largura por 1,5mm de altura) definiu-se por bem aplicar um ataque direto na peça para facilitar a separação do jito com a peça aquando da extração.

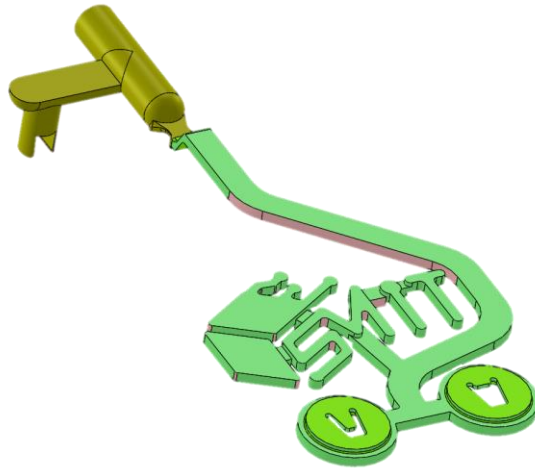


Figura 36- Representação do jito com a peça resultante da segunda injeção.

O resultado final pretendido deve ser o visualizado na Figura 37.

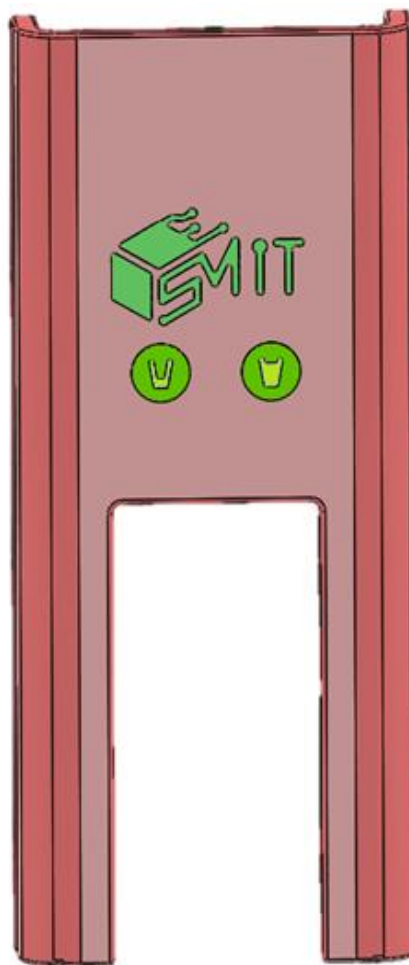


Figura 37- Resultado esperado de obter.

4. EXPERIMENTAL

4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Sendo um dos objetivos principais deste estudo a injeção de compósitos de polímero-cortiça com outros materiais poliméricos foi necessário realizar uma seleção dos materiais a utilizar entre os existentes no mercado. A seleção do material compósito a utilizar não colocou qualquer problema uma vez que a quantidade de grades disponíveis comercialmente era limitada e a escolha foi facilitada face aos requisitos da peça em questão. Porém a seleção do segundo material a injetar foi mais complexa pois estava limitada pela resistência à temperatura do compósito de polímero-cortiça (máxima de 200 °C, acima desta temperatura ocorre a degradação da cortiça) e também devido a especificações da peça (ser translúcido e promover a adesão ao compósito de polímero-cortiça). A diferença de temperaturas de processamento entre o primeiro e o segundo material não deve ser superior a 50 °C para evitar a degradação de um dos materiais.

Um outro material que foi estudado foi o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) por se tratar do material inicial em que era injetada a peça. Com a injeção de peças neste material espera-se efetuar comparações com as peças injetadas nos materiais em estudo e identificar eventuais vantagens face a este.

Por fim, foi estudada a integração de películas decorativas no processo de injeção, de modo a identificar se esta solução seria válida neste caso de estudo.

4.1.1. ACRILONITRILÓ-BUTADIENO-ESTIRENO (ABS)

O acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) conforme já referido é um dos materiais de estudo. Trata-se de um polímero amorfo produzido por polimerização por emulsão ou massa de acrilonitrilo e estireno na presença de polibutadieno. Possui como principais características a fluidez, a resistência térmica e a resistência ao impacto. Uma outra característica é a fraca resistência às intempéries sendo recomendado apenas para aplicações interiores [60].

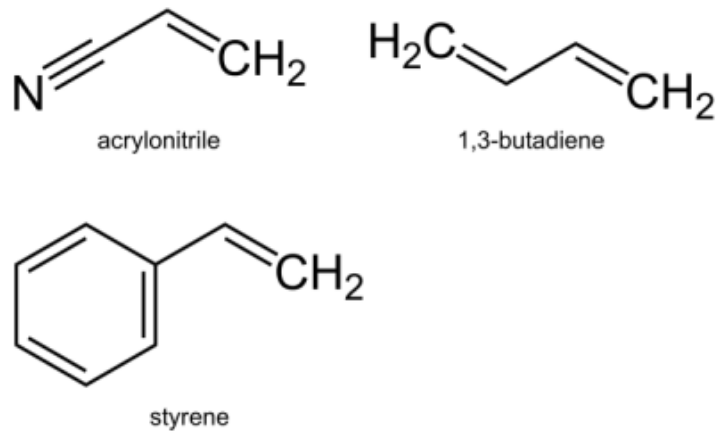


Figura 38- Fórmulas químicas dos monómeros de ABS [60].

Os monómeros de ABS representados na Figura 38 conferem propriedades distintas ao material que ao alterar as proporções e adicionar aditivos permite produzir *grades* com propriedades específicas. O monómero de acrilonitrilo confere rigidez, resistência química e térmica, o monómero de estireno confere boa processabilidade, já o monómero butadieno torna o produto resiliente a baixas temperaturas [60].

É um material geralmente utilizado numa gama de temperaturas de -20 °C a +80 °C, pode ser processado por moldação por injeção e extrusão e possui vastas aplicações tais como brinquedos, aplicações no ramo automóvel, aplicações em aparelhos domésticos, etc.

Na Figura 39 está representada uma pequena amostra do material alvo de estudo e a sua ficha técnica pode ser consultada no Anexo V.



Figura 39- Amostra do acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

4.1.2. COMPÓSITO DE POLÍMERO-CORTIÇA (CPC)

Os compósitos de cortiça-polímero são materiais promissores no que toca à inovação e desenvolvimento sustentável. Através da combinação de cortiça com matrizes poliméricas é possível obter materiais com propriedades muito melhores do que comparando com a cortiça por si só.

Um dos grandes desafios da produção de compósitos de cortiça está no grau de compatibilidade e de adesão entre a cortiça polar e o polímero não polar. Para colmatar essa dificuldade é necessário adicionar agentes compatibilizadores ou então fibras naturais e desse modo melhora-se significativamente as propriedades mecânicas do compósito. A aplicação dos compósitos de cortiça na moldação por injeção requer realizar a extrusão reativa da mistura polímero-cortiça e posteriormente são obtidos *pellets* de dimensão igual ou inferior a 5mm que se utilizam diretamente na moldação por injeção [9, 11, 40-43]. Na Figura 40 está um esquema representativo da extrusão reativa de compósitos de polímero-cortiça.

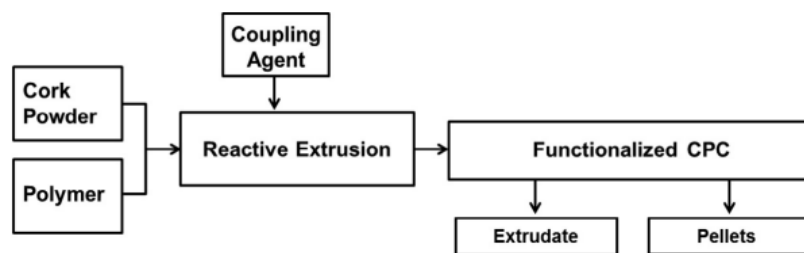


Figura 40- Esquema da extrusão reativa de compósitos de polímeros-cortiça [9].

Uma vez que os materiais a utilizar deveriam existir no mercado foi feita uma pesquisa para saber qual o fornecedor com *grades* comerciais de compósitos de polímero-cortiça. Verificou-se que a *Amorim Cork Composites* dispunha de diversos *grades* tal como se pode verificar na Figura 41.



Figura 41- Grades disponíveis comercialmente de compostos de polímero-cortiça.

Das várias amostras disponibilizadas e analisando cuidadosamente as respetivas fichas técnicas que podem ser consultadas no Anexo VI, optou-se por selecionar CPC-PE10 devido às suas propriedades serem as mais adequadas para a aplicação requerida em causa. Trata-se de um material composto com polietileno e alta concentração de cortiça, processável por injeção, com bom MFI e que permite obter peças rígidas. Na Figura 42 está representado o material compósito alvo de estudo.



Figura 42- Amostra do compósito de polímero-cortiça.

4.1.3. POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (LDPE)

O polietileno é constituído basicamente por carbono e hidrogénio, Figura 43, e trata-se de um polímero semicristalino com características típicas tais como manter as propriedades abaixo de -50 °C, boas propriedades elétricas, resistência química elevada contra grande parte dos solventes comuns, não absorve água, etc. Pode ser produzido com diferentes densidades (polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno de baixa densidade linear (LLDPE)) levando a diferentes campos de aplicação. À medida que se aumenta a densidade e o grau de polimerização verifica-se o aumento da dureza, rigidez e máxima temperatura de operação assim como a diminuição da resistência ao impacto a baixas temperaturas (aumenta a temperatura de transição vítrea).

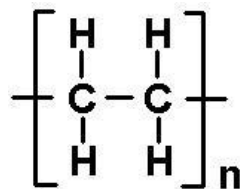


Figura 43- Estrutura química do polietileno (PE) [61].

O polietileno de baixa densidade (LDPE), Figura 44, caracteriza-se por ter moléculas bastante ramificadas que impedem o ordenamento rápido e eficaz durante a cristalização resultando em variações de percentagem de cristalinidade entre 40 e 65% [61]. Comparativamente com o polietileno de alta densidade (HDPE), este é mais flexível, tem maior viscosidade, maior resistência ao impacto e é translúcido. Por ser um polímero barato e de fácil processamento tem diversas aplicações tais como sacos, filmes industriais, tampas, caixotes, etc.

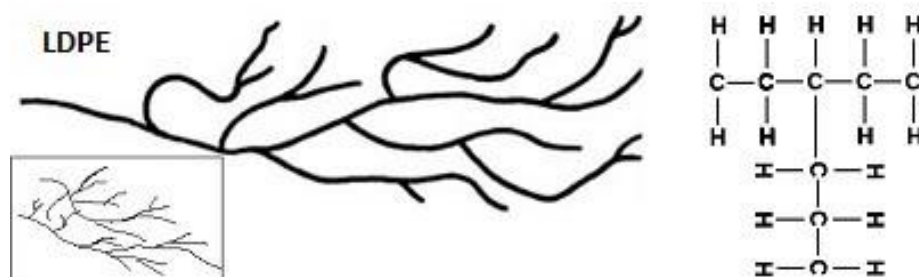


Figura 44- Estrutura molecular do LDPE. Adaptado de [61].

Na Figura 45 está representado o material alvo de estudo e a sua ficha técnica pode ser consultada no Anexo VII.



Figura 45- Amostra do polietileno de baixa densidade (LDPE).

4.1.4. COPOLÍMERO DE ACETATO-VINILO DE ETILENO (EVA)

O copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA) é um copolímero de etileno e acetato de vinilo. A percentagem varia geralmente entre 10 e 40% em peso de acetato de vinilo e o restante de etileno. O processo de síntese do copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA) pode ser observado na Figura 46.

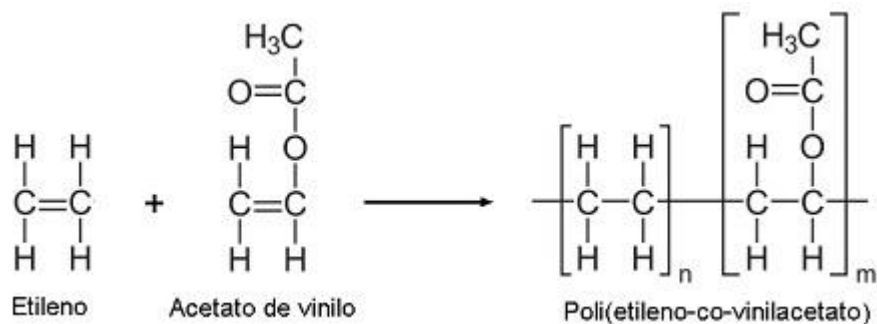


Figura 46- Síntese do copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA) [62].

Trata-se de um polímero que se assemelha a um elastómero, pelas suas propriedades, mas que pode ser processado como um termoplástico. É um material bastante flexível (cerca de três vezes mais que o polietileno de baixa densidade (LDPE)), possui resistência a baixas temperaturas, resistência à radiação ultravioleta, entre outras características.

Na Figura 47 encontra-se o material alvo de estudo e a sua ficha técnica pode ser consultada no Anexo VIII.



Figura 47- Amostra do copolímero de acetato-vinilo de etileno (EVA).

4.1.5. PELÍCULAS DECORATIVAS

As películas decorativas proporcionam uma flexibilidade enorme na decoração de peças, sendo possível obter peças a sair do molde com diferentes cores e texturas com relativa facilidade. A mudança de cor ou textura de uma peça apenas implica a alteração da película decorativa que esteja a ser usada enquanto que as ferramentas moldantes não requerem alterações.

Na Figura 48 encontra-se a película decorativa alvo de estudo.



Figura 48- Película decorativa alvo de estudo.

4.1.6. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS - RESUMO

Para a realização deste estudo foram utilizados os materiais descritos no capítulo anterior. Na Tabela 3 estão resumidos os materiais e as suas respectivas propriedades.

Tabela 3- Propriedades dos materiais alvo de estudo

	ABS	CPC	EVA	LDPE
Nome comercial	<i>Terluran GP-35</i>	<i>CPC-PE10</i>	<i>Alcudia PA-538</i>	<i>Alcudia 2322M</i>
Massa Volúmica (kg/m³)	1040	940	937	923
Gama de Temperatura de processamento (°C)	220-260	150-170	140-200	180-230
Índice de fluidez (g/10min)	34	26	2	22
Módulo de elasticidade (MPa)	2300	_*	_*	_*
Tensão de cedência (MPa)	44	_*	_*	_*
Deformação de cedência (%)	2,4	_*	_*	_*
Tensão à rotura (MPa)	_*	11	17	9
Deformação à rotura (%)	> 15	16	750	375

*valor não disponível na ficha técnica do material.

4.2. PROCESSAMENTO

Todos os materiais alvos de estudo foram processados por moldação por injeção para se obter a peça pretendida. Tanto o material ABS como o CPC foram processados na unidade de injeção principal da injetora (unidade horizontal), já o LDPE e o EVA foram processados na unidade de injeção secundária (unidade vertical). O processamento seguiu um plano pré-estipulado demonstrado no fluxograma seguinte:



Figura 49- Fluxograma com o plano de injeções estipulado.

O processo de moldação por injeção requer, antes de se efetuarem quaisquer injeções, a elaboração de determinados procedimentos essenciais. Em primeiro lugar deve-se efetuar a montagem do molde e o ajuste do molde na injetora (é definido o curso de abertura, o curso de extração, o número de extrações, a velocidade de abertura, etc.). Após este procedimento básico deve-se purgar o material residual existente nas unidades de injeção e de seguida define-se o perfil de temperaturas correspondente ao material que se pretende injetar. De seguida, aguarda-se o tempo necessário para que o perfil de temperaturas seja atingido (é um procedimento que se deve adotar sempre que se dá o arranque da máquina e sempre que se pretenda mudar de material). Somente após efetuar estes procedimentos é possível injetar peças.

Para o processo de injeção foi seguido o plano de injeções referido na Figura 49 que consistiu inicialmente em injetar peças unicamente em ABS e posteriormente em CPC e, numa

fase posterior, consistiu na injeção de bi-material onde aí foram injetados CPC com LDPE e também CPC com EVA. Por fim, foi testada a aplicação de películas decorativas no molde. As condições de processamento utilizadas em cada ensaio são apresentadas de seguida. Na Figura 50 é possível visualizar o molde montado na injetora.



(1)



(2)

Figura 50- Molde na injetora. (1)- Lado do operador; (2)- Lado oposto ao operador.

4.2.1. CONDIÇÕES DE PROCESSAMENTO

Conforme já referido anteriormente, o ABS foi processado na unidade de injeção principal da injetora (unidade horizontal). Este material previamente a ser processado foi sujeito a uma secagem de 4 horas numa estufa a 80 °C. Foram injetadas 35 peças onde as primeiras 5 peças obtidas foram descartadas. As 10 que se seguiram foram pesadas numa balança digital de modo a garantir a estabilidade do processo e a uniformidade das peças e, por fim, as restantes 20 peças obtidas foram utilizadas para os ensaios de caracterização.

O CPC foi também processado na unidade de injeção principal da injetora (unidade horizontal) e foi também sujeito a uma secagem de 4 horas numa estufa a 80°C e a metodologia adotada para o CPC foi a mesma do ABS. Foram injetadas 45 peças onde as primeiras 5 peças obtidas foram descartadas e as 10 seguintes pesadas numa balança digital. Por fim, as restantes 30 peças obtidas foram utilizadas para os ensaios de caracterização.

A bi-injeção de material no molde ocorreu sequencialmente, tendo sido injetado primeiramente o CPC e só depois o LDPE ou o EVA. O tempo de atraso aplicado entre injeções

foi de 10 segundos o que permitiu o arrefecimento/consolidação da primeira injeção antes da segunda injeção. Nenhum dos materiais destinado à segunda injeção foi sujeito ao processo prévio de secagem. Uma vez mais a metodologia utilizada foi a mesma dos casos anteriores, tendo sido injetadas 25 peças no total para o LDPE e 25 peças no total para o EVA. Na Tabela 4 estão representados os parâmetros de injeção utilizados para cada material.

Tabela 4- Parâmetros de injeção utilizados para cada material.

	ABS	CPC	LDPE	EVA
Perfil de Temperaturas (°C)	230-220-210-205-200-35 Bico → Tremonha	160-160-160-155-150-35 Bico → Tremonha	160-160-150-150-40 Bico → Tremonha	190-180-170-160-40 Bico → Tremonha
Temperatura do molde (°C)	50	50	50	50
Pressão de injeção (bar)	45	42	64	100
Pressão de comutação (bar)	170	170	185	185
Ponto de comutação (mm)	7,5	9	4	8
Curso de plastificação (mm)	47	44	16	18
Velocidade de injeção (mm/s)	50	60	50	70
Segunda pressão (bar)	20	10	25	40
Tempo de injeção (s)	0,94	0,73	0,58	0,3
Tempo de aplicação da segunda pressão (s)	5	5	3	3
Tempo de arrefecimento (s)	12	20	10	10

4.2.2. INJEÇÃO SOBRE PELÍCULAS DECORATIVAS

Após terem sido testados os materiais, foi testada a aplicação de películas decorativas no molde. Inicialmente dividiu-se o rolo em folhas retangulares de 22cm de comprimento por 15cm de largura e foi recortada manualmente a forma da peça conforme se pode verificar na Figura 51 (o recorte do logótipo e dos botões foi desconsiderada nesta fase).

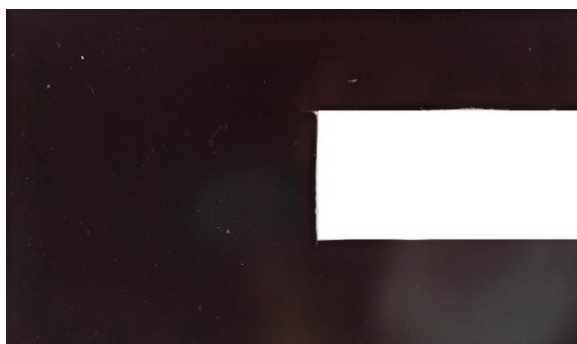


Figura 51- Recorte manual da película decorativa.

Após ser efetuado o recorte com a forma da peça foi acionado o sistema de vácuo do molde (com o molde aberto até se dar a primeira injeção) e foi introduzida a película decorativa recortada manualmente na cavidade do molde.

4.3. TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Para caracterizar algumas das propriedades térmicas, morfológicas e mecânicas dos materiais e das peças obtidas foram realizados diversos ensaios normalizados. Na Tabela 5 estão representados os ensaios realizados.

Tabela 5- Técnicas de caracterização utilizadas.

Propriedades	Técnicas de caracterização
Propriedades térmicas	MFI
	DSC
Propriedades morfológicas	Microscopia ótica
Propriedades mecânicas	Ensaio de tração
	Ensaio de impacto

4.3.1. MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI)

A medição do índice de fluidez (MFI) dá informação relativamente à facilidade com que flui um polímero fundido. Esta técnica pode ser definida como a massa de polímero, em gramas, que passa durante dez minutos numa fieira normalizada, quando lhe é aplicada uma pressão pré-definida a uma determinada temperatura [52]. Na Figura 52 encontra-se representado uma imagem representativa da técnica.

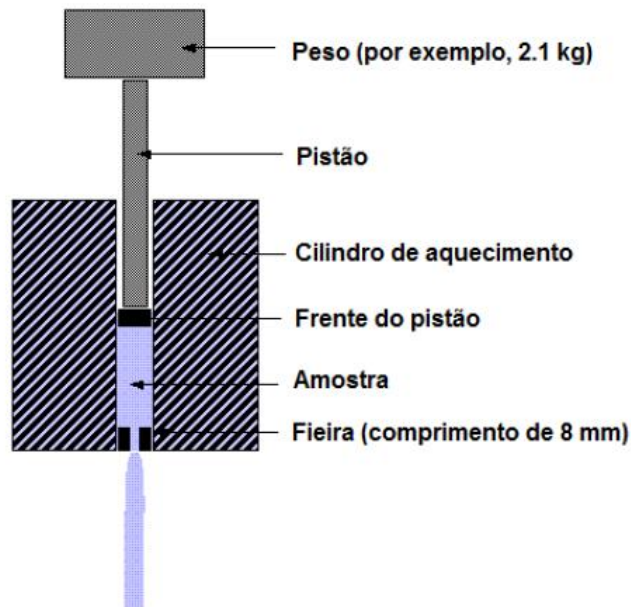


Figura 52- Imagem representativa da técnica MFI [52].

O ensaio consiste em medir a massa de polímero, em gramas, que passa durante um intervalo de tempo que se considere adequado, em segundos, através de uma feira normalizada sob ação de um peso também ele normalizado onde no fim é feita uma extrapolação para o intervalo de dez minutos. O cálculo do índice de fluidez é feito pela equação seguinte:

$$MFI = \frac{600 \times m}{t} \text{ (g/10min)} \quad (1)$$

Onde: m corresponde à massa (g) e t corresponde ao tempo (s).

Consoante o valor do MFI seja elevado ou baixo, é possível identificar a técnica pelo qual o material deve ser processado, sendo que materiais com elevado valor de MFI são geralmente processados por moldação por injeção, já materiais com reduzido valor de MFI são geralmente processados por extrusão.

➤ PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de MFI foi realizado para todos os quatro materiais utilizados neste estudo. O procedimento inicial para realização deste ensaio consiste em definir a temperatura a que ocorrerá o ensaio e aguardar que a mesma estabilize. Na Tabela 6 estão representadas as temperaturas e a carga utilizada para cada material.

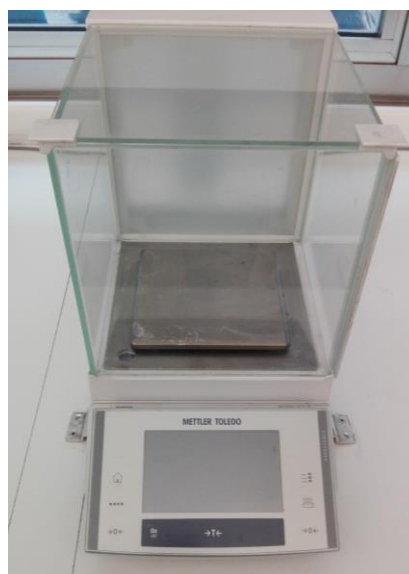
Tabela 6- Temperaturas utilizadas no ensaio.

	CPC	ABS	EVA	LDPE
Temperatura (°C)	170	220	220	190
Carga (kg)	2,16	10	2,16	2,16

Posteriormente a isso, coloca-se o material no depósito e introduz-se um pistão em cima do mesmo com um peso standard. Por fim, a atuação do peso fará com que o material flua na fieira do equipamento e aí, recolhem-se amostras em intervalos regulares. Essa amostras são pesadas e com isso permite calcular o índice de fluidez do material. O ensaio foi realizado segundo a norma ISO 1133:2011 e o equipamento principal utilizado no ensaio está representado na Figura 53.



(1)



(2)

Figura 53- Equipamento utilizado no ensaio de MFI. (1)- equipamento experimental; (2)- balança digital.

4.3.2. CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARRIMENTO (DSC)

A calorimetria diferencial de varrimento (DSC) é uma técnica calorimétrica que possibilita detetar a variação de temperatura entre uma amostra a analisar e um composto de referência quando ambos são sujeitos ao mesmo programa de temperaturas. É uma técnica geralmente aplicada em polímeros para determinar a temperatura de fusão e cristalização, entalpias de fusão e de cristalização, assim como determinar a temperatura de transição vítrea [53, 54].

As curvas obtidas num ensaio de DSC podem ser descritas como transições de primeira e de segunda ordem. As transições de primeira ordem apresentam variações de entalpia endotérmica (fusão, perda de massa da amostra, reações de redução, dessorção) ou exotérmica (cristalização, cura, oxidação, adsorção, degradação oxidativa, etc.) e dão origem à formação de picos. As transições de segunda ordem caracterizam-se pela variação de capacidade calorífica sem variações de entalpia, apresentando-se como um deslocamento da linha base. Neste tipo de transições são característicos fenómenos como a transição vítrea e relaxações de tensões térmicas da cadeia polimérica [55]. Na Figura 54 estão representadas curvas características de um ensaio DSC.

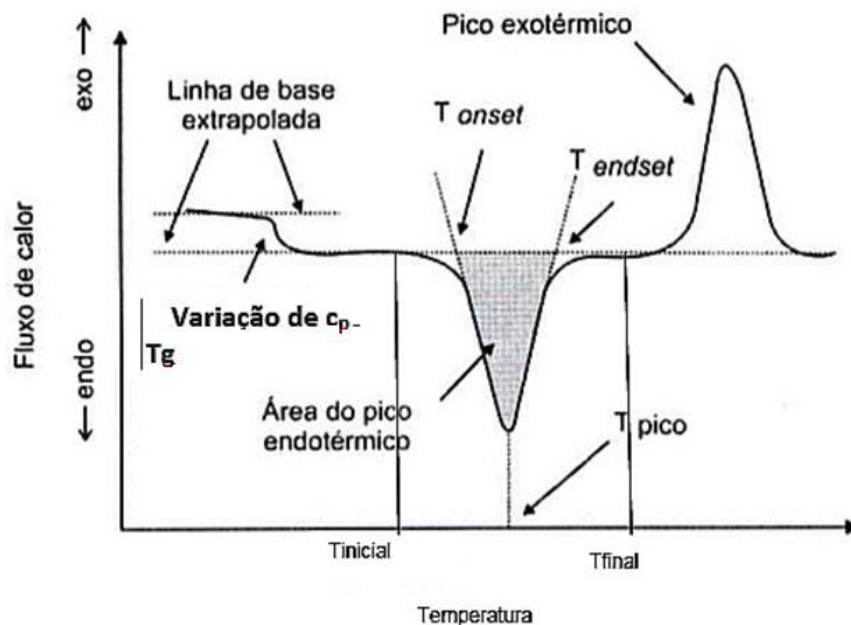


Figura 54- Exemplo de curvas obtidas num ensaio DSC [55].

Desta técnica podem-se verificar dois tipos de equipamentos: DSC por compensação de energia e DSC por fluxo de calor. No DSC por fluxo de calor é utilizado um único forno para aumentar a temperatura da amostra e da célula de referência. Podem ser observadas pequenas diferenças de temperatura, devido a efeitos exotérmicos ou endotérmicos na amostra, que são registradas em função da temperatura programada. No DSC por compensação de energia, Figura 55, existem duas células semelhantes, uma para a amostra e a outra para a referência. Tanto a amostra como a referência são aquecidas separadamente, num intervalo de temperatura e velocidade previamente definidas, onde as temperaturas são medidas com sensores independentes. Os dois fornos são mantidos à mesma temperatura, sendo por isso fornecidos fluxos caloríficos iguais. A medição efetuada por qualquer um dos equipamentos permite obter as mesmas grandezas físicas [53, 54].

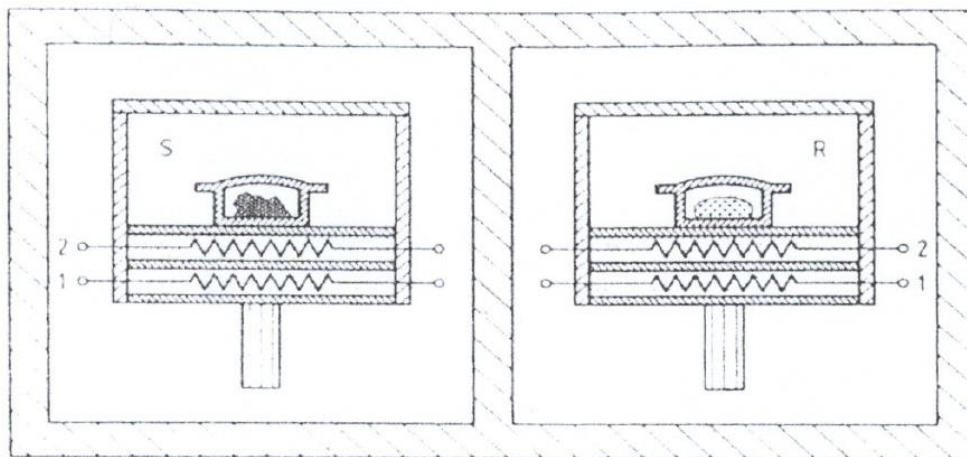


Figura 55- Representação da técnica DSC por compensação de energia. S- amostra; R- referência; 1- forno; 2- sensor de temperatura [53].

➤ PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de DSC foi realizado também para os quatro materiais deste estudo. O procedimento inicial para realizar o ensaio de DSC consiste em selecionar um grânulo de cada material e, em alguns casos esse mesmo grânulo tem de ser dividido em duas metades devido ao tamanho ser superior ao requerido. Após isso, as amostras alvo de estudo foram colocadas num cadinho e de seguida pesadas. De seguida, introduziu-se a amostra alvo de estudo e uma amostra de referência no equipamento, selecionou-se o perfil de temperaturas do ensaio e

deu-se início ao ensaio. Na Tabela 7 estão representadas as condições adotadas para cada material.

Tabela 7- Condições adotadas para cada material no ensaio de DSC.

	CPC	ABS	EVA	LDPE
Massa (mg)	5,5	13,6	8,7	7,4
Intervalo de varrimento (°C)	30 a 200	30 a 200	-20 a 220	30 a 200
Velocidade de varrimento (°C/min)	10	10	10	10

No final os resultados do ensaio foram exportados para o computador ligado ao equipamento e os resultados foram posteriormente processados. A realização do ensaio seguiu a norma ISO 11357 e o equipamento e algumas das ferramentas utilizadas neste ensaio estão demonstradas na Figura 56.



(1)



(2)



(3)

Figura 56- Equipamento de DSC e algumas ferramentas utilizadas para a realização do ensaio. (1)- prensa para fechar o cadinho com a amostra; (2)- balança digital para pesar a amostra; (3)- equipamento de DSC.

4.3.3. MICROSCOPIA ÓTICA

Para realizar a caracterização morfológica das peças injetadas recorreu-se à utilização das técnicas de microscopia de campo claro e de luz polarizada. Este tipo de microscopia permite observar a morfologia de um material processado, sendo capaz de revelar detalhes impossíveis de visualizar a olho nu tais como: verificar a dispersão de reforços na matriz polimérica, analisar a estrutura de peças injetadas, medir as dimensões de aglomerados, etc.

Na microscopia de campo claro um feixe luz passa através da amostra, fazendo com que a área observada seja bem iluminada, e posteriormente é captado pela objetiva do microscópio. A imagem obtida resulta do contraste gerado devido a alterações na absorção ou na difusão da luz nas zonas da amostra. Esta técnica permite caraterizar o grau de dispersão e a distribuição de pigmentos.

A microscopia de luz polarizada possui uma modificação simples do microscópio ótico, onde um filtro polarizante (o polarizador) está localizado entre a fonte de luz e o espécime, e um segundo polarizador (o analisador) está localizado entre a lente objetiva e a ocular. Estes filtros promovem a seleção de apenas um plano de direção de vibração de ondas luminosas denominado por plano da luz polarizada. Neste plano, os componentes macromoleculares birrefringentes (anisotrópicos) apresentam brilho colorido ou não, promovendo deste modo um realce destes materiais em detrimento a outros não birrefringentes (isotrópicos), que se distinguem em fundo escuro. Esta técnica permite estudar a estrutura cristalina de materiais semicristalinos. Na Figura 57 encontram-se exemplos de imagens captadas por microscopia de campo claro e microscopia de luz polarizada de uma amostra de moldação rotacional de PE com pigmento nucleante.

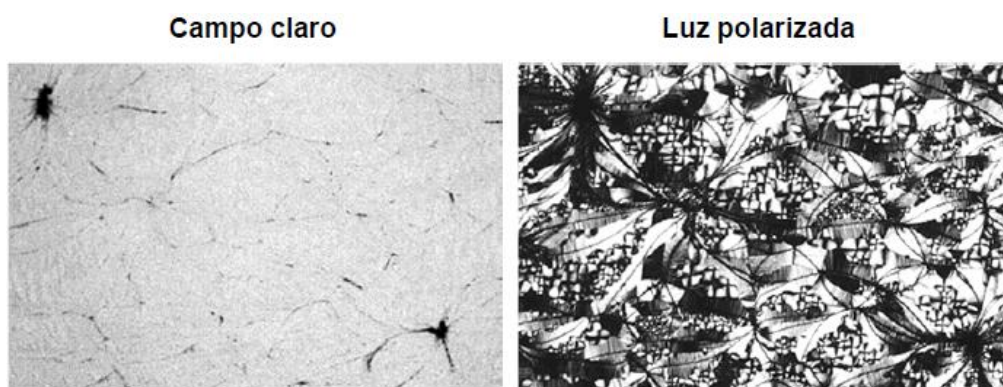


Figura 57- Exemplos de imagens captadas por microscopia de campo claro e microscopia de luz polarizada [56].

➤ PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de microscopia ótica foi realizado a peças bi-injetadas de CPC e LDPE e CPC e EVA. A visualização de amostras no microscópio foi possível com a preparação de amostras feita previamente. Esta etapa consistiu essencialmente em cortar uma amostra pequena de uma peça bi-injetada com uma serra, numa zona em que fosse possível observar a interação entre os dois materiais. Após isso, colocou-se essa pequena amostra num micrótopo de modo a cortar uma secção com 15 μm de espessura. Essa secção foi então colocada entre uma lâmina e uma lamela envolvida em bálsamo, que nessas condições permitiu a observação da amostra a microscópio. Na Figura 58 estão representados algumas das ferramentas utilizadas para a preparação de amostras.

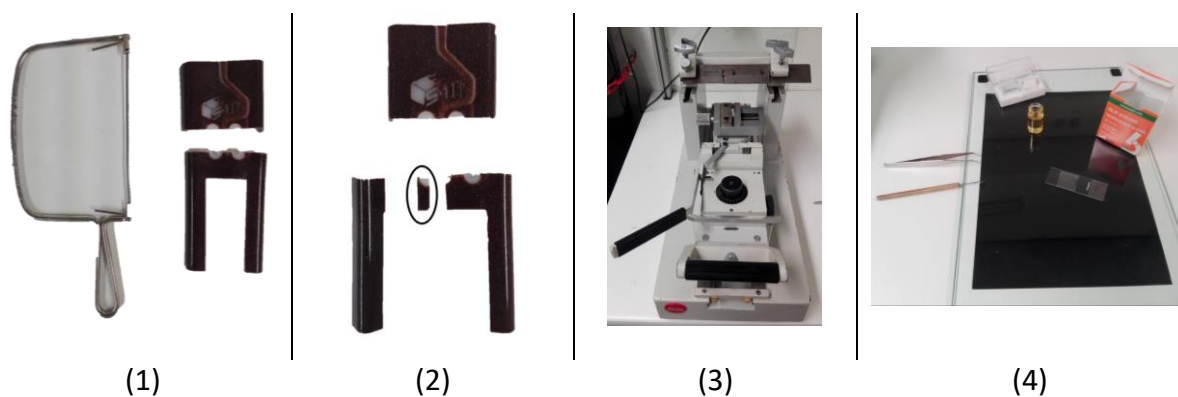


Figura 58- Ferramentas utilizadas para a preparação de amostras. (1)- corte de uma peça bi-injetada com uma serra de mão; (2)- pedaço de material que deu origem à amostra alvo de estudo; (3)- micrótopo utilizado para cortar a amostra; (4)- ferramentas utilizadas para colocar a amostra entre a lâmina e a lamela.

Foram estudadas duas amostras de cada material no microscópio representado na Figura 59.

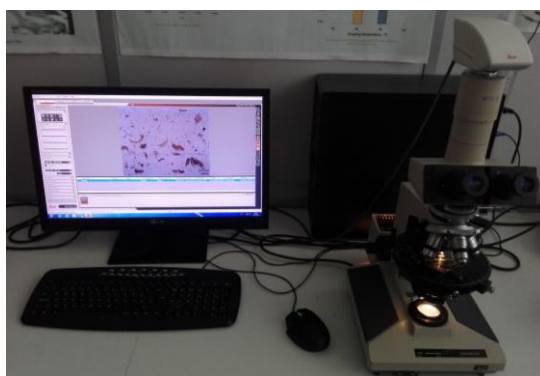


Figura 59- Microscópio utilizado para analisar as amostras.

4.3.4. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial nas extremidades de um corpo de prova normalizado que permite avaliar diversas características dos materiais como por exemplo o módulo de elasticidade, a tensão de cedência, a deformação de cedência, a tensão à rotura e a deformação à rotura. O corpo de prova é submetido a um esforço onde é aplicada uma carga gradativa e é registado cada valor de força correspondente a um diferente tipo de alongamento do material, terminando com a rutura do material. Trata-se de um ensaio padronizado onde é medida a variação no comprimento (l) como função da carga (F) aplicada. O resultado que se obtém de um ensaio de tração é registado na forma de gráfico ou diagrama relacionando a carga em função do alongamento [57, 58].

Devido às características carga-deformação serem dependentes do tamanho da amostra utiliza-se uma normalização da carga e do alongamento para minimizar os fatores geométricos.

A tensão nominal, σ , define-se pela relação:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Onde: F representa a carga instantânea numa direção perpendicular à seção reta da amostra e A_0 representa a área da seção reta original antes da aplicação da carga.

A deformação, ε , define-se pela relação:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Onde: l_i corresponde ao comprimento instantâneo, l_0 corresponde ao comprimento original da amostra antes da aplicação da carga e Δl corresponde à deformação no comprimento num dado instante.

Relativamente ao comportamento tensão-deformação, é possível apresentar uma proporcionalidade entre a tensão aplicada e a deformação observada:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

Ou,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot \Delta l} \text{ (GPa)} \quad (5)$$

Onde E corresponde ao módulo de elasticidade ou módulo de Young que indica a rigidez do material. Para materiais poliméricos os valores deste módulo podem variar de 0,007 a 4 GPa. Com o aumento da temperatura na grande maioria dos materiais, o módulo de elasticidade tem tendência a diminuir. A relação de proporcionalidade foi possível de obter pela analogia com a equação da elasticidade de uma mola ($F = k \cdot x$), sendo conhecida pela lei de Hooke [57].

Os dados obtidos através do ensaio de tração são convertidos para gráficos de tensão-deformação. Através da Figura 60 é possível destacar pontos importantes [58]:

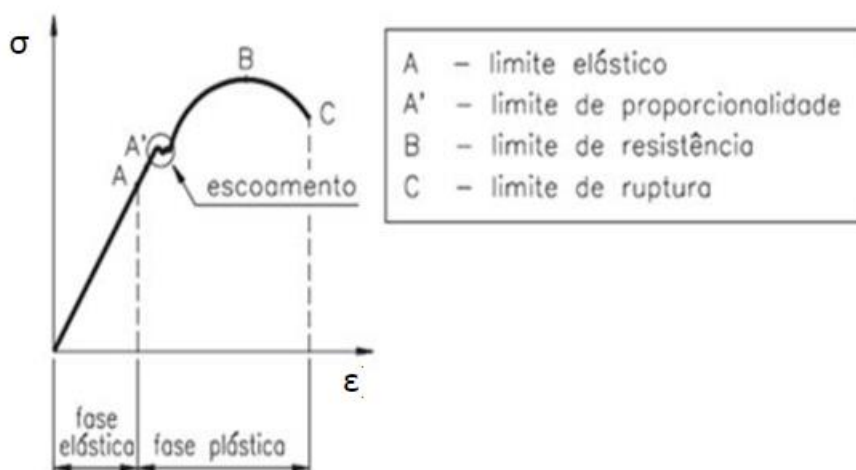


Figura 60- Representação esquemática um gráfico de tensão-deformação. Adaptado de [58].

- A fase plástica obedece à lei de Hooke, e é a fase onde o material recupera as suas dimensões originais após retirada da carga aplicada sobre o mesmo;
- O limite de proporcionalidade indicado com “A” refere-se ao limite no qual as tensões são diretamente proporcionais às deformações;
- O escoamento referenciado no gráfico dá início à deformação plástica que é o ponto a partir do qual o material já não consegue recuperar as dimensões originais após retirada da carga;
- O limite de resistência indicado em “B” indica a tensão máxima admissível pelo material sem que este se rompa. Este limite é possível de calcular pela seguinte fórmula:

$$LR = \frac{F_{m\acute{a}x}}{S_0} \quad (6)$$

Onde: $F_{m\acute{a}x}$ corresponde à carga máxima aplicada no material e S_0 corresponde à área da seção inicial do corpo de prova.

- Em “C”, limite de rotura, é o ponto onde o material fratura.

Uma outra propriedade mecânica relevante é a ductilidade que representa o grau de deformação plástica que o material suportou até à fratura. Um material que experimente uma deformação plástica muito pequena ou nula denomina-se de material frágil. Caso se verifique o contrário o material denomina-se de dúctil. Uma representação de um material frágil e dúctil pode ser observado na Figura 61:

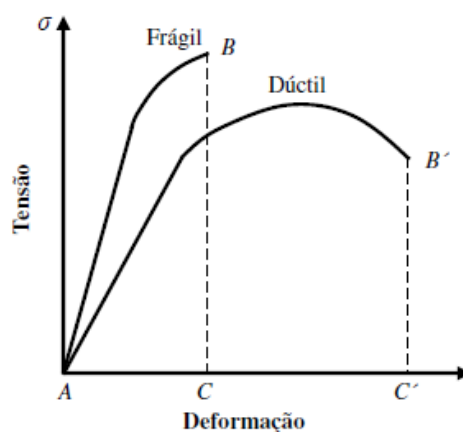


Figura 61- Representação do comportamento tensão-deformação em tração de materiais dúcteis e frágeis [57].

A ductilidade pode ser calculada pelo alongamento percentual e pela redução de área percentual [57].

No caso do alongamento percentual temos:

$$AL\% = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: l_f representa o comprimento da porção útil do corpo de prova no momento da fratura e l_0 o comprimento útil original.

Já no caso da redução da área percentual, também denominada estrição, temos:

$$RA\% = \left(\frac{A_f - A_0}{A_0} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Onde: A_0 representa a área original da seção reta transversal do corpo de prova e A_f a área da seção reta transversal no ponto de fratura.

➤ PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de tração foi realizado a peças de ABS e peças de CPC. Para proceder ao ensaio de tração foi necessário proceder previamente à preparação de amostras. A preparação de amostras consistiu inicialmente em cortar as paredes laterais com uma serra elétrica obtendo o resultado que se pode observar na Figura 62.

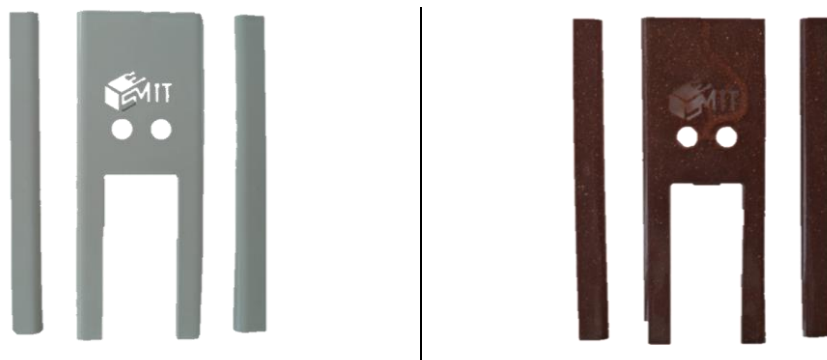


Figura 62- Peças cortadas com uma serra elétrica.

O passo seguinte passou por selecionar duas secções da peça, em direções perpendiculares, e efetuar o corte dos provetes com um cortante destinado a isso mesmo. O corte dos provetes deu-se com o auxílio de uma prensa hidráulica. Na Figura 63 estão representados alguns dos equipamentos utilizados para o corte dos provetes.

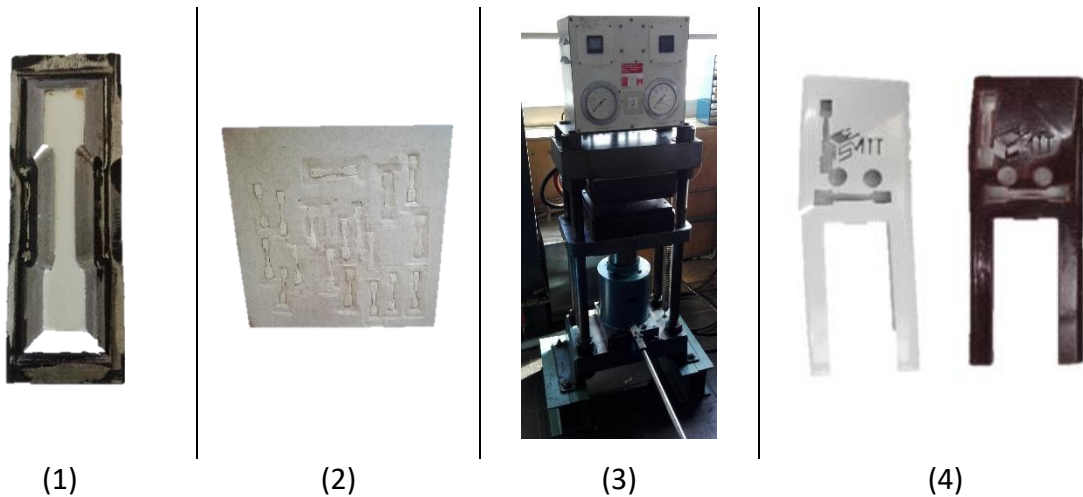


Figura 63- Ferramentas utilizadas para cortar os provetes e resultado final na peça. (1)- cortante; (2)- placa de madeira para não danificar o cortante; (3)- prensa hidráulica; (4)- aspeto final das peças cortadas.

Os provetes obtidos podem ser verificados na Figura 64. Cada provete obtido foi devidamente marcado e identificado e foi também medida a área transversal de cada um deles.

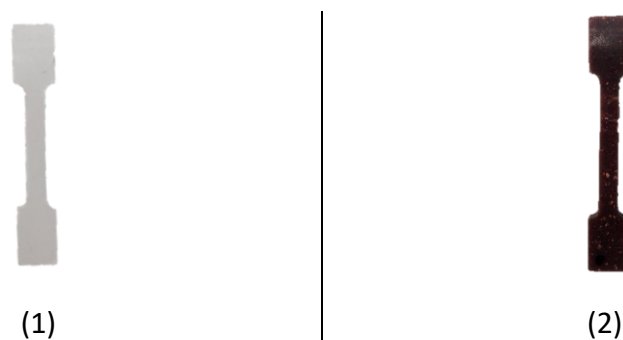


Figura 64- Provetes obtidos do corte na prensa hidráulica: (1)- provete de ABS; (2)- provete de CPC.

Após o corte dos provetes, definiram-se algumas condições essenciais para realizar o ensaio, nomeadamente a altura das amarras, a velocidade do teste (50mm/min) e a distância entre amarras (25 mm). De seguida foram introduzidos os provetes no equipamento e com as garras fechadas deu-se início ao ensaio, terminando este com a rotura dos provetes. Foram

ensaiados 5 provetes de cada material e, por fim os resultados do ensaio foram exportados para o computador conectado com o equipamento para serem posteriormente processados. A realização deste ensaio seguiu a norma ASTM 638-03 e o equipamento utilizado no ensaio está demonstrado na Figura 65.



Figura 65- Equipamento utilizado para realizar o ensaio de tração.

4.3.5. ENSAIO DE IMPACTO

O ensaio de impacto permite estudar os efeitos de cargas dinâmicas para análise da fratura frágil de materiais. Este consiste em medir a quantidade de energia absorvida por uma amostra do material, quando submetida à ação de um esforço de choque de valor conhecido. Contudo, não fornece informação segura sobre o comportamento de toda uma estrutura em condições de serviço. Deste ensaio é possível obter a energia absorvida pelo impacto, é possível estudar a contração lateral em cada lado do corpo de prova fraturado e é possível estudar a aparência da fratura [57, 59].

Os ensaios mais usuais são os de *Charpy* e *Izod* onde em ambos, o corpo de prova tem a forma de uma barra de seção transversal quadrada onde é realizado um entalhe. Na Figura 66 está ilustrado um equipamento de ensaio [57].

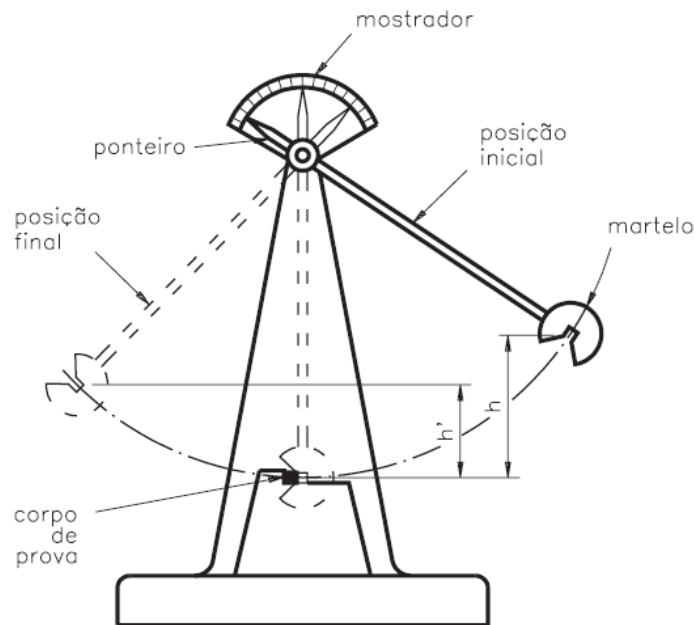


Figura 66- Ilustração de um equipamento utilizado em ensaios de impacto [59].

O funcionamento da técnica é bastante simples: em primeiro lugar um martelo pendular com massa conhecida é colocado numa posição padronizada a uma altura h . De seguida um corpo de prova padronizado é apoiado (*Charpy*) ou engastado (*Izod*) num suporte rígido. Após essas operações, o martelo pendular é libertado e a sua ponta choca com o corpo de prova e fratura-o no entalhe que atua como um concentrador de tensões. O martelo pendular após fraturar o corpo de prova continua com o seu movimento até atingir a posição final h' e é devido a estas diferenças de altura que é possível determinar a energia absorvida no impacto. Esta corresponde à diferença entre a energia potencial do martelo pendular na altura da queda e a energia potencial do martelo pendular na altura de rebote dada por [57, 59]:

$$E_{\text{impacto}} = m \cdot g \cdot (h - h') \quad (9)$$

Onde: E_{impacto} corresponde à energia em Joule (J), m corresponde à massa (kg), g corresponde à aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$) e onde h e h' corresponde à altura em metros (m) da posição inicial e final do martelo pendular respetivamente.

Os ensaios de *Charpy* e *Izod* diferem na forma como o corpo de prova é montado (horizontal-biapoiado ou vertical-engastado) e na localização do entalhe, Figura 67 [57].

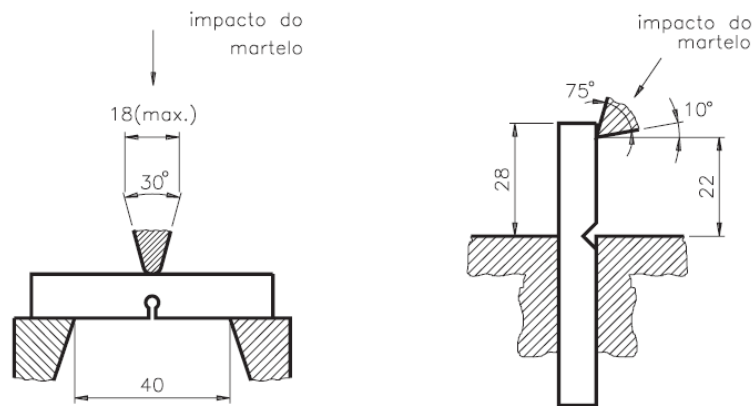


Figura 67- Diferenças entre o ensaio *Charpy* e *Izod* respectivamente (dimensões em milímetros) [59].

Os testes realizados por estes são influenciados pelo tamanho e forma do corpo de prova assim como pela configuração do entalhe e a sua principal função consiste em determinar se um material apresenta ou não uma transição dúctil-frágil com o decréscimo de temperatura. A energia de impacto, a temperaturas elevadas, é compatível com um modo de fratura dúctil e à medida que a temperatura diminui a energia de impacto baixa para um intervalo onde o modo de fratura é frágil [57].

Relativamente aos corpos de prova estes devem assumir as formas indicadas na Figura 68. As diferentes formas são necessárias para garantir a rutura do corpo de prova.

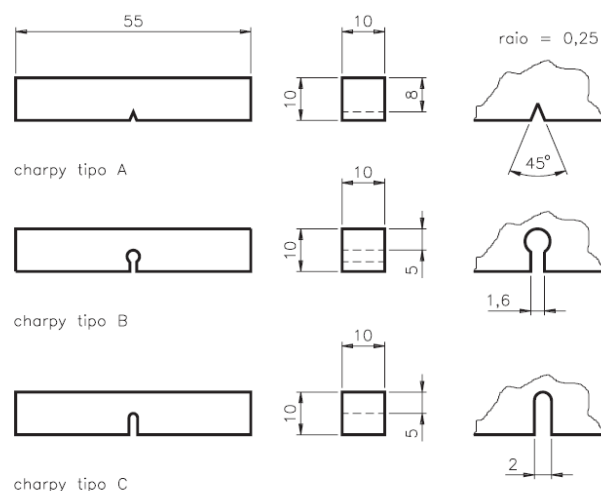


Figura 68- Corpos de prova para ensaios *Charpy* (dimensões em milímetros) [59].

O corpo de prova *Izod* tem a mesma forma de entalhe do *Charpy* tipo A, porém a localização do entalhe encontra-se numa posição diferente conforme pode ser visualizado na Figura 69.

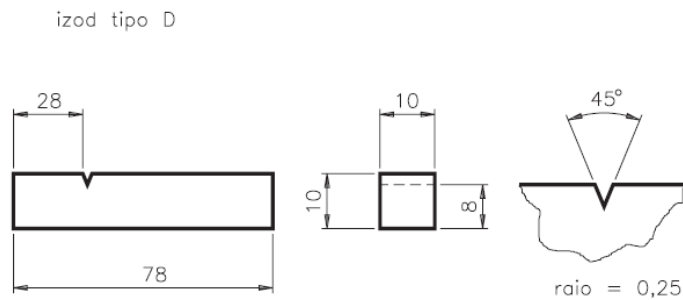


Figura 69- Corpo de prova para ensaios Izod (dimensões em milímetros) [59].

➤ PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de impacto foi realizado a peças de ABS e peças de CPC e para proceder ao ensaio foi necessário proceder previamente à preparação de amostras, que consistiu inicialmente também em cortar as paredes laterais da peça com uma serra elétrica (como realizado para o ensaio de tração).

Após o corte das paredes laterais, procedeu-se à marcação dos corpos de prova pretendidos nas paredes laterais cortadas com o auxílio de um corpo de prova modelo. De seguida, cortaram-se os corpos de prova novamente com a serra elétrica e, por fim, foi gravado um entalhe de 2,54mm nos corpos de prova obtidos através de um micrótopo. Na Figura 70 estão representados alguns dos equipamentos referidos e resultados obtidos.

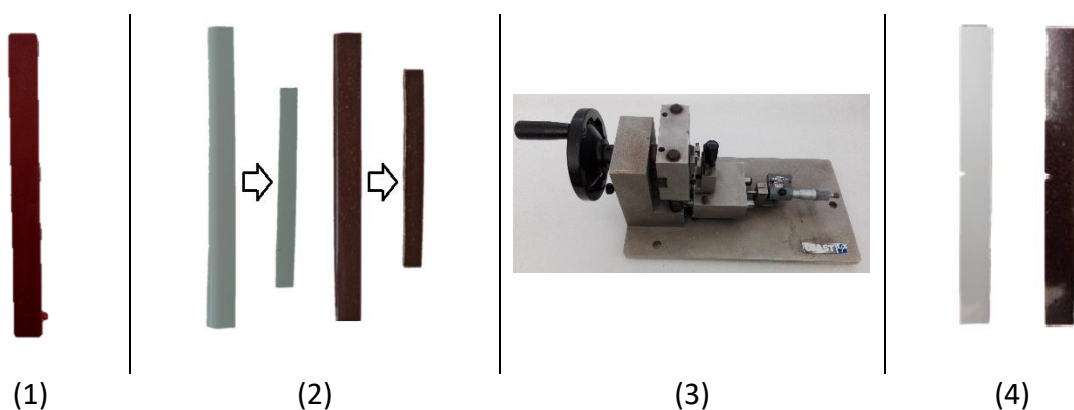


Figura 70- Equipamentos e resultados obtidos. (1)- corpo de prova de referência; (2)- resultado do corte das paredes laterais; (3)- micrótopo usado para gravar o entalhe; (4)- corpo de prova com entalhe a utilizar no ensaio.

Com os corpos de prova com entalhe procedeu-se à realização do ensaio. Foram testados 5 corpos de prova referentes a cada material e o procedimento experimental no equipamento passa por posicionar e apertar o corpo de prova no equipamento representado na Figura 71, posicionar o pêndulo de peso e altura conhecidas no devido local (conforme a Figura 71) e de seguida largar o pêndulo para que este embata e fracture o corpo de prova. Por fim anota-se a energia para quebrar o corpo de prova e o teste termina. Este ensaio foi efetuado segundo a norma ASTM D256-04, Teste A.

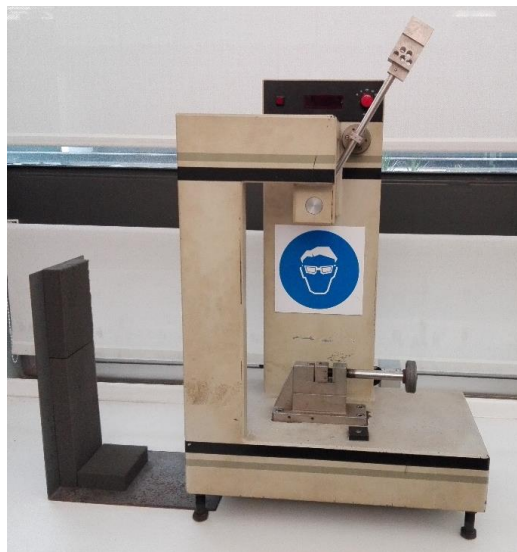


Figura 71- Equipamento utilizado para realizar o ensaio de impacto.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DA INJEÇÃO

Os resultados obtidos da injeção indicaram algumas falhas que requerem especial atenção conforme será explicado de seguida.

5.1.1. INJEÇÃO DE ABS

A injeção de peças em ABS revelou que o material ABS é um material indicado para produzir a peça em questão com as especificações requeridas, preenchendo toda a zona moldante sem problema algum e com boa qualidade, porém verificou-se a existência de alguns defeitos resultantes das soluções moldantes adotadas. Desses defeitos destacam-se a marca dos postigos introduzidos na cavidade para efetuar o vácuo e também é notório o canal desenvolvido para a injeção do segundo material na zona visível da peça. A marca dos extratores e do postigo móvel só se verifica na parte traseira da peça o que em si é previsível e não se considera um defeito nesta situação.

A marca dos postigos era algo espectável que podia ser “encoberto” posteriormente com a aplicação de películas decorativas. A visibilidade do canal que permitiria a segunda injeção na parte visível da peça não era um defeito esperado que resultou da diferença de espessuras existentes (1,5mm), porém também este poderia ser “encoberto” pelo uso de películas decorativas. Na Figura 72 estão representados os resultados obtidos.

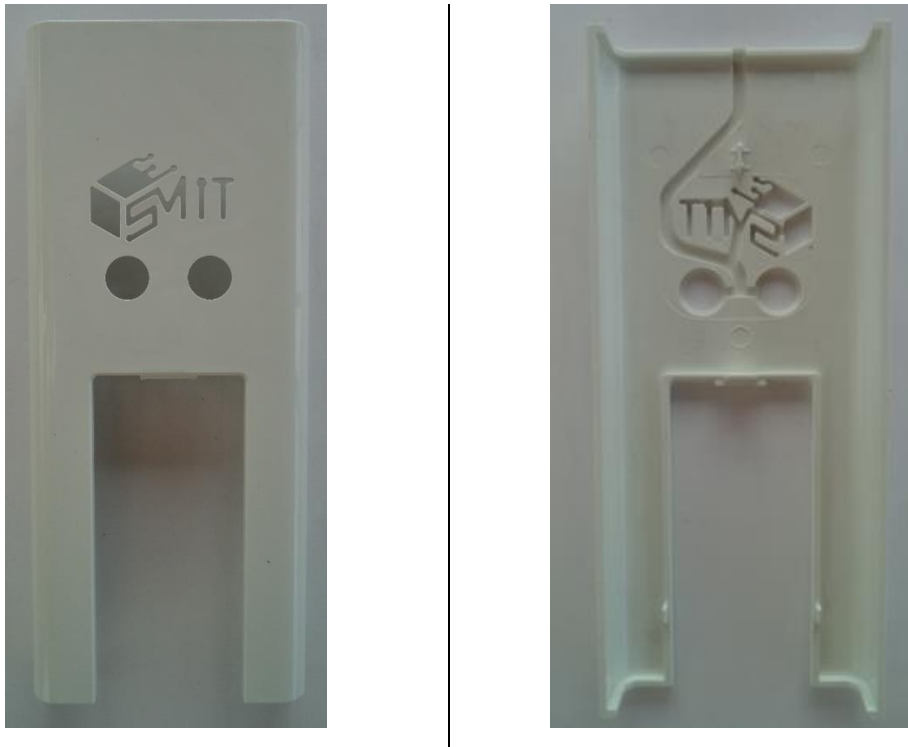


Figura 72- Peças injetadas em ABS.

Da observação da Figura 72 apenas se notam a marca dos extratores e do postigo móvel na parte traseira da peça, porém, numa observação mais cuidadosa com incidência de luz na superfície da peça detetam-se os defeitos referidos sem dificuldade alguma:

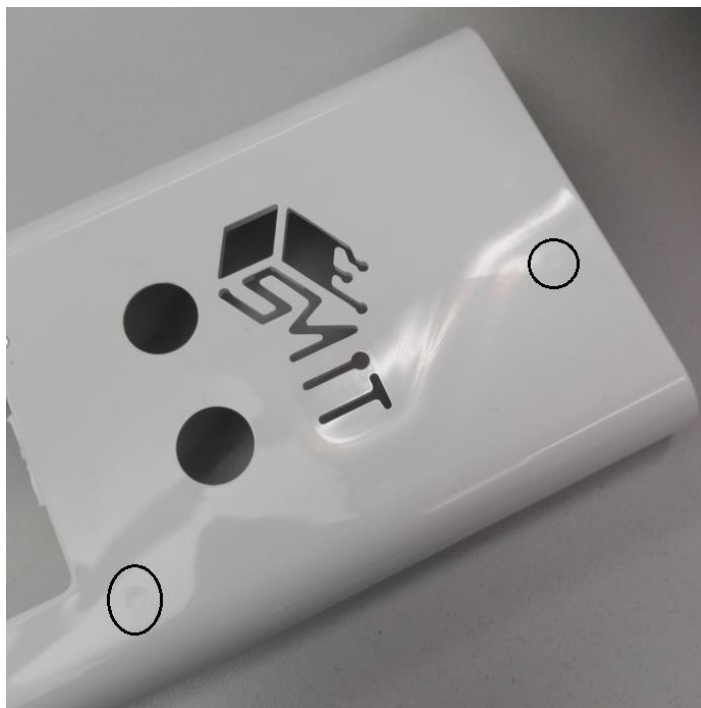


Figura 73- Observação dos defeitos na peça.

Da análise da Figura 73 verificam-se duas marcas de dois postigos, os restantes estão também lá presentes, porém só se verificam com uma análise mais cuidada, incidindo a luz noutros ângulos. O local onde a luz foi incidida (acima do logo) permite facilmente identificar o canal resultante da diferença de espessura.

A resolução destes dois principais defeitos passa por:

- Desenvolver uma nova cavidade sem os postigos existentes, o que impossibilitaria a implementação do sistema de vácuo e consequentemente impediria a aplicação de películas decorativas no molde;
- Diminuir a diferença de espessura na secção do canal ou até mesmo eliminar essa diferença de espessura, recuando o postigo com o intuito de minimizar/eliminar este defeito. Tal solução implicaria uma retificação no postigo móvel.

5.1.2. INJEÇÃO DE CPC

A injeção de peças em CPC revelou ser um desafio interessante. Apesar da injeção deste ter sido mais complexa que a injeção do ABS (devido às restrições da cortiça), este preencheu igualmente toda a zona moldante, porém neste caso verificaram-se outros defeitos que não ocorreram na injeção do ABS. Os defeitos ocorridos são principalmente linhas de fluxo evidentes, a visibilidade do canal existente para a segunda injeção na parte frontal da peça e a fratura de pequenos fragmentos do logótipo. Curiosamente a marca dos postigos localizados na cavidade são menos notórias que no material ABS apesar de as mesmas continuarem a existir.

Na Figura 74 é possível verificar o resultado das peças obtidas em CPC.



Figura 74- Peça injetada com CPC.

Da observação da Figura 74 é possível identificar facilmente que uma pequena parte da peça que compõe a letra “S” do logótipo está em falta. Esta fratura deve-se a uma ligeira prisão da peça no postigo móvel, naquela zona em específico, que acaba por fraturar com o avançar da extração. Isto acontece porque as propriedades mecânicas deste material são bastante inferiores ao ABS e, como existem grânulos de cortiça misturados com o polímero, as zonas com paredes inferiores a 1mm tornam-se muito frágeis e acabam mesmo por fraturar. A marca dos postigos da cavidade é impercetível nas imagens apresentadas, mas a marca continua a existir de modo mais suave, já o canal que possibilita a segunda injeção é muito mais evidente.

Relativamente às marcas de fluxo estas são mais evidentes na Figura 75.



Figura 75- Linhas de fluxo nas peças de CPC.

A solução num caso comum passaria por aumentar a temperatura do fluxo, aumentar a velocidade de injeção, aumentar a temperatura do molde ou aumentar a contra-pressão, porém este material contém algumas limitações que vão um pouco contra as soluções indicadas. Ao aumentar a temperatura de fluxo o material começa a escurecer porque vai ocorrendo a degradação da cortiça; ao aumentar a velocidade de injeção pode ocorrer o aumento da temperatura interna que também vai originar o escurecimento da cortiça; aumentar a temperatura do molde vai aumentar ainda mais ao tempo de ciclo, uma vez que o material por conter cortiça já demora mais tempo a arrefecer devido às propriedades da cortiça; o aumento da contra-pressão vai originar também os problemas já referidos.

Uma outra observação espectral é que, comparando lado a lado uma peça de ABS com CPC, é demais evidente que o CPC contrai muito mais que o ABS. Isto acontece porque o ABS é um material amorfo e o CPC é um material semicristalino (porque tem como matriz polimérica o PE), logo tem mais tendência a contrair devido às estruturas cristalinas. Tal evidência pode ser observada na Figura 76.



Figura 76- Diferenças na contração das peças.

Outro aspeto de enorme relevância retrata o empeno da peça na zona do logótipo. Isso só aconteceu com este material e a explicação deve-se às propriedades do material e ao movimento do postigo móvel. O postigo móvel durante a primeira injeção encontra-se na posição mais avançada e após a injeção e consolidação da injeção, retrai e ao retrair a peça acompanha o movimento e origina o empeno visível. O facto deste CPC apresentar alguma flexibilidade (o que não era suposto nem pretendido) propiciou este acontecimento que é possível de observar na Figura 77.



Figura 77- Efeito do empeno nas peças de CPC.

5.1.3. INJEÇÃO BI-MATERIAL DE CPC E LDPE

A bi-injeção de material revelou alguns problemas ao não ter corrido conforme inicialmente previsto. Os principais problemas resultaram do último problema referido na injeção de CPC, o empeno das peças. Verificaram-se também problemas no enchimento da peça na zona dos botões e ainda resultaram problemas resultantes das baixas propriedades mecânicas do CPC. O empeno da peça em CPC origina moldações incorretas, passando material para a parte frontal da peça; as baixas propriedades mecânicas do CPC são evidentes ao verificar-se o rasgamento das paredes laterais perto do ponto de injeção do segundo material; o problema do enchimento na zona indicada resulta do facto de nesse local as paredes serem muito finas. Tais factos podem ser observados na Figura 78.



Figura 78- Problemas verificados nas peças bi-injetadas.

O problema do empeno, que já se havia verificado anteriormente, foi largamente ampliado nas peças bi-injetadas conforme se pode verificar na Figura 79.

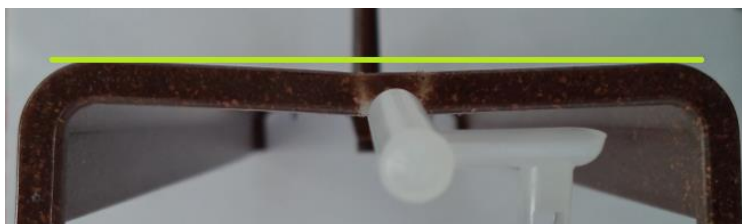


Figura 79- Empeno verificado numa peça bi-injetada de CPC e LDPE (a verde está representada uma linha para perceber melhor o efeito do empeno).

A questão relativamente à adesão dos materiais entre si foi confirmada pela boa adesão verificada entre os materiais.

5.1.4. INJEÇÃO BI-MATERIAL DE CPC E EVA

A bi-injeção de CPC e EVA apresentou exatamente os mesmos problemas da bi-injeção de CPC e LDPE. Na Figura 80 pode ser observado o resultado obtido neste caso.



Figura 80- Peça bi-injetada com CPC e EVA.

O empeno neste caso torna-se ainda mais evidente neste caso conforme se pode verificar na Figura 81.

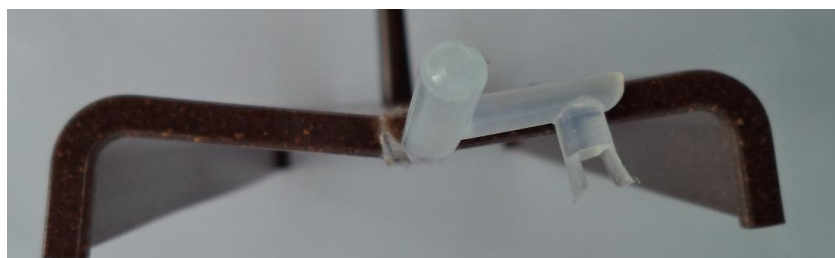


Figura 81- Empeno verificado em peças bi-injetadas de CPC e EVA.

Relativamente à adesão dos materiais verificou-se neste caso também uma boa adesão entre os materiais.

5.1.5. INJEÇÃO SOBRE PELÍCULAS DECORATIVAS

A injeção sobre películas decorativas não chegou a ocorrer sequer, isto porque o vácuo que se fazia sentir na cavidade não era forte o suficiente para segurar a película decorativa. Prevê-se que um ligeiro alargamento dos orifícios dos postigos da cavidade deverá ser suficiente para exercer a força necessária para segurar a película decorativa na cavidade.

5.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os ensaios de caracterização permitiram verificar que o ABS em termos mecânicos é largamente superior ao CPC e que em termos de adesão verificou-se uma boa adesão entre os diferentes materiais.

5.2.1. RESULTADOS DO MFI

Os resultados obtidos dos ensaios de MFI estão representados na Tabela 8. A fórmula utilizada no cálculo encontra-se descrita no capítulo 4.

Tabela 8- Medições de massa e intervalo de tempo do ensaio de MFI.

	CPC	ABS	EVA	LDPE
<i>m</i> (g)	0,18	0,26	0,11	0,19
<i>t</i> (s)	5	5	30	5
MFI (g/10 min)	21,9	31,0	2,3	22,9

Os resultados obtidos assemelham-se, como seria espectável, com os valores indicados nas fichas técnicas dos materiais.

5.2.2. RESULTADOS DO DSC

O DSC permitiu obter as temperaturas de fusão, para o CPC, EVA e LDPE e a temperatura de transição vítrea para o ABS. As temperaturas de fusão apresentam-se num termograma como um pico térmico, enquanto que as temperaturas de transição vítrea se apresentam como um patamar térmico. Nas Figuras 82 e 83 é possível verificar a diferença entre o pico térmico, no CPC e o patamar térmico, no ABS. A determinação das temperaturas de transição vítrea e de fusão seguiram a norma ISO 11357.

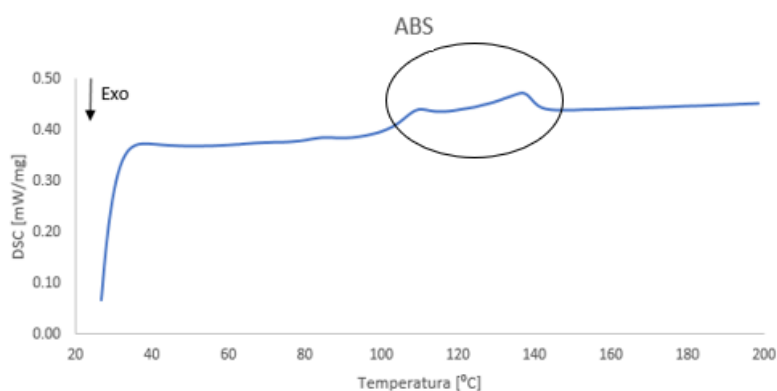


Figura 82- Termograma do aquecimento do ABS.

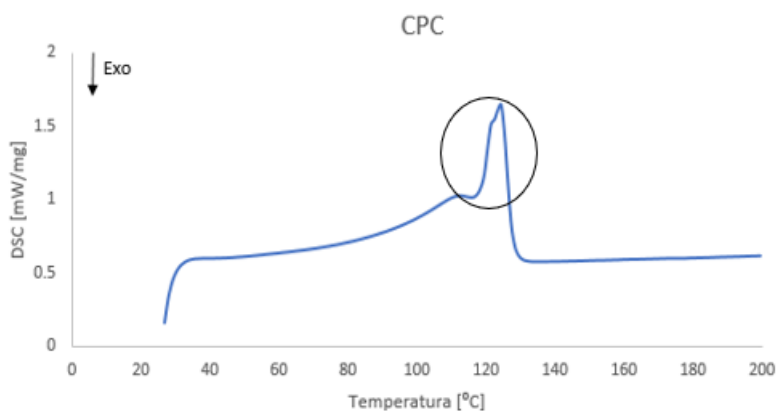


Figura 83- Termograma do aquecimento do CPC.

No caso de materiais que apresentam temperatura de fusão, é necessário calcular a área do pico, que corresponde à entalpia de fusão. A área é delimitada pela tangente à linha de base (linha horizontal antes e depois da fusão). Para a temperatura de fusão podem usar-se dois valores distintos: o valor do pico térmico ou o valor tangente ao início da fusão, chamado de *onset*. Aqui, serão considerados como temperatura de fusão os valores do pico

térmico, uma vez que o software utilizado considera o *onset* como a tangente ao pico e pode, em alguns casos, ocorrer um erro maior.

A Figura 84 mostra um gráfico onde foi calculado a entalpia de fusão e temperatura de fusão para o LDPE.

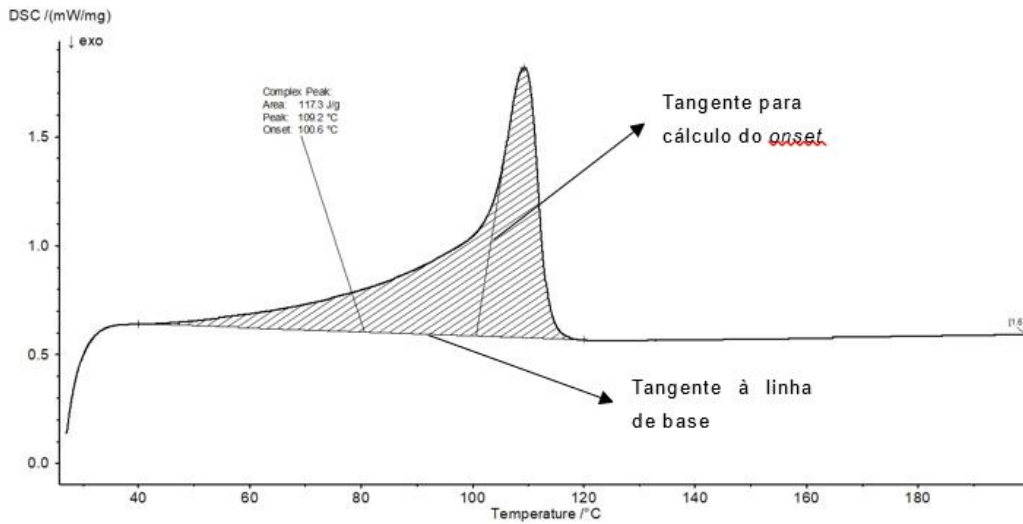


Figura 84- Termograma do aquecimento do LDPE com a área do pico preenchida.

Para o cálculo da temperatura de transição vítrea do ABS foram definidas duas tangentes: uma à linha antes da transição e outra à linha após a transição. A diferença entre as duas tangentes corresponde à variação da capacidade calorífica. A temperatura de transição vai ser considerada como a temperatura à qual se atinge metade da variação da capacidade calorífica. A Figura 85 mostra o termograma do ABS.

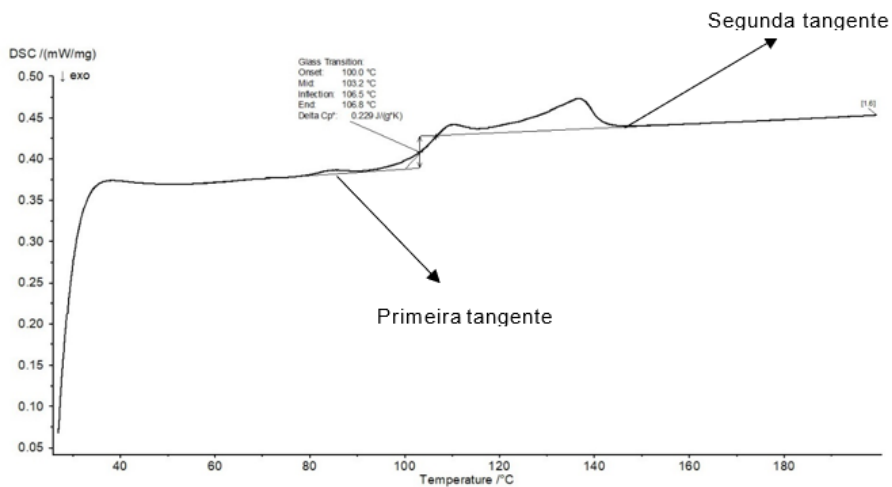


Figura 85- Termograma do aquecimento do ABS com as linhas tangentes utilizadas para calcular a temperatura de transição vítrea.

Na Tabela 9 estão representados os vários resultados obtidos da realização do ensaio.

Tabela 9- Temperaturas de fusão (T_f) e de transição vítrea (T_g) obtidas do ensaio de DSC.

	CPC	ABS	EVA	LDPE
Temperatura (°C)	$T_f = 124,2$	$T_g = 103,2$	$T_f = 86,6$	$T_f = 109,2$

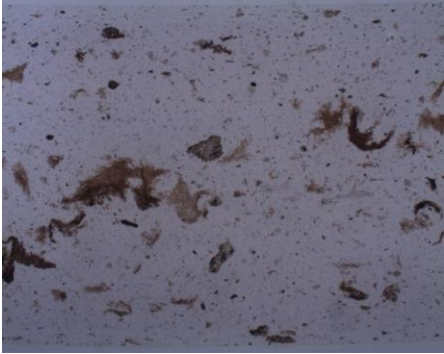
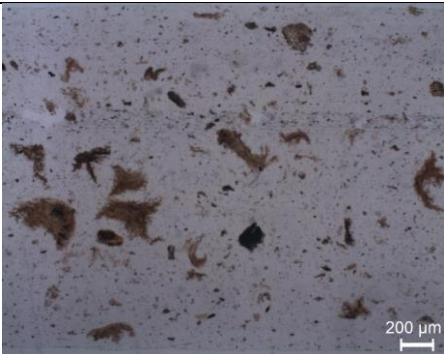

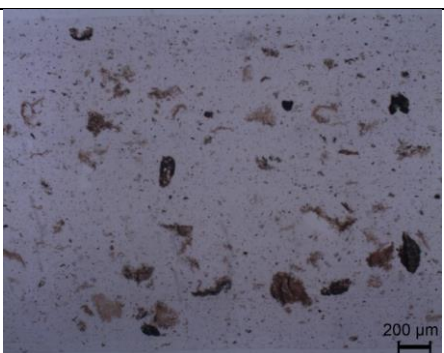
No Anexo IX encontram-se gráficos complementares dos ensaios realizados.

5.2.3. RESULTADOS DA MICROSCOPIA ÓTICA

Com o estudo das propriedades morfológicas procurou-se avaliar a distribuição dos grânulos de cortiça, avaliar a casca e as esferulites no CPC e também avaliar a adesão das peças bi-injetadas. Para isso, utilizou-se a microscopia de campo claro para avaliar a distribuição dos grânulos de cortiça e a microscopia de luz polarizada para avaliar a casca, as esferulites e a adesão das peças bi-injetadas.

Na Tabela 10 encontram-se os resultados obtidos na observação por microscopia de campo claro.

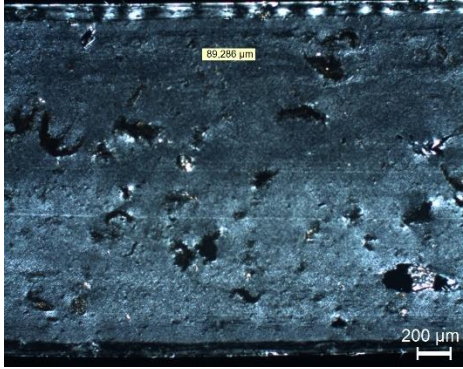
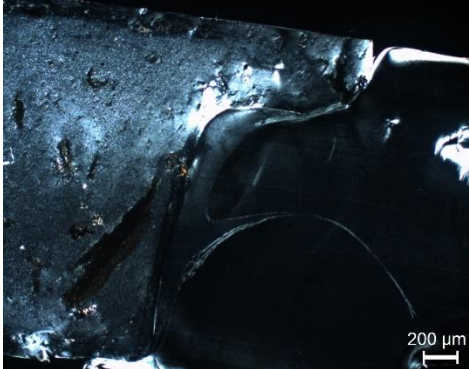


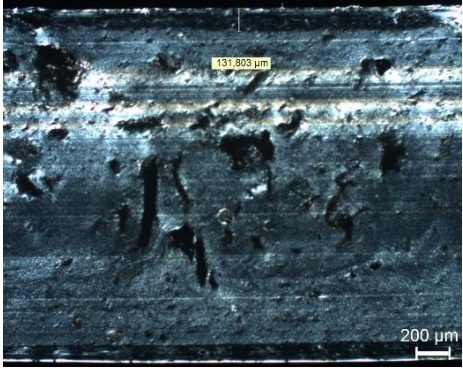
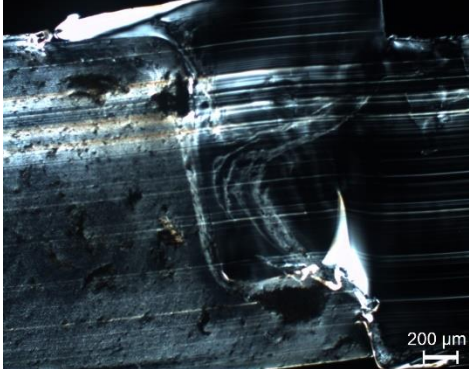
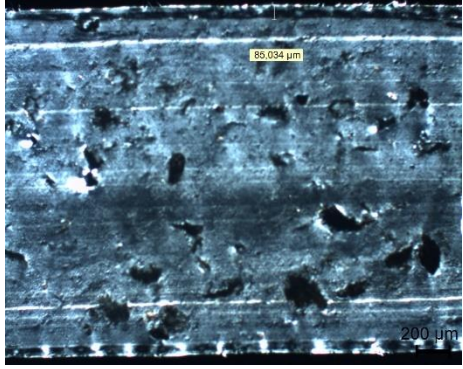
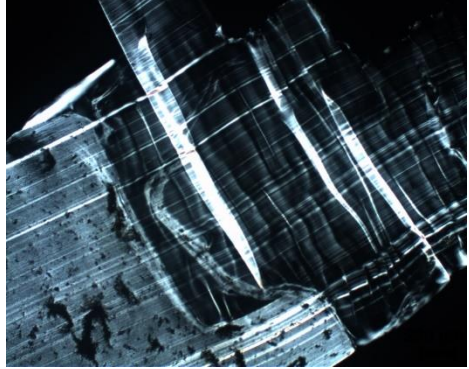
Tabela 10- Resultados obtidos na microscopia de campo claro.

		Microscopia de campo claro	
CPC Amostra 1			
CPC Amostra 2			
CPC Amostra 3			
CPC Amostra 4			

Da análise dos resultados obtidos na microscopia de campo claro é notório que os grânulos de cortiça estão bem dispersos pela matriz e existem grânulos com as mais variadas formas e tamanhos.

Na Tabela 11 encontram-se os resultados obtidos na observação por microscopia de luz polarizada.

Tabela 11- Resultados obtidos na microscopia de luz polarizada.

Microscopia de luz polarizada		
	Casca no CPC	Zona de adesão
CPC e LDPE Amostra 1		
CPC e LDPE Amostra 2		
CPC e EVA Amostra 3		
CPC e EVA Amostra 4		

Da microscopia de luz polarizada verifica-se que as peças em CPC apresentam casca, porém esta é muito reduzida o que significa que o arrefecimento da peça é relativamente rápido. A presença de esferulites é também notória e de tamanho muito reduzido. A explicação para o facto das esferulites ser muito pequenas pode-se dever ao arrefecimento rápido e/ou também devido à existência dos grânulos de cortiça dispersos pela matriz que podem funcionar também como agentes nucleantes impedindo o crescimento das esferulites.

As imagens obtidas na zona de adesão das amostras 1 e 2 demonstram que de facto ocorre a adesão dos materiais e também demonstra, o que aparenta ser, uma linha de soldadura correspondente à injeção do LDPE. Na amostra 2 verifica-se uma marca significativa da lâmina que cortou a amostra que foi desconsiderada.

As amostras 3 e 4 apresentam uma pior qualidade devido à maior dificuldade para cortar as amostras. Todos os riscos que se observam correspondem a marcas provenientes do corte da amostra e além disso, a amostra 4 parece ligeiramente danificada devido à existência das oscilações visíveis, ainda assim é possível verificar que os materiais aderem entre si. Nestas amostras a linha de soldadura já não é tão evidente.

5.2.4. RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Os resultados obtidos do ensaio de tração correspondem à força e ao deslocamento registados durante o ensaio. Estes dados são posteriormente processados e convertidos para se obter os gráficos de tensão-deformação.

Dos gráficos de tensão-deformação obtém-se os valores de tensão de cedência e tensão à rotura, deformação de cedência e deformação à rotura, bem como o módulo de elasticidade.

Foram analisados provetes em duas direções distintas, onde se apelidaram os provetes na direção “1” e os provetes na direção “2”, conforme pode ser observado na Figura 86.



Figura 86- Identificação dos provetes alvo de estudo numa peça de ABS.

Os gráficos de tensão-deformação para as peças em ABS estão apresentados nas Figuras 87 e 88.

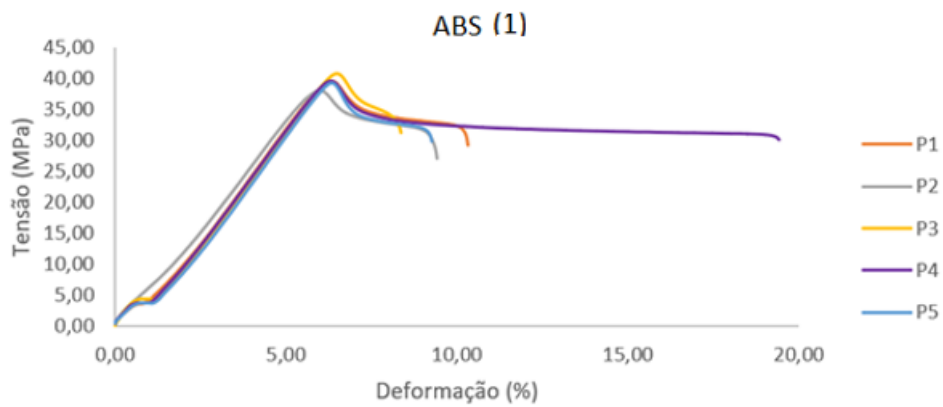


Figura 87- Resultados obtidos para cinco provetes de ABS analisados na direção "1".

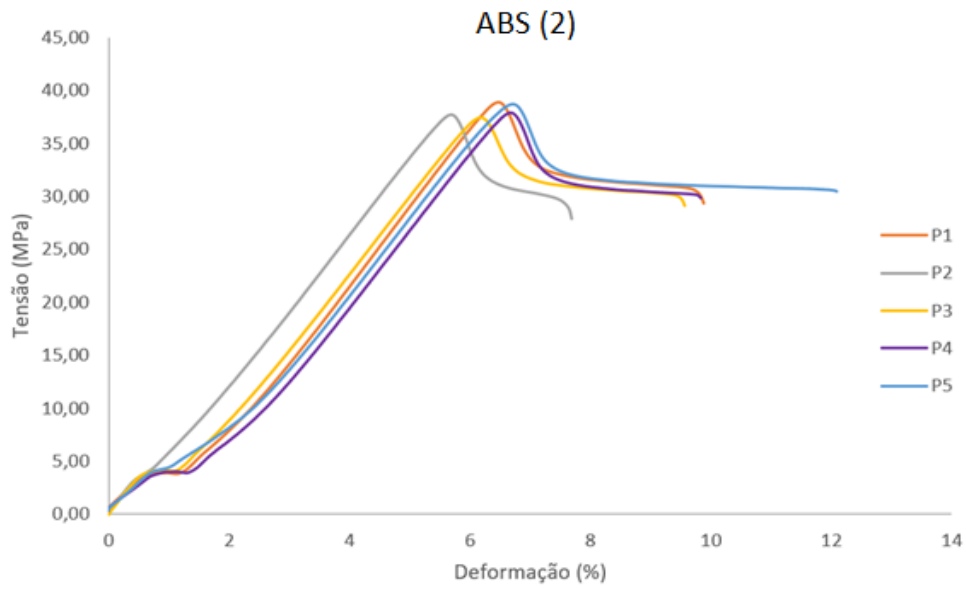


Figura 88- Resultados obtidos para cinco provetes de ABS analisados na direção "2".

Os gráficos de tensão-deformação para as peças em CPC estão apresentados nas Figuras 89 e 90.

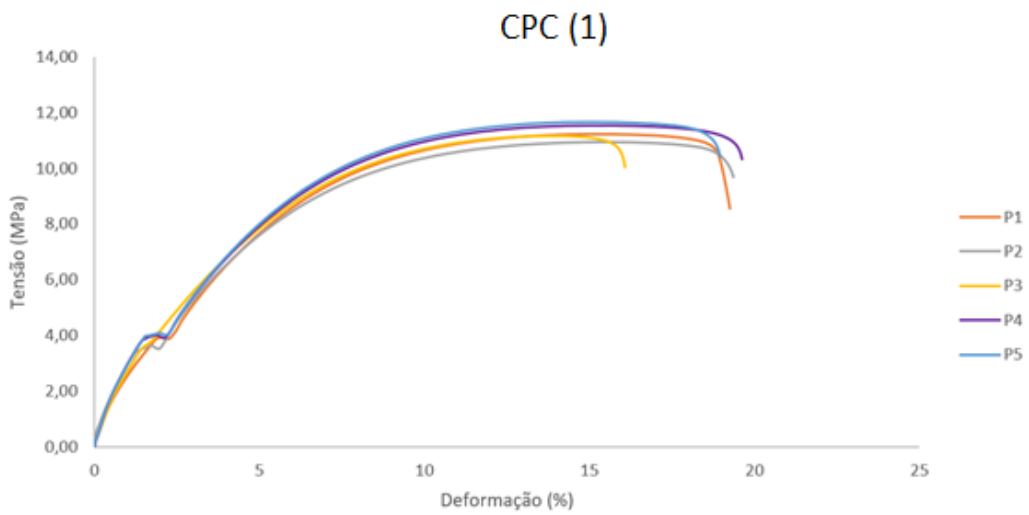


Figura 89- Resultados obtidos para cinco provetes de CPC analisados na direção "1".

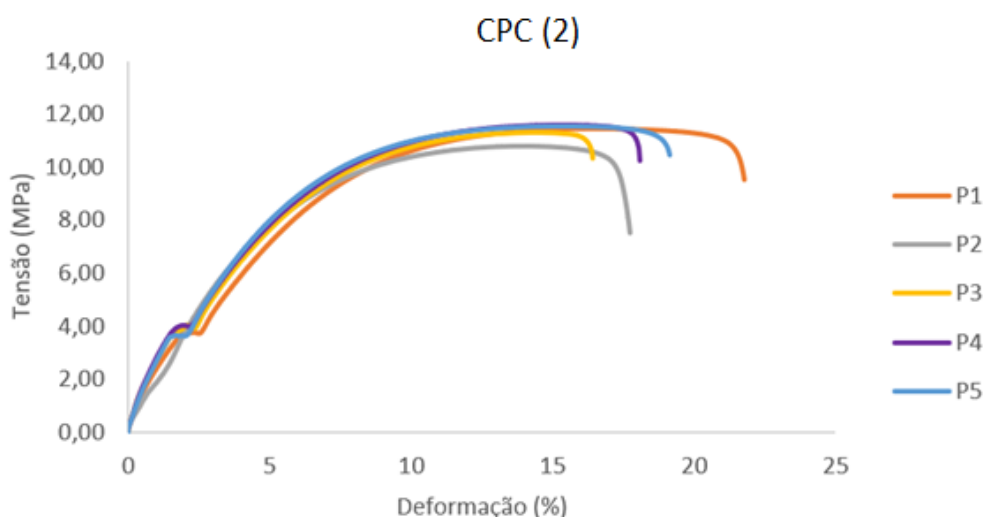


Figura 90- Resultados obtidos para cinco provetes de CPC analisados na direção "2".

Da análise dos gráficos obtém-se os resultados indicados na Tabela 12.

Tabela 12- Resultados obtidos do ensaio de tração.

	ABS (1)	ABS (2)	CPC (1)	CPC (2)
Tensão de cedência (MPa)	39,5	38,3	11,16	11,36
Desvio Padrão	0,9	0,6	0,3	0,6
Deformação de cedência (%)	6,3	6,4	11,1	11,1
Desvio Padrão	0,2	0,4	0,3	0,3
Tensão à rotura (MPa)	29,6	29,3	9,8	9,6
Desvio Padrão	1,4	0,9	0,7	1,1
Deformação à rotura (%)	11,4	9,8	18,7	18,6
Desvio Padrão	4,1	1,4	1,3	1,8
Módulo de elasticidade (GPa)	0,72	0,73	0,25	0,22
Desvio Padrão	0,4	0,1	0,3	0,3

Analisando a Tabela 16 é possível verificar que as propriedades não variam quase nada da direção "1" para a direção "2". Ambos os materiais apresentam comportamento dúctil e o ABS demonstra novamente ter propriedades mecânicas superiores às do CPC. Dos dados obtidos destacam-se especialmente os resultados do módulo de elasticidade, onde no ABS é facilmente perceptível a discrepância de valores face ao módulo de elasticidade do material apresentado na ficha técnica (2200 MPa ou 2,2 GPa). Tal discrepância é difícil de explicar e

uma das possíveis explicações pode dever-se a um eventual escorregamento das amarras no início do ensaio, que se pode traduzir no início irregular dos gráficos anteriormente demonstrados. Também a deformação de cedência e deformação à rotura do ABS afastam-se significativamente dos valores indicados na ficha técnica do mesmo (2,4 % e >15% respetivamente). A tensão de cedência do ABS foi o único dado que se aproximou do valor indicado na ficha técnica (44 MPa). Relativamente ao CPC, das poucas informações disponibilizadas na ficha técnica, foi possível concluir que os valores obtidos no ensaio de tração para a tensão à rotura e deformação à rotura aproximaram-se dos valores indicados na ficha técnica do material (11 MPa e 16% respetivamente). Porém, também neste material se verificou um início irregular, com um patamar inicial que também se poderá explicar devido ao escorregamento das amarras no início do ensaio

Uma nota importante que deve ser tida em conta é que o ponto de cedência foi obtido de formas diferentes para os dois materiais. No caso do ABS, o ponto de cedência corresponde ao valor máximo da tensão, onde termina a zona elástica e no caso do CPC, o ponto de cedência ocorre quando o material aumenta a deformação sem que a tensão aumente.

5.2.5. RESULTADOS DO ENSAIO DE IMPACTO

Os resultados obtidos do ensaio de impacto encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados obtidos no ensaio de impacto.

	ABS		CPC	
	Resistência ao impacto (J/m)	Tipo de falha	Resistência ao impacto (J/m)	Tipo de falha
Média	55,7	-	19,4	-
Desvio Padrão	4,7	-	1,9	-
Tipo falha %	-	100 C	-	100 C

Para proceder ao cálculo da energia de impacto foi necessário fazer o tratamento de dados, tendo para isso corrigido a energia medida no equipamento ao retirar o valor de energia de movimentação do pêndulo (0,08 J), ou seja, a energia perdida pelo pêndulo para as engrenagens e resistência do ar. Com o valor da energia corrigido foi calculada a resistência ao impacto através da divisão da energia corrigida pelo comprimento do provete após a gravação do entalhe.

O tipo de falha referido é um requisito da norma seguida na apresentação de resultados, onde a letra “C” significa a falha completa do provete. O “Tipo falha %” indica a percentagem de provetes que fraturaram por aquele tipo de falha.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho pretendia implementar técnicas e materiais inovadores para produzir uma peça *cover* de uma máquina de café. Selecionou-se por isso um material compósito inovador de polímero-cortiça para utilizar como primeira injeção e selecionaram-se 2 materiais translúcidos para a segunda injeção. O molde desenvolvido incorporou um postigo móvel para permitir a bi-injeção e incorporou também na sua solução um sistema de vácuo com o objetivo de segurar as películas decorativas na cavidade do molde.

Relativamente ao molde verificaram-se duas falhas: a solução não-convencional adotada no injetor da segunda unidade de injeção não funcionou conforme previsto porque o material solidificava e impedia uma nova injeção, por isso a cada injeção vertical era necessário remover o material que ficava na câmara; o sistema de vácuo implementado funcionava, contudo não exercia força suficiente para fixar as películas decorativas.

Das peças injetadas em ABS, verificou-se que apresentavam as marcas dos postigos da cavidade, o que era previsível, e também apresentavam a marca do canal desenvolvido para se dar a segunda injeção, que se deveu à diferença de espessura existente no local de 1,5mm. Para remover as marcas dos postigos seria necessário fabricar uma nova cavidade sem os postigos o que impediria a implementação de películas decorativas e para remover a marca do canal seria necessário retificar o postigo móvel de modo a reduzir/eliminar a diferença de espessura existente.

Nas peças injetadas em CPC além dos defeitos obtidos nas peças de ABS, observou-se também à existência de linhas de fluxo, observou-se ao empeno das peças na zona do postigo móvel e observou-se também que este material contraía muito mais que o ABS devido a este ser um material semicristalino e ter tendência para contrair mais. Observou-se ainda a fratura de um pequeno constituinte do logótipo da peça por este ficar preso no postigo móvel e fraturar que resulta das propriedades mecânicas inferiores do CPC comparativamente com o ABS. A eliminação das linhas de fluxo passaria pela alteração de determinadas condições de processamento tais como aumentar a temperatura do fluxo, aumentar a velocidade de injeção, aumentar a temperatura do molde ou ainda aumentar a contra-pressão, porém todas estas soluções poderiam induzir no CPC um escurecimento do material por consequente

degradação da cortiça. O empeno das peças observado deve-se à falta de rigidez do CPC e possivelmente também devido a uma eventual prisão da peça que ocorre durante o movimento do postigo móvel.

Nas peças bi-injetadas com CPC e LDPE registaram-se os defeitos observados no material CPC já descritos e, relativamente à injeção do LDPE verificaram-se problemas de enchimento num dos botões devido à espessura ser muito pequena e verificou-se também o rasgamento das paredes da cortiça no ponto de ataque do canal desenvolvido para a segunda injeção devido às baixas propriedades mecânicas do CPC. A solução para a cortiça não rasgar passaria por retificar o postigo móvel de modo a reduzir/eliminar a diferença de espessura na zona do canal da segunda injeção.

Nas peças bi-injetadas com CPC e EVA ocorreram os mesmos problemas do caso anteriormente mencionado e verificou-se um empeno ainda maior das peças. Ambos os materiais adotados na segunda injeção apresentaram-se translúcidos tal como pretendido.

A injeção sobre películas decorativas foi impossível de realizar devido ao mau funcionamento do sistema de vácuo, não exercendo força suficiente para segurar a película decorativa no molde.

Os ensaios de caracterização efetuados permitiram dar a conhecer algumas lacunas das fichas técnicas dos materiais alvo de estudo e também permitiram caracterizar os resultados obtidos.

Relativamente aos ensaios de caracterização térmica foi possível concluir que os valores se aproximavam dos valores referidos nas fichas técnicas dos materiais e permitiu ajustar as temperaturas para o processamento. Os ensaios de caracterização morfológica permitiram verificar em microscopia de campo claro a boa distribuição dos grânulos de cortiça na matriz polimérica do CPC e permitiu verificar em microscopia de luz polarizada a boa adesão das peças bi-injetadas. Foi possível também verificar a existência de uma casca pouco desenvolvida no CPC e esferulites de pequenas dimensões que pode estar relacionado com o arrefecimento rápido da peça e/ou que a cortiça funciona como agente nucleante impedindo o crescimento das mesmas.

Nos ensaios de tração foram estudados provetes em duas direções distintas dos dois materiais e, em ambas as direções os resultados foram semelhantes. Ambos os materiais apresentaram comportamento dúctil e observou-se uma ligeira discrepância nos resultados obtidos do ABS face aos valores indicados nas fichas técnicas. Uma das possíveis explicações

para ocorrer essa discrepância pode ser um eventual escorregamento das amarras no início do ensaio, que se traduziu no início irregular visualizado nos gráficos de tensão-deformação do ABS. Também no CPC se verificou um início irregular devido a esse mesmo motivo, o que pode ter comprometido ligeiramente os resultados obtidos tanto para o CPC como para o ABS. Por fim, no ensaio de impacto realizado obtiveram-se valores de resistência ao impacto na ordem dos 55J/m para o ABS e na ordem dos 19J/m para o CPC. Destes ensaios mecânicos é possível concluir que o ABS apresenta propriedades cerca de três vezes superiores ao CPC.

Por fim, resta concluir que o CPC apesar de ser um material mais “amigo do ambiente” não apresentou até agora razões para substituir o material ABS. Contudo não quer dizer que tal seja impossível, pois retificando o molde e otimizando os parâmetros de injeção prevê-se que os resultados possam ser substancialmente melhorados ao ponto de se tornar uma opção válida para substituir o ABS mesmo sabendo que em termos mecânicos apresenta propriedades inferiores a este.

6.2. PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

De modo a dar continuidade ao trabalho desenvolvido sugerem-se os seguintes trabalhos:

- Modificar o sistema de vácuo para testar a aplicabilidade das películas decorativas;
- Realizar um estudo para verificar o efeito da alteração das condições de processamento nas peças, o que seria muito interessante para o material CPC;
- Introduzir novos materiais inovadores neste estudo;
- Otimizar as condições de processamento utilizadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ana Carina, P., Han, B., Helena, P. et al. J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.) (2012) 17: 360. doi:10.1007/s12204-012-1287-8
- [2] Gil L. Cork composites: a review. Materials 2009;2:776-789
- [3] Gil, L. New Cork-Based Materials and Applications. Materials 2015, 8, 625-637.
- [4] <http://www.quali.pt/blog/1630-composicao-quimica-da-cortica> Acedido a 02/07/2017
- [5] APCOR, Estudo de caracterização sectorial – estatísticas e prospectiva, 2015.
- [6] Magalhães da Silva, S. P., Lima, P. S. and Oliveira, J. M. (2016), Non-isothermal crystallization kinetics of cork-polymer composites for injection molding. J. Appl. Polym. Sci., 44124, doi: 10.1002/app.44124
- [7] Magalhães da Silva, S. P., Lima, P. S. and Oliveira. Rheological behaviour of cork-polymer composites for injection moulding. Compos Part B Eng 2016;90:172-8
- [8] Fernandes EM, Correlo VM, Mano JF, Reis RL. Polypropylene-based cork-polymer composites: processing parameters and properties. Compos Part B Eng 2014;66:210e23.
- [9] Fernandes EM, Aroso IM, Mano JF, Covas JA, Reis RL. Functionalized cork-polymer composites (CPC) by reactive extrusion using suberin and lignin from cork as coupling agents. Compos Part B Eng 2014;67:371e80.
- [10] Pereira, H. Cork: Biology, Production and Uses; Elsevier: Amsterdam, 2007.
- [11] Fernandes EM. New functionalization-reinforcement strategies for cork plastics composites: opening a wide range of innovative applications for cork based products [Doctoral thesis]. Portugal: University of Minho; 2013.
- [12] Ben Abdallah, F., Ben Cheikh, R., Baklouti, M. et al. J Polym Res (2010) 17: 519. doi:10.1007/s10965-009-9339-y
- [13] Abenojar, J., Barbosa, A.Q., Ballesteros, Y. et al. Wood Sci Technol (2014) 48: 207. doi:10.1007/s00226-013-0599-7
- [14] Aroso IM, Fernandes EM, Pires RA, Mano JF & Reis RL. Cork extractives exhibit thermo-oxidative protection properties in polypropylene-cork composites and as direct additives for polypropylene, Polymer Degradation and Stability 116 (2015) 45e52

- [15] C. Vilela, A.F. Sousa, C.S.R. Freire, A.J.D. Silvestre, C. Pascoal Neto. Novel sustainable composites prepared from cork residues and biopolymers, *Biomass Bioenergy*, 55 (2013), pp. 148-155
- [16] L. J. Gibson, K. E. Easterling, & M. F. Ashby. The structure and mechanics of cork. *Proceedings of the Royal Society of London*, A377:99-117, 1981
- [17] Pereira, H., Rosa, M.E., Fortes, M.A., 1987. The cellular structure of cork from *Quercus suber* L. *IAWA Bull.* 8, 213–218
- [18] Pereira, H., Graça J., & Baptista C. The effect of growth rate on the structure and compressive properties of cork. *IAWA Bull.* 1992; 13: 389-396
- [19] Rosa, M.E. & Fortes, M.A. *J Mater Sci* (1988) 23: 879. doi:10.1007/BF01153983
- [20] Emilia Rosa, M. & Fortes, M.A. *J Mater Sci* (1988) 23: 35. doi:10.1007/BF01174031
- [21] Rosa, M.E. & Fortes, M.A. *J Mater Sci* (1991) 26: 341. doi:10.1007/BF00576525
- [22] Fortes, M.A. & Rosa, M.E. *Wood Sci.Technol.* (1992) 26: 241. doi:10.1007/BF00200160
- [23] Rosa, M.E. & Fortes, M.A. *Wood Fiber Sci*, 25 (1993), Water-absorption by cork, pp. 339-348
- [24] Vaz, M.F. & Fortes, M.A. *Journal of Materials Science* (1998) 33: 2087. doi:10.1023/A:1004315118535
- [25] Gil, L. *Holz als Roh-und Werkstoff* (1994) 52: 131. doi:10.1007/BF02615479
- [26] Gil, L.M.C.C. *Wood Sci.Technol.* (1996) 30: 217. doi:10.1007/BF00231635
- [27] Mano, J.F. *Journal of Materials Science* (2002) 37: 257. doi:10.1023/A:1013635809035
- [28] J.F. Mano, Creep-recovery behaviour of cork, *Materials Letters*, Volume 61, Issue 11, 2007, Pages 2473-2477, ISSN 0167-577X
- [29] J. N. Marat-Mendes & E. R. Neagu (2003) The Study of Electrical Conductivity of Cork, *Ferroelectrics*, 294:1, 123-131, DOI: 10.1080/00150190390238757
- [30] P.R.O. Nóvoa, M.C.S. Ribeiro, A.J.M. Ferreira and A.T. Marques, Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates, *Composite Science and Technology*, vol. 64, 2004, pp. 2197-2205.
- [31] C.P. Gameiro, J. Cirne, *International Journal of Mechanical Sciences*, 49 (9) (2007), pp. 1029-1037
- [32] Gameiro, C.P., Cirne, J. & Gary, G. *J Mater Sci* (2007) 42: 4316. doi:10.1007/s10853-006-0675-6

- [33] Costa, A., Madeira, M. & Oliveira, A.C. (2008), The relationship between cork oak growth patterns and soil, slope and drainage in a cork oak woodland in Southern Portugal. *Forest Ecology and Management* 255, pp. 1525-1535
- [34] Matos, A.S.. Desenvolvimento de uma unidade de determinação da permeabilidade de rolhas de cortiça ao oxigénio [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade do Porto; 2008.
- [35] Maio, D.J.. Desenvolvimento de “tinta” com pó de cortiça com desempenho acústico otimizado [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade do Porto; 2010
- [36] Gil, L.; Marreiros, N. Tintas com incorporação de partículas de cortiça para melhor comportamento térmico e acústico. In: *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, 2011, vol. 23, nº 3-4, p. 15-17
- [37] Gil, L.; Moiteiro, C. Cork. In *Ullmann’s Encyclopedia of Chemical Technology*, 6th ed.; Wiley-VCH: Verlag, Germany, 2003.
- [38] Gil, L. *História da Cortiça*; APCOR: Santa Maria de Lamas, Portugal, 2000.
- [39] Mata, Pedro Miguel Gregório. *Caracterização de compósitos cerâmica-cortiça* [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade de Aveiro; 2008
- [40] Fernandes, E.M., Correlo, V.M., Chagas, J.A.M., Mano, J.F., Reis, R.L., Cork Based Composites using Polyolefin’s as Matrix: Morphology and Mechanical Performance, *Composites Science and Technology* (2010), doi: 10.1016/j.compscitech.2010.09.010
- [41] Fernandes EM, Correlo VM, Mano JF, Reis RL, 2013, “Novel cork-polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition”, *Composites Science and Technology*, 78, 56–62.
- [42] Fernandes EM, Mano JF and Reis RL, 2013, Hybrid cork-polymer composites containing sisal fibre: Morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties and tensile failure prediction, *Composite Structures*, 105: 153-162.
- [43] Fernandes E. M., Correlo V. M., Mano J. F., Reis R. L. Cork–polymer biocomposites: Mechanical, structural and thermal properties, *Materials & Design*, Vol. 82, pp. 282-289, doi:10.1016/j.matdes.2015.05.040, 2015
- [44] I. Alcântara, F. Teixeira-Dias, M. Paulino, Cork composites for the absorption of impact energy, *Compos. Struct.* 95 (2013) 16–27.
- [45] Veras, Marco Alexandre Nogueira. *Estudo, Fabrico e Caracterização de Painéis Sanduíche com Núcleos em Materiais Compósitos de Cortiça* [Tese de Mestrado]. Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; 2013

- [46] Ferreira, João Daniel Teixeira. Preparação e caracterização de compósitos de PEBD reforçados com pó de cortiça e de caroço de azeitona, para aplicações na construção civil [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade Nova de Lisboa; 2013
- [47] A.M. Cunha e A.S.Pouzada. Processo de Moldação por Injeção - Cap. 1 O Processo e o respectivo Ciclo de moldação. Portugal: Departamento de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho.
- [48] <http://www.grandviewresearch.com/press-release/global-injection-molded-plastics-market> Acedido a 20/07/2017
- [49] Júlio C. Viana. Slides disponibilizados na unidade curricular de Processamento de Polímeros II, Universidade do Minho, Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros, 2014-2015
- [50] A. M. Cunha, António J. Pontes. Non-Conventional Injection Molds, 2008
- [51] Oliveira, Nelson Duarte Mendes. Advanced in mould assembling technologies for high precision polymer based optical components [Tese de Doutoramento]. Portugal: Universidade do Minho; 2014
- [52] Paiva, Maria Conceição Jesus Rego. Slides disponibilizados na unidade curricular de introdução aos polímeros, Universidade do Minho, Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros, 2012-2013
- [53] Ferreira, José Carlos Correia de Gouveia. Estudo da degradabilidade de poliestireno modificado quimicamente [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade do Minho; 2004
- [54] Ferreira, Cândida Sofia Teixeira. Preparation and characterization of biodegradable blends of Poly(L-lactic) acid and Chitosan [Tese de Mestrado]. Portugal: Universidade do Minho; 2012
- [55] <http://www.analisestermicas.com.br/como-interpretar-curvas-de-tga-e-dsc/> Acedido a 20/09/2017
- [56] Martins, Carla Isabel Domingues Correia. Slides disponibilizados na unidade curricular de Ciência de Polímeros IV, Universidade do Minho, Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros, 2014-2015
- [57] Lopes, Jorge Teófilo de Barros. Estrutura e Propriedades dos Materiais - Cap. 9 Ensaios Mecânicos dos Materiais. Brasil: Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia. Documentos disponibilizado em: <https://jorgeteofilo.files.wordpress.com/2013/11/epm-apostila-cap3adtulo09-ensaios-mod.pdf> Acedido a 20/09/2017
- [58] <http://www.infoescola.com/fisica/ensaio-de-tracao/> Acedido a 20/09/2017

[59] Documentos disponível em:

<http://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa16.pdf> Acedido a 20/09/2017

[60] <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/abs.html> Acedido a 26/07/2017

[61] <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/polietileno.asp> Acedido a 26/07/2017

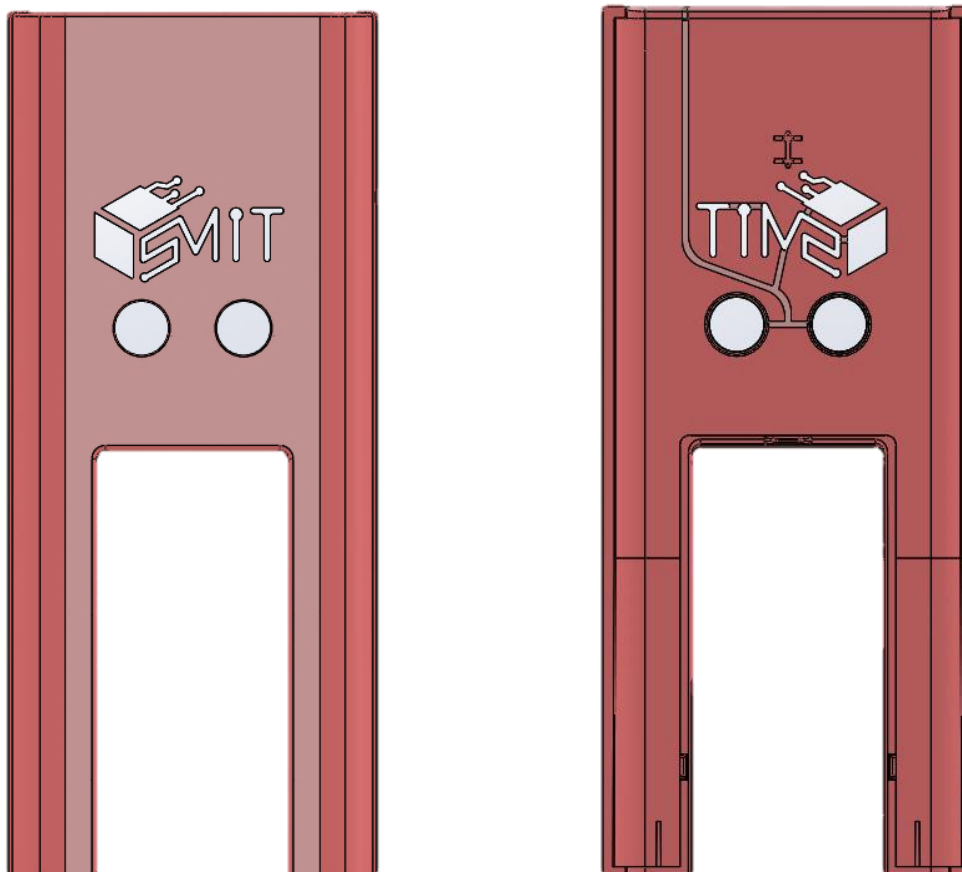
[62] <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.pt/2012/06/etilvinilacetato-eva.html> Acedido a 26/07/2017

[63] <http://asenhoradomonte.com/2013/02/20/historia-da-cortica/> Acedido a 20/07/2017

ANEXO I – ALTERAÇÕES DO CASO DE ESTUDO

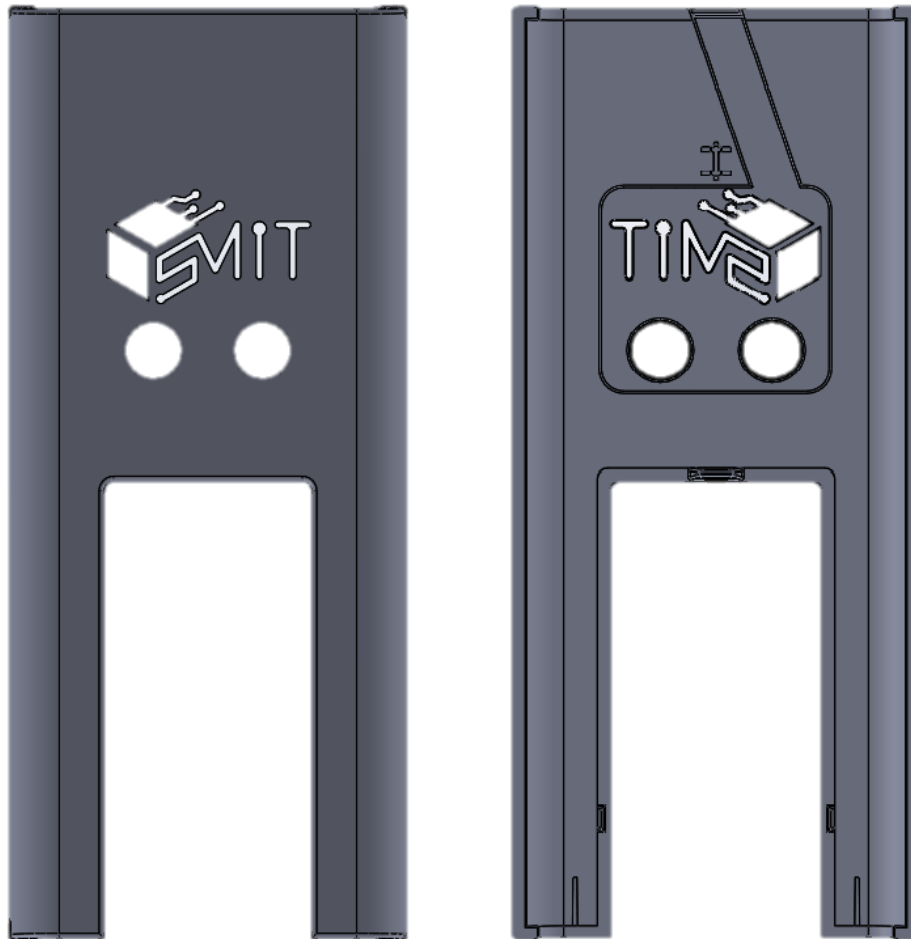
Inicialmente os canais desenvolvidos para a segunda injeção eram demasiado finos, o que poderia resultar em maiores dificuldades para preencher toda a zona moldante.

- Versão inicial:



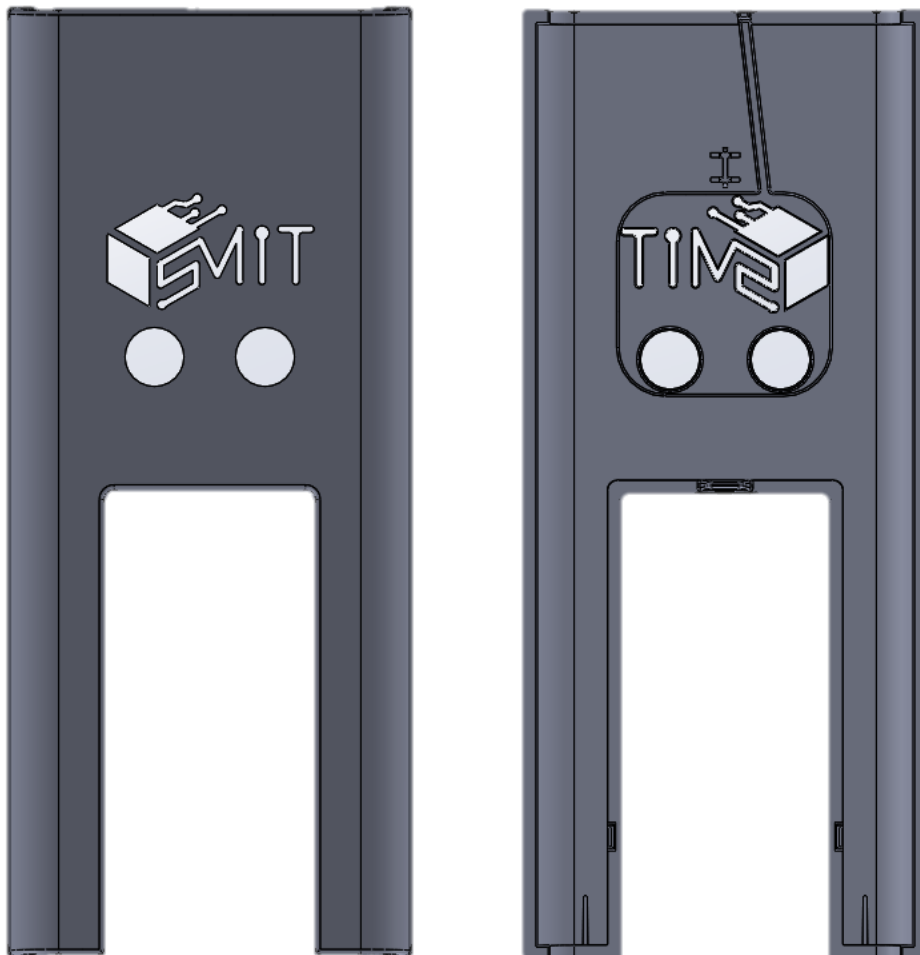
Numa segunda abordagem foi simplificado e alargado o canal de alimentação, tendo sido envolto o logótipo numa secção retangular, toda ela passível de se encher com material. Daqui resultaria o gasto de mais material e resultaria também numa maior força de fecho.

- Segunda versão:



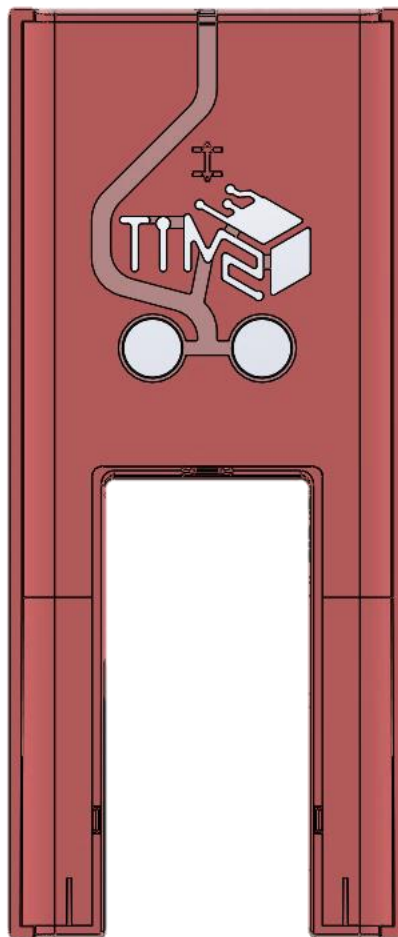
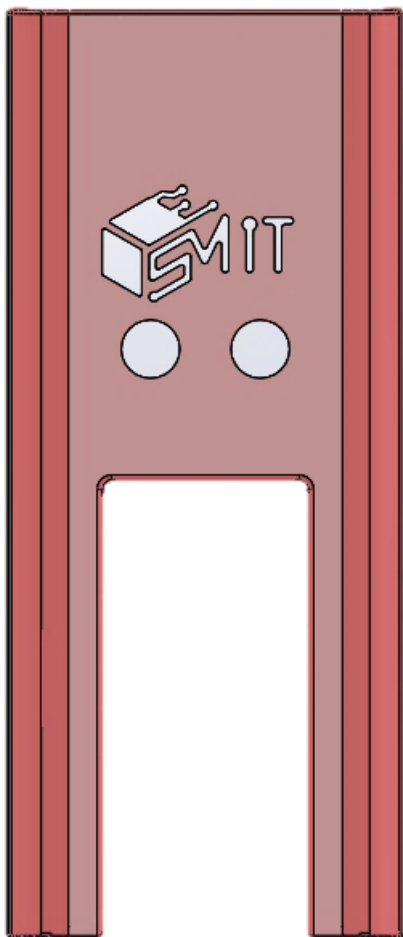
Para minimizar os efeitos previstos da segunda versão, reduziu-se ao máximo às paredes do canal e a secção retangular. A espessura do canal, uma vez mais, tornou-se fina demais ao ponto de possivelmente dificultar o processo de injeção.

- Terceira versão:



Por fim, eliminou-se a secção retangular e otimizou-se o canal de alimentação de modo a facilitar todo o processo.

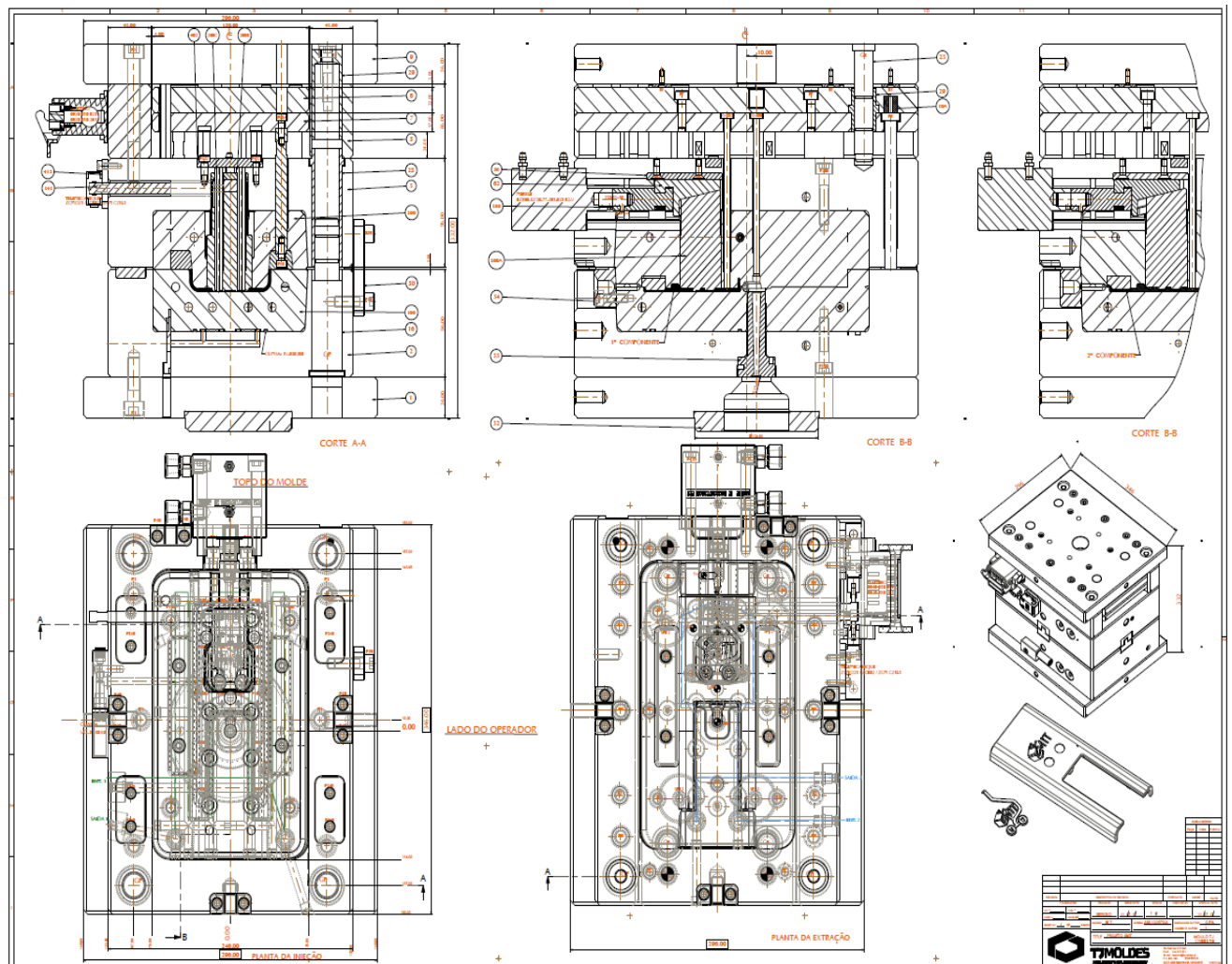
- Versão final:



ANEXO II – CARACTERÍSTICAS DA INJETORA

Ferromatik Milacron K85		
Produtor		Ferromatik Milacron
Tipo		K85
Unidade de fecho		
Força de fecho	(ton)	85
Curso de abertura	(mm)	600
Distância entre colunas	(mm)	420 x 420
Altura do molde mínima	(mm)	250
Tamanho dos pratos	(mm)	640 x 665
Unidade de injeção		
Diâmetro do fuso	(mm)	40 (unidade principal) + 30 (unidade secundária)
Volume de injeção	(cm ³)	201 (unidade principal) + 99 (unidade secundária)
Capacidade de injeção	(g)	171
Dimensões e peso da máquina		
Dimensões gerais	(m)	5,0 x 1,6 x 3,6
Peso líquido	(kg)	5500

ANEXO III – DESENHOS 2D DO MOLDE



ANEXO IV – LISTA DE COMPONENTES DO MOLDE

ITEM Nº	DESCRIÇÃO	QUANT.	DIMENSÕES / REFERENCIA	MATERIAL / MARCA	TRATAMENTO	DUREZA
1	CHAPA DE APERTO DA INJEÇÃO	1	296x346x36 PBA-EU	1.1730		
2	CHAPA DAS CAVIDADES	1	246x346x96 PC	1.1730		
3	CHAPA DAS BUCHAS	1	246x346x96 PC	1.1730		
5	CALÇO	2	43x346x66 ESP	1.1730		
7	CHAPA DOS EXTRACTORES	1	158x346x17 PC	1.1730		
8	CHAPA DE APERTO DOS EXTRACTORES	1	158x346x22 PC	1.1730		
9	CHAPA DE APERTO DA EXTRACÇÃO	1	296x346x36 PBA-EU	1.1730		
12	SUPORTE	4	Ø40x66	C4		
16	GUIA PRINCIPAL	3	BR-00/24x86x55	BRUYRUBIO		
17	GUIA PRINCIPAL	1	BR-00/22x86x55	BRUYRUBIO		
23	GUIA DAS CHAPAS DE EXTRACÇÃO	4	G/18x105	BRUYRUBIO		
25	CASQUILHO DA GUIA PRINCIPAL	3	BR-10/24x96	BRUYRUBIO		
26	CASQUILHO	1	BR-10/22x96	BRUYRUBIO		
27	CASQUILHO	4	BR-20/30x80	BRUYRUBIO		
29	CASQUILHO DA GUIA DAS CHAPAS DE EXTRACÇÃO	4	CV2/18x21	BRUYRUBIO		
30	PERNO DE RETORNO	4	A/120,00x160 (139)	BRUYRUBIO		
32	ANEL DE CENTRAGEM	1	Ø126,8x18	1.1730		
33	INJECTOR PRINCIPAL	1	Z51/18x76 / 4,5	HASCO		
34	ANEL DE AJUSTE DO INJECTOR	1	50x37x22	1.2343	TEMP.	48-50
48	INTERLOCK MACHO	4	TJ-TC-42 (42x18x28)	1.2080	TEMP.	58-62
49	INTERLOCK FEMEA	4	TJ-TC-42 (42x18x22)	1.2343	TEMP.	48-50
50	BARRA DE FECHO	1	TJ-BF-1 (85x30x12)	1.1730		
56	CHAPA DE AJUSTE	1	76x38x6	MOLDAR 180		
62	BARRA DE DESLIZE	1	66x36x32	1.2343	TEMP.	48-50
90	ARO / BARRA EXTRACTOR	2	125x24x16	1.2738		
90A	HASTE DA BARRA EXTRACTORA 90	4	Ø12x112	1.1213	NIT.	
100	CAVIDADE	1	256x156x56	1.2738		
100A	POSTIÇÃO DA CAVIDADE 100	16	Z41/2x100	HASCO		
200	BUCHA	1	256x156x70	1.2738		
200A	POSTIÇÃO DA BUCHA 200	1	80,2x46x90,3	1.2343	TEMP.	48-50
340	BARRA PV AJUSTE DA CAVIDADE	4	TJ-CAJ-00x30 (59,5x29,5x10)	1.2343	TEMP.	48-50
366	PUXADOR CILINDROS	1	Ø20x61	1.1730		
412	CHAPA DE FIXAÇÃO DOS MICROSWITCH	2	50x44x8	1.1730		
482	BARRA	1	66x16x8	1.1730		
BE	BOTÃO DE ENCOSTO	8	Z55/18x3	HASCO		
CH	CILINDRO HIDRÁULICO	1	BZ500.32/20.77.201.025 E2.V	MERKLE		
E300	EXTRACTOR	1	Z41/8x160	HASCO		
E301	EXTRACTOR	1	Z41/5X160	HASCO		
E302	EXTRACTOR	3	Z41/8x160	HASCO		
FEC	CAIXA FICHA ELÉTRICA	1	0920 010 0251	HARTING		
FEM	MIOLO DA FICHA ELECTRICA	1	0920 010 2612	HARTING		
MB30A	MOLA DE BORRACHA	4	Ø12x16	SPECIAL SPRINGS	BORRACHA	
MS	MICROSWITCH	2	ZCMD21 / ZCE02 / ZCM C21 L1	TELEMECANIQUE		
P1	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	6	Z31/12x40	BRUYRUBIO		
P5	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/10X75	HASCO		
P7	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	8	Z31/8x25	BRUYRUBIO		
P9	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	6	Z31/12x110	BRUYRUBIO		
P12	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/8x35	HASCO		
P32	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/8x25	HASCO		
P34	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	2	Z31/8x25	HASCO		
P48	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	8	Z31/6x20	HASCO		
P49	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	8	Z31/6x25	HASCO		
P50	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	2	Z31/10x30	HASCO		
P56	PARAFUSO CABEÇA EMBUTIR	2	Z33/6x12	HASCO		
P90	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/6x16	HASCO		
P90A	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/6x16	HASCO		
P100	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/10x40	HASCO		
P200	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/10x45	HASCO		
P340	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	8	Z31/6x12	HASCO		
P412	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/5x16	HASCO		
P482	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	2	Z31/6x12	HASCO		
P_BE	PARAFUSO CABEÇA EMBUTIR	8	Z33/4x10	HASCO		
P_CH	PARAFUSO CABEÇA CILINDRICA	4	Z31/10X75	HASCO		
PR	PERNO ROSCADO	1	Z35/4x6	HASCO		
PR	PERNO ROSCADO	1	Z35/12x30	HASCO		
REC	RECORD	4	Z81/8/R1/8	HASCO		
RECO	RECORD A OLEO	2	GE12-PLR 1/4"	ERMETO		
TC	TACO	3	Z94/8	HASCO		
TP	TAMPÃO	20	Z94/R1/8	HASCO		
TP	TAMPÃO	8	Z94/R3/8	HASCO		
VAR	VÁLVULA ANTI-RETORNO	1	VG.523016	CUMSA		
VD	VEDANTE	1	JV.030200	CUMSA		
VD	VEDANTE	4	2_113	PARKER		

ANEXO V – FICHA TÉCNICA ABS



Terluran GP-35

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL
DATASHEET

DESCRIPTION

Terluran® GP-35 is high-flow, general purpose injection molding grade with good ductility, intended for moldings with thin walls and/or adverse flow length to wall ratio.

FEATURES

- Excellent colorability
- High flowability
- Good impact resistance
- Good heat distortion resistance
- High quality surface finish and gloss
- Great mechanical strength and rigidity

APPLICATIONS

- Injection molding
- Thin wall components for telecommunications
- Household and sanitary appliances
- Toys
- Automotive components
- Electroplating

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Rheological Properties			
Melt Volume Rate 220 °C/10 kg	ISO 1133	cm ³ /10 min	34
Mechanical Properties			
Izod Notched Impact Strength, 23 °C	ISO 180/A	kJ/m ²	22
Izod Notched Impact Strength, -30 °C	ISO 180/A	kJ/m ²	7
Charpy Notched Impact Strength, 23° C	ISO 179	kJ/m ²	19
Charpy Notched Impact Strength, -30 °C	ISO 179	kJ/m ²	7
Charpy Unnotched, 23 °C	ISO 179	kJ/m ²	125
Charpy Unnotched, -30 °C	ISO 179	kJ/m ²	90
Tensile Stress at Yield, 23 °C	ISO 527	MPa	44
Tensile Strain at Yield, 23 °C	ISO 527	%	2.4
Tensile Strain at Break, 23 °C	ISO 527	%	> 15
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	2300
Nominal Strain at Break, 23 °C	ISO 527	%	12
Flexural Strength, 23 °C	ISO 178	MPa	65
Hardness, Ball Indentation	ISO 2039-1	MPa	99

Contact us:
Phone +49 (2133) 9309 – 168
infopoint.emea@styrolution.com
www.ineos-styrolution.com

Page 1 of 3
Revision Date: 2016.05.30

Terluran GP-35

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL
DATASHEET

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Thermal Properties			
Vicat Softening Temperature VST/B/50 (50N, 50 °C/h)	ISO 306	°C	95
Vicat Softening Temperature, VST/A/50 (10N, 50 °C/h)	ISO 306	°C	102
Heat Deflection Temperature A; (annealed 4 h/80 °C; 1.8 MPa)	ISO 75	°C	92
Heat Deflection Temperature B; (annealed 4 h/80 °C; 0.45 MPa)	ISO 75	°C	95
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ISO 11359	10 ⁻⁶ (/°C)	80 - 110
Thermal Conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.17
Electrical Properties			
Volume Resistivity	IEC 60093	Ohm*m	>1E13
Surface Resistivity	IEC 60093	Ohm	>1E13
Other Properties			
Density	ISO 1183	kg/m ³	1040
Water Absorption, Saturated at 23 °C	ISO 62	%	0.95
Moisture Absorption, Equilibrium 23 °C/50% RH	ISO 62	%	0.24
Yellowness Index	DIN 6167	-	13
Processing			
Linear Mold Shrinkage	ISO 294-4	%	0.4 - 0.7
Melt Temperature Range	ISO 294	°C	220 - 260
Mold Temperature Range	ISO 294	°C	30 - 80
Injection Velocity	ISO 294	mm/s	200
Drying Temperature		°C	80
Drying Time		h	2 - 4

Typical values for uncolored products

Terluran GP-35

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL
DATASHEET

SUPPLY FORM

Terluran® is delivered as spherical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm³. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film or delivery in silo trucks. PE bags should not be stored outside. In dry areas with normal temperature control, Terluran pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. Under poor storage conditions, Terluran absorbs moisture, but this can be removed by drying.

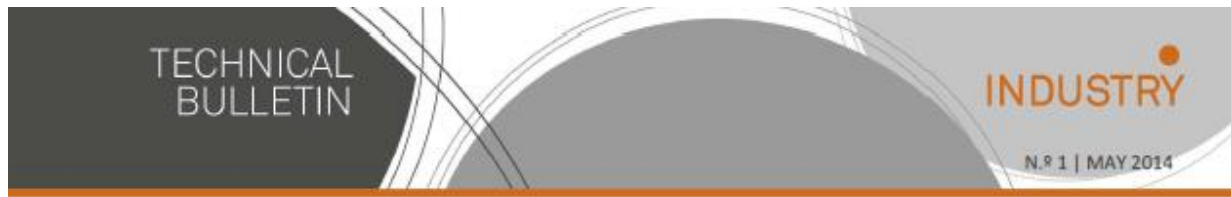
PRODUCT SAFETY

No adverse effects on the health of processing personnel have been observed if the products are correctly processed and the production areas are suitably ventilated. For styrene, acrylonitrile and 1,3-butadiene the maximum allowable workplace concentrations must be observed according to the pertaining national regulations. In Germany, the following limit values are valid (Oct. 2002): styrene, MAK-value: 20 ml/m³ = 86 mg/m³; acrylonitrile, TRK-value: 3 ml/m³ = 7 mg/m³ and 1,3-butadiene, TRK-value: 5 ml/m³ = 11 mg/m³. According to EU directive 67/548/EWG, Annex I and TRGS 905 (Oct. 2002), acrylonitrile and 1,3-butadiene are classified as carcinogenic, category 2 ("substances which should be regarded as if they are carcinogenic to man") and 1 (substances known to be carcinogenic to man), respectively. Experience has shown that during appropriate processing of Terluran with suitable ventilation the values obtained are well below the limits mentioned above. TRGS 402 (Germany) can be used for determining and assessing the concentrations of hazardous substances in the air within working areas. Inhalation of gaseous degradation products, such as those which may arise on severe overheating of the material or during pumped evacuation, must be avoided. Further information can be found in our Terluran safety data sheets.

DISCLAIMER

The above information is provided in good faith. INEOS Styrolution is not responsible for any processing or compounding which may occur to product finished articles, packaging materials or their components. Further, INEOS Styrolution MAKES NO WARRANTY OR REPRESENTATION OF ANY KIND, REGARDING THE INFORMATION GIVEN OR THE PRODUCTS DESCRIBED, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ALL IMPLIED WARRANTIES, REPRESENTATIONS AND CONDITIONS, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ALL WARRANTIES AND CONDITIONS OF QUALITY, MERCHANTABILITY AND SUITABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Responsibility for use, storage, handling and disposal of the products described herein is that of the purchaser or end user.

ANEXO VI – FICHA TÉCNICA CPC



CPC — Pellets range

The ACC CPC pellets range is based on selected polymers that have been compounded with cork granules, in special equipments to do not damage the cork intrinsic characteristics.

The resulting materials are a well balanced ratio between cork natural characteristics and the plastics processing advantages.

Note: MDS - Material Data Sheet - available upon request.



<h3>CPC-PE10</h3>	<h3>CPC-PL10</h3>	<h3>CPC-VC20</h3>
<p>PE - Polyethylene polymer with cork</p> <p>For rigid products</p> <p>Very good MFI</p> <p>High cork content</p> <p>For Injection and extrusion process</p> <p>Can be colored</p>	<p>PLA - Polylactic Acid with cork</p> <p>For rigid products</p> <p>Suitable for food-contact products</p> <p>Medium cork content</p> <p>For injection process</p> <p>Can be colored</p>	<p>PVC - Polyvinyl Chloride with cork</p> <p>For flexible products</p> <p>Ideal for shoe industry</p> <p>Low cork content</p> <p>For injection process</p> <p>Transparent look</p>
<h3>CPC-TE50</h3>	<h3>CPC-TE70</h3>	<h3>CPC-TE80</h3>
<p>Thermoplastic Elastomer with cork</p> <p>For very flexible products</p> <p>Very soft</p> <p>Excellent comfort characteristics</p> <p>For injection process</p> <p>Can be colored</p>	<p>Thermoplastic Elastomer with cork</p> <p>For flexible products and soft-touch</p> <p>Suitable for skin contact (EU std)</p> <p>Ideal for Grips</p> <p>UV resistant and can be colored</p> <p>For Injection and extrusion process</p>	<p>Thermoplastic Elastomer with cork</p> <p>For semi-rigid products</p> <p>Ideal for bonding in PP/PE</p> <p>UV resistant and can be colored</p> <p>Very good mechanical properties</p> <p>For injection process</p>





Cork Plastic Composite CPC-PE10

Material Properties	Method	Units	Result
Melt Flow Index (MFI)	ISO 1133	g/10 min.	26
Hardness	ASTM D2240	Shore D	54
Density (molded)	ASTM D792	g/cm ³	0,94
Tensile stress at break (molded)	ISO 527 -1/-2	MPa	11
Tensile strain at break (molded)	ISO 527 -1/-2	%	16
Impact resistance Izod	ISO 180	kJ/m ²	7
Abrasion resistance	DIN 53516	mm ³	NA

Material information:

- Pre-Drying: **4h @ 80° C <- Absolutely necessary.**
- Base Material: PE + Cork
- Additives: Polyolefin (PP/PE) base colorants can be added to the base material.
- Food regulation: NOT suitable for Food contact application.
- Recycling: 100% recyclable.

Processing information:

- Temperatures: from feeding 150°C ---> 175°C -- > 170°C nozzle (indicative values, dependent of the cycle time and machine size).

NOTE: Use the lowest temperature possible to process in order to avoid the cork turn darker. The cork gets darker with high temperatures.

- Screw speed: Low.
- Injection speed: Low-medium (high speed increase the internal temperature, darkening the cork).
- Injection pressure: Low.
- Back pressure: Low.
- Cooling time: bigger than standard materials (cork is an Insulation material).

Mold/Tool recommendations:

- Injection points/gates: diameter bigger than 1,5mm (the size of the cork granules is between 0,5 and 1,0 mm diameter).
- Injection runners: "open" to do not increase heat during the material flow.
- Hot-runners: avoid to use, the cork will remain inside.
- Engraved surfaces: the cork will reduce the texture/engraving on the molded piece.
- Mold/Tool cleaning: the tools shall be cleaned after each production. The cork release "sugar" during the injection that adheres to the mold surfaces.

ANEXO VII – FICHA TÉCNICA LDPE

Alcudia® Polietileno baja densidad

Química

Nota técnica



ALCUDIA® 2322M

El grado ALCUDIA® 2322M es un polietileno de baja densidad de alta fluidez destinado a aquellas aplicaciones de moldeo por inyección cuyos requerimientos sean unas buenas propiedades mecánicas y de flujo. No contiene aditivos en su formulación.

APLICACIONES

Por su buen balance de propiedades el grado ALCUDIA® 2322M es un producto muy versátil e idóneo para piezas de tamaños muy diversos

- Componentes industriales.
- Taponería en general.
- Juguetes.

Se recomienda trabajar con temperaturas de fundido entre 180-230°C. Las condiciones óptimas de transformación se deben ajustar para cada línea de producción.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
Generales			
Índice de fluidez (190°C/ 2,16 kg)	22	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	923	kg/m ³	ISO 1183
Mecánicas			
Módulo elástico en flexión	150	MPa	ISO 178
Resistencia a la tracción en el punto de rotura	9	MPa	ISO 527-2
Alargamiento en el punto de rotura	375	%	ISO 527-2
Térmicas			
Temperatura de reblandecimiento Vicat A120 (10N)	80	°C	ISO 306
Otras			
Dureza Shore D	47	-	ISO 868

El grado ALCUDIA® 2322M cumple la normativa europea de materiales para uso en contacto con alimentos. Para información más detallada, contacten con el Laboratorio de Asistencia Técnica y Desarrollo o con el Servicio de Atención Comercial.

ALMACENAMIENTO

El grado ALCUDIA® 2322M debe almacenarse en ambiente seco, zona pavimentada, bien drenada y no encharcable, temperatura inferior a 60°C y protegido de la radiación UV. El almacenamiento en condiciones no adecuadas puede iniciar procesos de degradación que influyen negativamente en la procesabilidad y en las propiedades del producto transformado.

Noviembre 2013

Esta información se da solamente a título orientativo. En cada caso el transformador será responsable de las condiciones de transformación, del uso final del producto y deberá tener en cuenta la posible existencia de patentes y derechos de la propiedad industrial.

Asistencia Técnica y Desarrollo:
Centro de Tecnología Repsol
Ctra. de Extremadura AS, Km 18
28931 Móstoles
Tel: +34 91 753 88 00

Sede Central:
Héctor Ávila, 44
28045 Madrid
España
www.quimica.repsol.com

Atención Comercial:
secc@repsol.com

ANEXO VIII – FICHA TÉCNICA EVA

Technical Data Sheet

**REPSOL
YPF**



**ALCUDIA®
EVA COPOLYMER**

EVA ALCUDIA® PA-538

DESCRIPTION

EVA copolymer ALCUDIA® PA-538 is suitable for extrusion and injection moulding applications. This material offers flexibility and toughness. It contains antioxidant additives.

EVA ALCUDIA® PA-538 fulfils the food contact regulations in most countries. For further information or certificates, contact our Customer Service Offices.

APPLICATIONS

- Extrusion
- Blow moulding
- Injection moulding
- Microcellular foams

Recommended melt temperature below 200°C to avoid the decomposition of the polymer.
Release agents such containing silicone must be avoided.

PROPERTIES	TEST METHOD	UNITS	VALUE
General			
Melt Flow Rate (190°C, 2.16kg)	ISO 1133	g/10 min	2
Vinyl Acetate content	Internal	%	18
Density at 23°C	ISO 1183	kg/m ³	937
Vicat softening temperature (load 10 N)	ISO 308	°C	64
Melting temperature	Internal	°C	87
ESCR	ASTM D-1693	h(F ₅₀)	>300
Mechanical			
Tensile strength at break	ISO 527-2	MPa	17
Elongation at break	ISO 527-2	%	750
Shore A Hardness	ISO 868	--	90
Shore D Hardness	ISO 868	--	38

STORAGE

EVA ALCUDIA® PA-538 should be stored in a dry atmosphere paved, drained and not flooded area at temperatures under 50°C and protected from UV radiation. Storage under improper conditions could trigger off degradation processes, negatively influencing processability and the properties of the transformed product.

February 2003

This information is offered in good faith and meant only as a guide. The transformer or user will be, in each case, responsible for the processing conditions and the final use of the product. Freedom under patents, copyright and registered designs cannot be assumed.

Head Office:
P.º de la Castellana, 280
28046 Madrid
Spain
www.repsolypf.com/quimica
e-mail: quimica@repsolypf.com

TS& Development:
Tel: +34 - 91 348 86 00
Fax: +34 - 91 530 45 17
e-mail: atdquimica@repsolypf.com
Ctra. de Extremadura, km 18
28931 Mostoles, Madrid
Spain

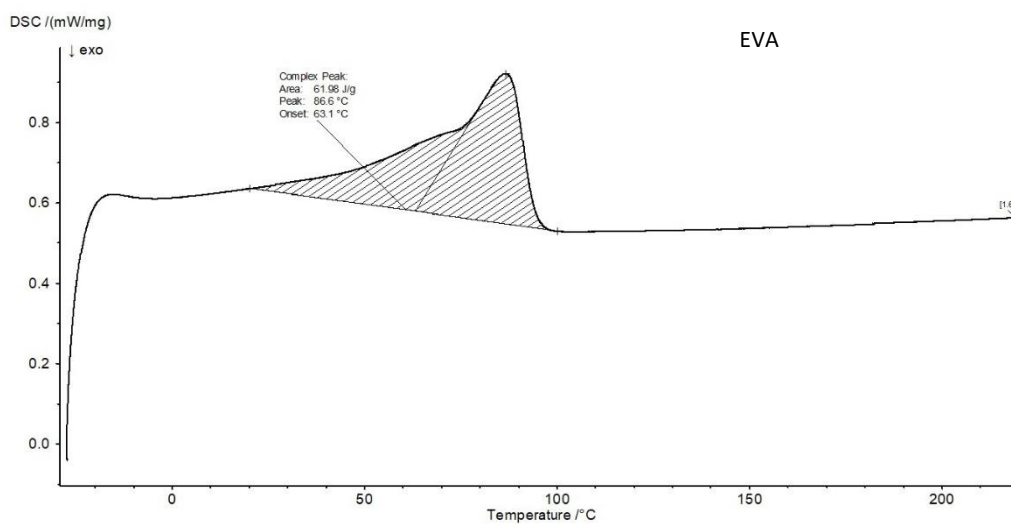
Customer Service in Europe:
UK, Ireland, Scandinavia:
France, Benelux:
Germany, Austria, Switzerland:
Italy:
Spain:
Portugal:
Other Countries:

Tel: 44 - 20 7581 0300
Tel: 33 (0) 146 965 102
Tel: 49 - 69 610 93 20
Tel: 39 - 02 40 933 92 05
Tel: 34 - 91 348 82 54
Tel: 800 55 55 55 11
Tel: 34 - 91 348 90 84

e-mail:
sac.uk@repsolypf.com
sac.france@repsolypf.com
sac.deutschland@repsolypf.com
sac.italy@repsolypf.com
sac.quimica@repsolypf.com
sac.portugal@repsolypf.com
sac.quimica@repsolypf.com

ANEXO IX – GRÁFICOS DSC

- Termograma do aquecimento do EVA



- Termograma do aquecimento do CPC

