



Universidade de Aveiro
2022

**BRUNO MIGUEL
MARQUES DE
ALMEIDA**

**Circularidade dos polímeros utilizados na indústria de
duas rodas**



Universidade de Aveiro
2022

**BRUNO MIGUEL
MARQUES DE
ALMEIDA**

Circularidade dos polímeros utilizados na indústria de duas rodas

Relatório de estágio apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Materiais, realizada sob orientação científica da Doutora Idalina José Monteiro Gonçalves, investigadora nível 1 no Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro e do Doutor Victor Fernando Santos Neto, professor auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e supervisão do Engenheiro Pedro Sá, “*Head of I&D*”, Polisport Plásticos S.A.

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre acreditaram em mim, que lutaram contra todas as adversidades para que eu pudesse atingir os meus sonhos e objetivos, para que eu tivesse um futuro melhor e para que eu fosse a melhor versão de mim mesmo. Sem eles, nada disto seria possível

Uma palavra e uma dedicatória especial para a minha avó, pela importância que teve e continua a ter na minha vida

o júri

Presidente

Prof. Doutor João António Labrincha Baptista
Professor associado no Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica
na Universidade de Aveiro.

Arguente

Doutora Tatiana Vladimirovna Zhiltsova
Investigadora douturada na Universidade de Aveiro.

Orientadores

Doutora Idalina José Monteiro Gonçalves
Investigadora auxiliar do Departamento de Materiais e Cerâmica da
Universidade de Aveiro.

Prof. Doutor Vitor Fernando Santos Neto
Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica.

agradecimentos

Com o fim desta etapa, a mais bonita da minha vida, gostaria de exprimir os meus agradecimentos a todos aqueles que estiveram ao meu lado durante este percurso e que, de uma forma ou de outra, permitiram que esta dissertação se realizasse.

Agradeço à Universidade de Aveiro e à Polisport Plásticos pela oportunidade de realizar esta dissertação em ambiente empresarial, a qual me permitiu adquirir conhecimentos valiosos e que contribuiu para o meu crescimento, tanto pessoal como profissional.

À Doutora Idalina Gonçalves e ao Professor Victor Neto. Por toda a disponibilidade, orientação a apoio durante a realização desta dissertação.

Ao Engenheiro Pedro Sá. Pela ajuda, pela oportunidade e por permitir que vivenciasse esta experiência na equipa de I&D da Polisport Plásticos.

Ao Miguel Martinho. Por todo o tempo disponibilizado, conhecimento transmitido e bons momentos partilhados.

À restante equipa de I&D da Polisport Plásticos: Miguel Pinto, Carlos Amaral e Carla Oliveira. Obrigado a todos, pelo apoio, pela experiência transmitida e por todos os momentos de companheirismo.
Estarei para sempre grato.

À minha família. Por serem o meu suporte em todos os momentos, por todo o amor e por me fazerem sempre acreditar em mim. Não há palavras que consigam expressar a minha gratidão.

À Margarida. Por todo o carinho, por estar sempre ao meu lado, nos bons e nos maus momentos. Mas acima de tudo, por me fazer uma pessoa melhor.

Aos meus amigos. Por tudo o que vivemos durante este percurso tão bonito.

palavras-chave

Moldação por injeção, plásticos, polipropileno, sustentabilidade, economia circular, resíduos, matéria-prima virgem, reciclados pós-consumo, Oceanix, mares e oceanos.

resumo

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na empresa Polisport Plásticos, tendo como principal objetivo o estudo da viabilidade da substituição de matéria-prima virgem por matéria-prima reciclada na produção de componentes para produtos à base de polipropileno na indústria das duas rodas (bicicletas e motocicletas). Este estudo nasceu da necessidade de reduzir a quantidade de resíduos plásticos no meio ambiente, bem como a pegada ecológica do setor dos plásticos. Assim, e sendo esta uma questão de alta importância para a Polisport Plásticos, com este projeto pretendeu-se alcançar uma maior sustentabilidade do que aquela que oferecem os produtos desenvolvidos pela empresa. Inicialmente foram selecionadas as matérias-primas adequadas ao tipo de formulação que se pretendia desenvolver. Após uma fase de pesquisa e estudo do mercado, foi decidido que a matéria-prima reciclada a utilizar seria um produto reciclado pós-consumo denominado por Oceanix e desenvolvido pela Plastix, uma empresa dinamarquesa ligada à gestão de resíduos marinhos. A escolha da matéria-prima virgem recaiu sobre o PP Copolímero da Sabic, normalmente utilizado pela Polisport Plásticos nas suas operações. Conhecidas as matérias-primas, tornou-se necessário escolher um produto final onde fosse possível aplicar e testar as hipóteses, ficando definidos os porta-bebês para objeto de estudo. O trabalho experimental iniciou com a definição e mistura das composições de cada uma das matérias-primas: Grupo Controlo 1 (100% PP), Mistura 1 (80% PP + 20% Oceanix), Mistura 2 (60% PP + 40 % Oceanix) e Grupo Controlo 2 (100% Oceanix). Através do processo de moldação por injeção foram injetados provetes de cada uma das formulações, sendo estes, numa fase posterior, testados a várias propriedades, nomeadamente características cromáticas, dureza e resistência à tração, flexão e impacto.

Os provetes com 100% de PP possuíam cor branca. No entanto com a adição de Oceanix, os provetes adquiriram tom esverdeado, cuja intensidade aumentou com a quantidade de Oceanix. A incorporação de Oceanix aumentou a resistência à tração e à flexão dos materiais à base de PP. Pelo contrário, a adição de Oceanix diminuiu a resistência ao impacto à temperatura ambiente (23°C) e a temperaturas negativas (-20°C) dos materiais à base de PP. Os valores de dureza dos materiais à base de PP aumentaram com o aumentada percentagem de Oceanix. Com os resultados obtidos foi possível aferir que a formulação que confere mais garantias para a produção de porta-bebês, é a Mistura 1 (80% PP + 20% Oceanix). Esta formulação foi aplicada em produto final, nomeadamente em alguns exemplares de porta-bebês.

O presente estudo permitiu, então, inferir que Oceanix, uma matéria-prima reciclada, permite diminuir o uso de matérias-primas virgens na produção de porta-bebês, permitindo a implementação e uma economia circular na empresa Polisport Plásticos.

keywords

Injection molding, plastics, polypropylene, sustainability, circular economy, waste, virgin raw material, post-consumer recycles, Oceanix, seas and oceans.

abstract

This dissertation was carried out in a business environment, in the company Polisport Plásticos, with the main objective of studying the feasibility of replacing virgin raw material with recycled raw material in the production of components for polypropylene-based products in the two-wheel industry (bicycles and motorcycles). This study was born from the need to reduce the amount of plastic waste in the environment, as well as the ecological footprint of the plastics sector. Thus, and as this is an issue of high importance for Polisport Plásticos, this project aimed to achieve greater sustainability than that offered by the products developed by the company. Initially, the raw materials suitable for the formulation intended to be developed were selected. After a market research and study phase, it was decided that the recycled raw material to be used would be a post-consumer recycled product called Oceanix and developed by Plastix, a Danish company linked to marine waste management. The choice of virgin raw material fell on PP Sabic Copolymer, normally used by Polisport Plásticos in its operations. Once the raw materials were known, it became necessary to choose a final product where it would be possible to apply and test the hypotheses, and the baby carriers were defined as the object of study. The experimental work began with the definition and mixing of the compositions of each raw material: Control Group 1 (100% PP), Mixture 1 (80% PP + 20% Oceanix), Mixture 2 (60% PP + 40% Oceanix) and Control Group 2 (100% Oceanix). Through the injection molding process, specimens of each of the formulations were injected, and these, at a later stage, were tested for various properties, including chromatic characteristics, hardness and tensile, flexural, and impact strength. The specimens with 100% PP had a white color. However, with the addition of Oceanix, the specimens acquired a greenish tone, whose intensity increased with the amount of Oceanix. The incorporation of Oceanix increased the tensile and flexural strength of PP-based materials. On the contrary, the addition of Oceanix decreased the impact strength at room temperature (23°C) and negative temperatures (-20°C) of the PP-based materials. The hardness values of the PP-based materials increased with an increasing percentage of Oceanix. With the results obtained it was possible to determine that the formulation that gives the best guarantees to produce baby carriers, is Mixture 1 (80% PP + 20% Oceanix). This formulation was applied in the final product, namely insome baby carriers. This study allowed, then, to infer that Oceanix, a recycled raw material, allows reducing the use of virgin raw materials in the production of baby carriers, allowing the implementation of a circular economy in the company Polisport Plásticos.

Índice

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xii
Lista de Abreviaturas.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Polisport Plásticos.....	1
1.2 Organização da Dissertação	2
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Processamento de polímeros via moldação por injeção.....	4
2.2. Polipropileno	7
2.3. Sustentabilidade na produção de produtos à base de PP.....	9
2.4. Economia circular para mitigar a presença de plásticos nos oceanos.....	9
3. Material e Métodos	18
3.1. Material	18
3.2. Métodos.....	18
3.3. Seleção de Materiais	20
3.4. Fabrico de Provetes.....	22
3.5. Ensaio mecânicos	27
3.5.1. Ensaio à tração e à flexão	27
3.5.2. Ensaio de Impacto Charpy	29
3.5.3. Ensaio à Dureza Shore D.....	30
4. Análise e Discussão de Resultados	32
4.1. Características cromáticas dos materiais à base de PP/Oceanix.....	32
4.2. Resistência à tração dos materiais à base de PP/Oceanix	33
4.3. Resistência à flexão dos materiais à base de PP/Oceanix	35
4.4. Resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix.....	36
4.5. Dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix	38
4.6. Aplicação e Produção em Produto Final.....	39
5. Conclusão.....	41
Referências Bibliográficas	42
Anexos.....	46
Anexo 1.....	46
Anexo 2.....	48
Anexo 3.....	49

Índice de Figuras

Figura 1. Principais produtos comercializados na Polisport [21]	2
Figura 2. Ciclo de Injeção [2]	5
Figura 3. Estrutura química do polipropileno [Desenvolvido pelo software ChemDoodle]	8
Figura 4. Esquema relativo ao funcionamento da economia circular [12].	10
Figura 5. Exemplo de plásticos nas mais variadas formas depositadas no oceano [17].	11
Figura 6. Fatores que influenciam a interação entre os microplásticos e os compostos orgânicos [18].	12
Figura 7. Exemplo de tartaruga afetada pela presença de plásticos em ambiente marinho [17].....	12
Figura 8. Etapas do ciclo de vida de um produto [19]	14
Figura 9. Exemplos de PIR e PCR [21].....	15
Figura 10. Esquematisação das etapas e métodos aplicados aos resíduos plásticos pós- consumo (PCR) [21].	16
Figura 11. Exemplos de aplicações do rPPC e do rHDPE [27]	17
Figura 12. Fluxograma da parte experimental.	19
Figura 13. Exemplo de um porta-bebé comercializado pelo Grupo Polisport [1]	20
Figura 14. Provette standard segundo a norma ISO 527 (unidades em mm).....	23
Figura 15. Máquina de Injeção BA 4500/2800 BK.....	23
Figura 16. Forno industrial utilizado no processo de estufagem das matérias-primas.	24
Figura 17. Especificações do forno.....	24
Figura 18. Oceanix disposto no forno e pronto a ser estufado.....	24
Figura 19. PE utilizado na limpeza do fuso.	26
Figura 20. Equipamento universal Shimadzu AG-X nas instalações do PIEP	27
Figura 21. Exemplo de um ensaio de tração num dos provetes analisados.	28
Figura 22. Equipamento Ceast Resil Impactor.	29
Figura 23. Amostra standard segundo a norma ISO 179-1 (unidades em mm).....	30
Figura 24. Durómetro Shore CV INSTRUMENTS	30
Figura 25. Preparação dos provetes para o ensaio à Dureza Shore D.	31

Figura 26. Provetes moldados por injeção: A) 100% PP; B) 80% PP/20% Oceanix; C) 60% PP/40%	32
Figura 27. Valores da Resistência à Tração.....	33
Figura 28. Valores do Módulo de Tração.....	34
Figura 29. Exemplo da rutura de um dos provetes tracionados (80%/20% PP/Oceanix).....	35
Figura 30. Valores máximos da resistência à flexão dos materiais à base de PP/Oceanix.....	35
Figura 31. Valores de resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix determinados a 23 °C.....	37
Figura 32. Valores de resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix determinados a temperaturas negativas (-20 °C).....	37
Figura 33. Valores médios instantâneos de dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix.....	38
Figura 34. Valores médios de dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix após 15 s.....	39
Figura 35. Exemplar de porta-bebé.....	40
Figura 36. Porta-bebé na Eurobike.....	40
Figura A1. Informação geral da ficha técnica do PP Copolímero da Sabic [28].....	46
Figura A2. Propriedades presentes na ficha técnica do PP Copolímero da Sabic [28]..	47
Figura A3. Ficha técnica do Oceanix [14].....	48

Índice de Tabelas

Tabela 1. Requerimentos para a produção de Porta-Bebés no Grupo Polisport.	20
Tabela 2. Principais Propriedades do PP Copolímero da Sabic.....	21
Tabela 3. Principais Propriedades do Oceanix rPPC 210-001 Green.....	21
Tabela 4. Composições das formulações à base de PP Copolímero da Sabic/ Oceanix rPPC 210-001 Green desenvolvidas neste estudo	22
Tabela 5. Massas utilizadas em cada uma das formulações definidas.....	23
Tabela 6. Parâmetros de injeção utilizados no desenvolvimento das formulações à base de PP Copolímero da Sabic/Oceanix rPPC 210-001 Green.....	25
Tabela A1. Valores Instantâneos da Dureza	49
Tabela A2. Valores da Dureza, medidos após 15 segundos.	49

Lista de Abreviaturas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ISO – Organização Internacional de Normalização

MPa – Mega Pascal

PCR – Reciclado Pós-Consumo

PE - Polietileno

PET – Politereftalato de Etileno

PIEP – Pólo de Engenharia e Inovação de Polímeros

PIR – Reciclado Pós-Industrial

PLA – Ácido Polilático

POPs – Poluentes Orgânicos Persistentes

PP - Polipropileno

UV – Ultravioleta

1. Introdução

O presente estágio curricular realizado na empresa Polisport Plásticos S.A. visou o estudo da viabilidade da substituição de matéria-prima virgem por matéria-prima reciclada na produção de componentes para produtos de duas rodas à base de polipropileno (PP). O tema tem impacto, tanto ao nível da sociedade como a nível interno, na Polisport. Ao nível da sociedade, o estudo de produtos com maior sustentabilidade acarreta benefícios positivos na gestão dos recursos naturais melhorando a qualidade de vida do Homem e não comprometendo as gerações futuras. Ao nível da Polisport, existe o total interesse em desenvolver este tipo de produtos de forma a diminuir a pegada ecológica provocada pela empresa e de forma a assegurar soluções internas para o futuro dos plásticos associados a esta indústria específica. O sucesso deste projeto contribuirá para aumentar a sustentabilidade do processo de componentes para produtos de duas rodas, mantendo o material produzido com matéria-prima reciclada competitivo com os materiais utilizados atualmente no Grupo Polisport. Para alcançar este principal objetivo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- ❖ Pesquisa bibliográfica e seleção de um tipo de PP reciclado comercialmente disponível;

- ❖ Fabrico e caracterização de provetes à base de PP virgem/PP reciclado moldado por injeção, com percentagens variáveis do PP reciclado;

Os resultados obtidos em cada um destes objetivos específicos permitiram definir a gama de quantidade de PP reciclado adequada para produzir componentes para produtos de duas rodas competitivos com os produtos atualmente compostos exclusivamente à base de PP virgem.

1.1 Polisport Plásticos

O Grupo Polisport Plásticos foi fundado pelo seu CEO, Pedro Araújo, em 1978, nascendo do seu interesse na indústria das duas rodas (bicicletas e motociclos). Começaram-se por produzir peças para motociclos, sendo este o impulso que tornou a Polisport numa marca de renome internacional. Posteriormente, em 1988, iniciou-se a produção de acessórios para bicicletas. Numa fase inicial as cadeiras, depois os guarda-lamas, os bidões e os capacetes. Atualmente, o Grupo é dividido em 5 empresas, sendo uma delas a Polisport Plásticos, tendo uma presença bastante sólida no mercado de produtos relacionados com bicicletas e motociclos, assim como na área dos polímeros, estando presente em mais de 72

países por todo o mundo [1].

A internacionalização, a inovação e a qualidade são os principais objetivos que caracterizam toda a Polisport Plásticos. A empresa especializou-se em acessórios para todo-o-terreno, bicicletas e fabrico de produtos personalizados; é atualmente líder do mercado emporta-bebés, acessórios de bicicletas e motos (**Figura 1**); e, está estabelecido ao nível internacional e com uma presença crescente ao longo dos anos. Na Polisport Plásticos são, por exemplo, produzidas anualmente mais de meio milhão de cadeiras de criança.

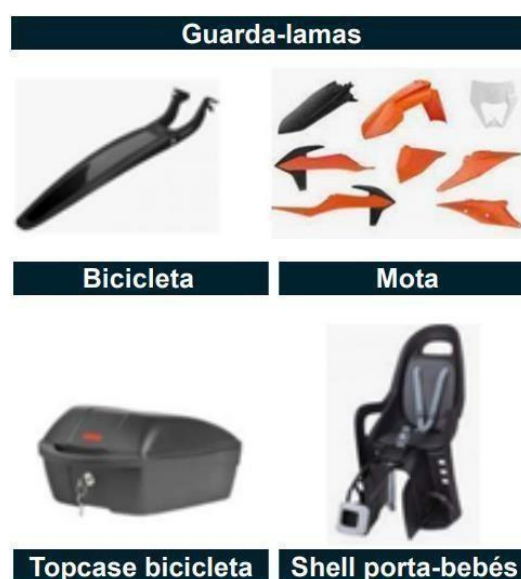


Figura 1. Principais produtos comercializados na Polisport [21].

As peças e componentes são produzidos utilizando processos de injeção e moldação por sopro, tendo em conta as necessidades específicas dos mercados envolvidos. Ao nível do tipo de materiais utilizados na produção deste tipo de componentes destacam-se os polímeros, tal como o polipropileno (PP).

1.2 Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se subdividida em 4 capítulos. No primeiro capítulo, a revisão bibliográfica, são abordados tópicos importantes como o processo de moldação por injeção, o polipropileno, assim como as suas propriedades, características e questões ambientais associadas à produção de produtos com base neste material. É também abordada a questão da economia circular associada, principalmente, aos resíduos plásticos que se encontram nos mares e oceanos. O segundo capítulo, é centrado na descrição dos materiais

utilizados ao longo de todo o processo, bem como o seu processo de escolha. Para além dos materiais, são descritos também todos os métodos utilizados para serem atingidos os resultados esperados. No terceiro capítulo, são analisados e discutidos todos os resultados obtidos durante a realização deste projeto. Finalmente, no último capítulo são retiradas conclusões com base nos resultados, na análise/discussão dos mesmos e fazendo um balanço de toda a experiência adquirida.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são abordados os temas com maior relevância para a realização desta dissertação. Numa fase inicial, é apresentado o processo de moldação por injeção percorrendo-se todas as suas etapas, parâmetros e especificidades. Numa fase seguinte, é realizado um enquadramento em relação ao PP, abordando-se as suas origens, propriedades e aplicações. Serão dados também exemplos da combinação de materiais reciclados com matrizes de PP. Já no último subcapítulo, será dada maior atenção aos problemas que surgem com a existência de resíduos plásticos nos mares e oceanos, assim como o papel da Economia Circular nesta questão e algumas alternativas que podem ajudar a minimizar as consequências.

2.1. Processamento de polímeros via moldação por injeção

O processo de moldação por injeção é um dos principais no que toca à transformação de materiais poliméricos, assumindo assim uma posição importante no mercado e nas mais diversas áreas como a construção civil, indústria automóvel, medicina, entre outras. A Polisport não foge a esta regra e faz da moldação por injeção, seu processo central. De uma forma geral, define-se como o processo no qual um material plástico em forma de granulado e no estado sólido, é introduzido numa tremonha e encaminhado depois para a máquina de injeção. Numa fase seguinte, o material é aquecido até se tornar plástico, para depois ser injetado sob pressão para o interior da cavidade do molde, preenchendo-a e adquirindo assim a forma pretendida. Posteriormente, o material arrefece recuperando os valores de rigidez, sendo que depois é ejetado [2]. A moldação por injeção agrupa um conjunto de etapas cíclicas (**Figura 2**).

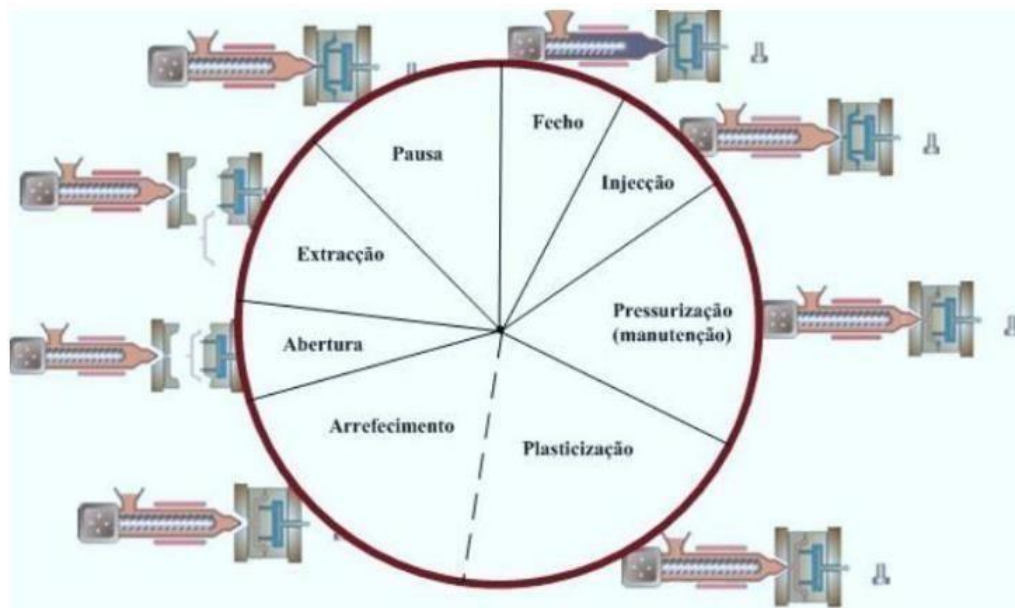


Figura 2. Ciclo de Injeção [2].

Cada uma destas etapas depende da anterior e tem um papel importante na garantia da qualidade do processo, permitindo que as peças produzidas cumpram os requisitos pretendidos, o mais rapidamente possível. O ciclo de injeção é dividido em 6 etapas:

Etapa 1 – Fecho e trancamento: O sistema hidráulico, ao movimentar a placa móvel na direção da placa fixa, provoca o fecho e o trancamento do molde e dá assim início ao ciclo de injeção. Esta etapa deve acontecer no mínimo espaço de tempo possível, sendo que dependerá sempre do desempenho da máquina em questão e das características do próprio molde. É crucial o controlo da velocidade de fecho do molde, de forma a não existir dano nas superfícies quando se dá o contacto entre as duas placas.

Etapa 2 – Injeção: Nesta etapa do ciclo de injeção, o cilindro encosta ao bico do molde e dá-se o avanço da unidade de injeção. O parafuso é empurrado, o que por si só vai forçar a entrada do material para o interior da cavidade do molde. Para se atingir o máximo de eficácia é necessário alcançar um equilíbrio na velocidade de injeção, nomeadamente entre a rapidez de preenchimento e replicação dos contornos do molde.

Etapa 3 – Pressurização e compressão: Normalmente, a quantidade de material introduzido no interior do molde é superior ao volume final do produto. O excesso de material faz com que haja um aumento da pressão interna da cavidade, sendo esta a 1ª pressão (pressurização). A 2ª pressão (compressão) tem como principal objetivo minimizar a contração de material, quando esta é arrefecida.

Etapa 4 – Arrefecimento: A etapa de arrefecimento inicia quando o material é injetado para o interior da cavidade. Quando a peça atinge uma temperatura que permita a sua extração sem que haja distorção, esta etapa termina.

Etapa 5 – Abertura e ejeção: Assim que a peça arrefece, o molde é aberto e a peça é ejetada.

Etapa 6 – Tempo Morto: O tempo morto corresponde ao intervalo de tempo entre o momento em que a peça está pronta a ser retirada do molde e o início de um novo ciclo. O método de extração, automático ou manual, vai afetar a duração desta etapa. A extração automática será sempre mais rápida em comparação com a extração manual, sendo quase instantânea. Quanto maior o número de tempos mortos, menor a produtividade do processo [2].

No desenvolvimento de um processo de moldação por injeção, o objetivo passa sempre por rentabilizar o processo, isto é, de tornar o processo consistente e robusto de forma que haja redução do desperdício, seja de material ou de custo. Esta robustez e consistência é assegurada se tiver em consideração os fatores críticos englobados na injeção:

Design da Peça – O *design* deve ser adequado ao processo e às características do material, diminuindo de forma significativa potenciais defeitos e/ou falhas.

Material – A escolha do material deve ser executada de forma a garantir a qualidade prevista e corresponder às expectativas dos clientes. Para além disso, deve ser compatível com o equipamento (máquina de injeção).

Construção e Design no Molde – O *design* do molde deve ser idealizado de forma a obter a localização ideal para o ataque, canais de alimentação e arrefecimento. Além disso deverá ainda ter uma construção robusta que permita suportar o próprio processo e o comportamento do material. Torna-se assim imperativo ter em conta as características específicas do material em questão e o desgaste que este poderá provocar no molde.

Máquina de Injeção – Deverá existir uma relação proporcional entre a capacidade de injeção das máquinas e o volume da zona moldante dos moldes, bem como entre as dimensões dos moldes e a tonelagem das máquinas. Mais uma vez, é importante a adaptação da máquina ao material utilizado.

Processo de Injeção – Para o bom funcionamento do processo é necessário que todos fatores anteriormente mencionados cumpram o seu propósito, assegurando assim todas as especificações requeridas e necessárias.

Existem várias condições operacionais que influenciam o processo de moldação por injeção e o seu resultado, nomeadamente os parâmetros do processo e as variáveis operatórias. Os parâmetros do processo definem-se como os aspetos geométricos ou construtivos idealizados no projeto de peça, molde ou equipamento. O operador não apresenta qualquer tipo de capacidade de intervenção nestes parâmetros, uma vez que são estipulados no projeto de peça/molde e seleção de equipamento. A capacidade da máquina, as dimensões do bico, o sistema de alimentação e a distribuição de temperatura na superfície moldante são os parâmetros de maior relevância no processo.

Já as variáveis operatórias podem ser manipuladas pelo operador, podendo recorrer ao sistema de controlo ou dispositivos auxiliares, destacando-se a velocidade, tempo, temperatura, pressão e percurso [2].

2.2. Polipropileno

O polipropileno (PP) é dos polímeros mais utilizados na indústria dos plásticos, devido ao seu baixo custo (mesmo comparando com outros plásticos) e às propriedades vantajosas como a excelente resistência à distorção térmica, à fadiga e às altas temperaturas, boas propriedades elétricas, elevada dureza superficial e brilho, sendo também quimicamente inerte. Esta realidade também existe no Grupo Polisport, sendo que o PP assume uma posição central na maioria das operações que são realizadas [3].

Desenvolvido no ano de 1954 por Giulio Natta, a comercialização do PP teve início em 1957 pela empresa Italiana Montecatini. Na sua produção são utilizados catalisadores Ziegler-Natta, sendo este tipo de catalisador altamente eficaz durante o processamento [4]. O seu monómero é o propeno ou propileno (C_3H_6). As suas macromoléculas podem conter milhares de unidades monoméricas, formando cadeias longas (**Figura 3**) [5].

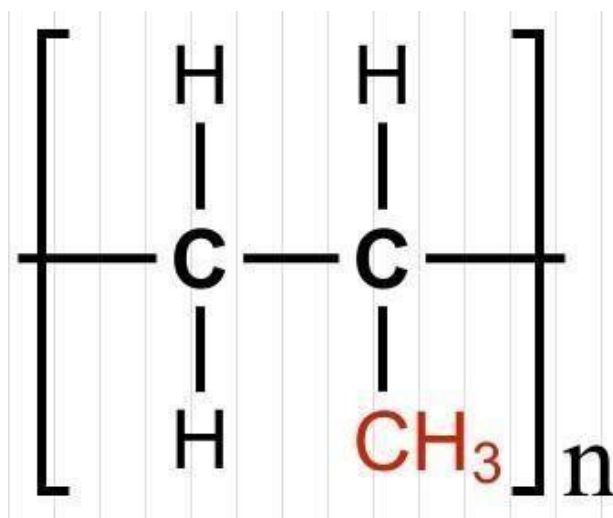


Figura 3. Estrutura química do polipropileno [Desenvolvido pelo software ChemDoodle].

A gama de aplicações do PP é bastante ampla, podendo ser utilizado na produção de garrafas, embalagens flexíveis, brinquedos, copos plásticos, componentes automóveis, material desportivo, entre outras inúmeras aplicações [6].

A sua popularidade foi aumentando rapidamente ao longo dos anos, muito devido à sua menor densidade, quando comparado com a densidade dos polímeros associados às *commodities*, o que juntando a outras propriedades faz com que o PP compita com os plásticos de engenharia, mas a um preço bem mais acessível [4]. A estrutura de produtos ou peças produzidas a partir de PP, assim como as suas propriedades dependem da relação entre a estrutura molecular, morfologia e processamento. Esta relação torna-se muito importante e ao mesmo tempo complexa. Num determinado momento, a necessidade de melhoria do produto em relação às suas propriedades é sustentada a partir da alteração da morfologia do próprio polímero, ou seja, a alteração da morfologia do PP. Desta forma são obtidas as melhorias requeridas, podendo existir problemas ao nível do processamento e do custo final. Portanto, a inovação dos produtos à base de PP requer sempre um equilíbrio entre todas as vertentes envolvidas no processo global [6-7]. Uma outra estratégia utilizada para melhorar as propriedades dos materiais à base de PP é a incorporação de agentes de reforço, frequentemente designadas de cargas. A argila tem sido uma das cargas utilizadas no desenvolvimento de produtos à base de PP, permitindo aumentar em, aproximadamente, 30% o valor do seu módulo de *Young*, o que se traduz no aumento da ductilidade do produto final [8]. A grafite é também um dos exemplos de cargas aplicadas em formulações à base de PP, sendo que o seu principal objetivo é a melhoria das propriedades elétricas, como é o caso da condutividade, mas também a

melhoria das propriedades mecânicas. Está comprovado que a utilização de percentagens de grafite entre 1% e 20% provocam um aumento da condutividade de forma proporcional [8]. O uso de biopolímeros, como por exemplo, o ácido polilático (PLA) também tem sido utilizado como carga para materiais à base de PP, permitindo outras valências quando comparado ao PP virgem. No entanto, o seu processamento é um entrave ao processo, principalmente no processo de moldação por injeção, devido à sua taxa de contração volumétrica muito baixa. Em 2010 foi testada a integração de uma percentagem variável (entre 6% e 13%) de PLA juntamente com uma percentagem fixa de fibras de bambu (35%), permitindo aumentar a cristalinidade e diminuir a viscosidade da formulação à base de PP [8].

2.3. Sustentabilidade na produção de produtos à base de PP

O PP, tal como a maioria dos polímeros utilizados na produção de plásticos, advém de moléculas derivadas do petróleo, o que compromete a sustentabilidade destes setores e do ambiente [9]. Como alternativa tem sido explorada a possibilidade de utilizar matérias-primas recicladas na produção de plásticos, diminuindo assim a quantidade de matérias-primas virgens. Diariamente são produzidas grandes quantidades de plásticos que, quando devidamente recicladas, podem dar origem a matérias-primas com características ainda adequadas para serem utilizadas no processamento de plásticos [9]. Existe, por exemplo, o estudo sobre a incorporação de fibras de polietileno tereftalato (PET) reciclado em matrizes de PP, onde são adicionadas percentagens de 3%, 5% e 7%, o que resulta no aumento da resistência à tração quando comparadas com PP virgem [10]. Até à data, os estudos existentes não são relacionados diretamente com a incorporação de reciclados pós-consumo provenientes dos oceanos em PP virgem.

2.4. Economia circular para mitigar a presença de plásticos nos oceanos

A combinação de matérias-primas recicladas com matérias-primas virgens permite a alteração da economia linear, atualmente ainda muito seguida no setor dos plásticos, pela economia circular (**Figura 4**). A economia circular assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem tanto de materiais, como de energia [11].



Figura 4. Esquema relativo ao funcionamento da economia circular [12].

O conceito da economia circular tem como base três princípios fundamentais: (1) manter os recursos em uso o máximo de tempo possível; (2) diminuir o desperdício residual; (3) recuperar e regenerar produtos e materiais. Para além disso atua em três áreas-chave: produção; consumo; gestão de resíduos [11]. Nos tempos que correm, nota-se uma clara política no que toca à diminuição de resíduos, bem como a redução da pegada ecológica dos plásticos. Dentro deste tema, e embora os plásticos desempenhem um papel de relevante importância na sociedade atual, surge a necessidade de reduzir os resíduos plásticos, principalmente devido à enorme quantidade de substâncias depositadas no meio ambiente (por exemplo, nos mares e oceanos). Ao longo dos anos, o volume de lixo marinho subiu de forma descontrolada, o que afeta de forma extremamente negativa todos os ecossistemas marinhos e coloca em risco os oceanos e mares do planeta. As proporções variam de região para região, mas o lixo plástico é comprovadamente o mais abundante, havendo até quem defenda que após a “Era da Pedra” e a “Era do Ferro”, a sociedade contemporânea vive agora na “Era do Plástico” devido à capacidade do plástico se proliferar em inúmeras formas, tamanhos e cores, seja nas regiões densamente povoadas ou em áreas mais remotas [13-16]. Na **Figura 5** está presente um dos muitos exemplos da acumulação dos plásticos no oceano.



Figura 5. Exemplo de plásticos nas mais variadas formas depositadas no oceano [17].

Este tipo de lixo consiste em plásticos produzidos ou utilizados pelo ser humano e que acabam por ser depositados no mar, de forma deliberada ou não, sendo que o processo inclui o seu percurso pelos rios, sistemas de esgoto, drenagens ou mesmo pelo vento. Percebe-se que este problema é causado pela combinação entre uma má gestão de resíduos e um comportamento desapropriado por parte do ser humano. Neste momento, estima-se que a quantidade de plásticos presente nos oceanos seja entre 75 e 199 milhões de toneladas, correspondendo a 85% da totalidade de resíduos marinhos, sendo que estes valores poderão triplicar até 2040, numa perspetiva de ausência das medidas e intervenções necessárias [13-16].

Os detritos plásticos possuem diferentes tamanhos e são caracterizadas consoante a medida, em *mega*, *macro*, *meso* e *micro*. *Mega* é o termo referente a plásticos com mais de 100 mm, *macro* é utilizado para medidas entre 20 e 100 mm, *meso* para medidas entre 5 e 20 mm e, por fim, *micro* é utilizado para mencionar material plástico com menos de 5mm. Asemblagens de plástico, garrafas de plástico, sacas de plástico e redes de pesca são os principais representantes dos itens *mega* e *macro* [13].

Quando ocorre a degradação dos plásticos ao longo do tempo, em ambiente marinho, são transferidos e libertados microplásticos (**Figura 6**); microfibras, tanto de origem sintética, como de origem natural; químicos tóxicos; metais; e, micropoluentes, havendo a interação entres estes compostos e os compostos orgânicos.

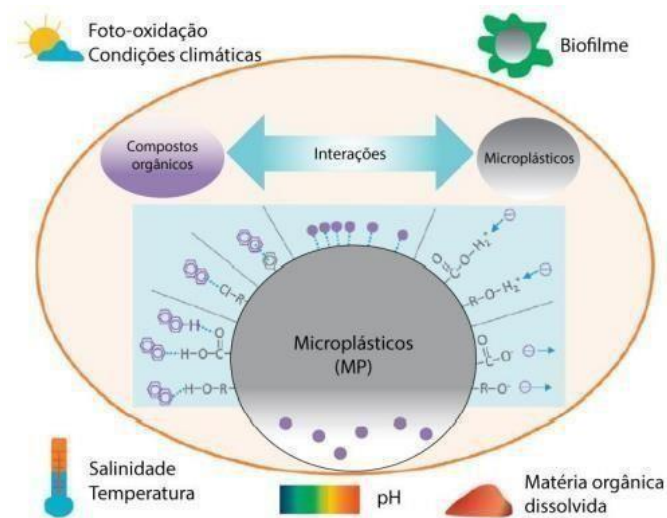


Figura 6. Fatores que influenciam a interação entre os microplásticos e os compostos orgânicos [18].

Conseqüentemente, são ameaçadas, de forma direta ou indireta, várias espécies marinhas como baleias, leões marinhos e tartarugas (**Figura 7**), mas também invertebrados como plâncton, bivalves e corais, afetando todos os níveis das cadeias alimentares, bem como os ecossistemas envolvidos. De acordo com a convenção sobre a diversidade biológica, a poluição plástica atinge 663 espécies marinhas, seja por ingestão, emaranhamento ou contacto com aditivos tóxicos. Esta questão causa ainda um grande impacto no ciclo de carbono, quanto maior o dano nos oceanos, mais difícil será manter a resistência dos ecossistemas às mudanças climáticas [17].



Figura 7. Exemplo de tartaruga afetada pela presença de plásticos em ambiente marinho [17].

Constituindo, de forma óbvia, um risco claro para a biodiversidade marinha, o plástico constitui também um risco para a saúde humana, uma vez que a ingestão de frutos do mar contaminados ou o contacto com organismos contaminados pode levar a complicações de saúde. Os organismos podem estar contaminados por aditivos incorporados no próprio plástico ou por poluentes orgânicos persistentes (POPs). Os POPs, como é o caso dos pesticidas, ligam-se à estrutura do plástico através das águas circundantes, sendo que um simples pedaço de plástico pode atrair concentrações gigantescas deste tipo de poluentes, ficando de imediato disponíveis para toda a biodiversidade marinha envolvente. Ao chegar ao estômago, seja de espécies marinhas ou humanos, podem ser sentidas alterações no pH, na temperatura e desregulações endócrinas e cancerígenas [16]. Para além dos impactos de saúde, a poluição plástica presente nos oceanos acarreta grandes custos para a economia global, afetando os mais variados setores como o turismo, a pesca, sistemas de aquacultura, operações portuárias e marítimas. Perda de dias de turismo, danos resultantes a infraestruturas de lazer e turismo, prejuízo a atividades comerciais e atividade pesqueira são alguns dos efeitos negativos associados. Estima-se que em 2018 o custo associado a este tipo de poluição foi, pelo menos e globalmente, entre 6 e 19 milhões de euros [17].

Apesar de ainda não existir uma solução imediata que possa acabar com o impacto ambiental dos resíduos plásticos, existem várias soluções que poderão ser a fonte de resolução desta questão: a implementação de novas medidas, políticas e legislação, investimento aplicado nessa direção, apoio de iniciativas de diminuição de resíduos, campanhas de sensibilização e organização de eventos com as partes interessadas são algumas das principais medidas [17]. Uma das estratégias incide na avaliação do ciclo de vida (ACV) dos plásticos. Este é um método utilizado para a realização de análises quantitativas sobre os impactos ambientais que um produto ou serviço poderá provocar. A análise é feita a todas as etapas que envolvem o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção do produto, uso e destino final (**Figura 8**). A determinação dos impactos ambientais dos produtos em questão e a obtenção de designs alternativos são os principais objetivos desta ferramenta, não tendo como intuito a consideração da vertente financeira associada [19].

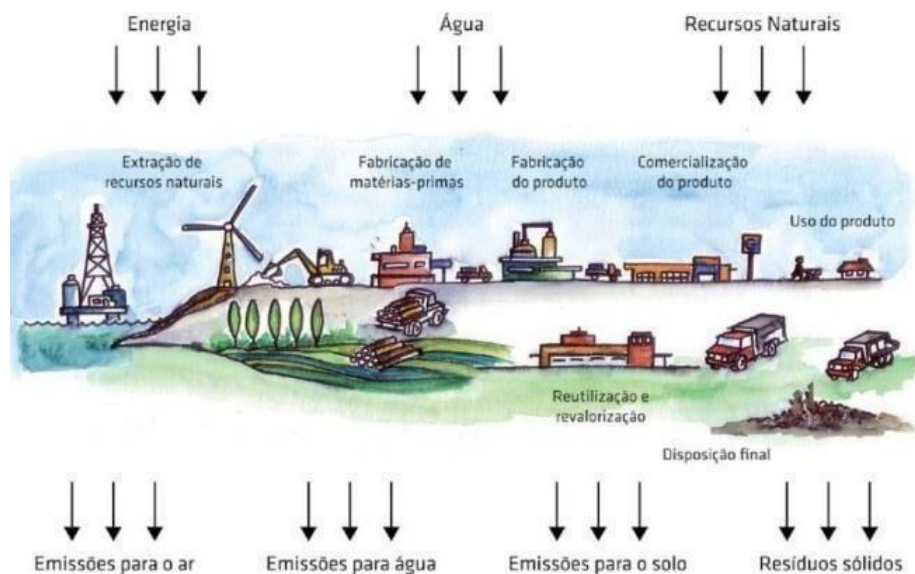


Figura 8. Etapas do ciclo de vida de um produto [19].

Segundo a norma ISO 14044:2009 (ABNT, 2009a), a metodologia ACV é constituída pelas seguintes 4 fases [20]:

- 1º Definição do objetivo e âmbito de estudo;
- 2º Análise de inventário;
- 3º Avaliação do impacto do ciclo de Vida;
- 4º Interpretação e tratamento de dados.

Com o intuito de minimizar a presença dos plásticos no meio ambiente, grupos de voluntariado e empresas têm considerado a utilização de plástico reciclado proveniente dos oceanos como matéria-prima como uma oportunidade de negócio [17]. Os polímeros termoplásticos reciclados podem ser definidos de duas formas diferentes: reciclado pós-industrial (PIR) e reciclado pós-consumo (PCR). PIR consistem nos resíduos gerados durante o próprio processo de fabrico e que são reaproveitados ou reutilizados no mesmo material do qual se formaram. PCR são os materiais utilizados para uma determinada finalidade, quando o material em questão chega ao fim de vida é recolhido e, posteriormente, reencaminhado para centros específicos de reciclagem [21]. Na **Figura 9** é possível observar dois exemplos de PIR e PCR.

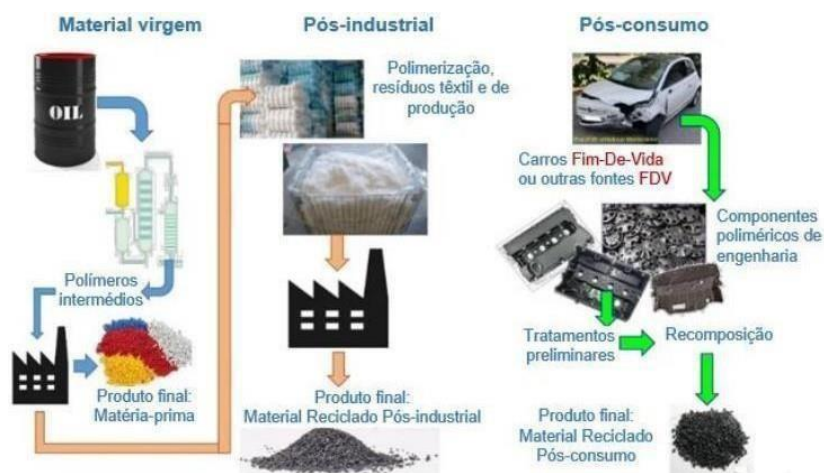


Figura 9. Exemplos de PIR e PCR [21].

Existem dois tipos principais de reciclagem predominantes quando o tema abordado são os PCR: a reciclagem mecânica e a reciclagem química. A reciclagem mecânica ou reciclagem física, é o processo onde o objetivo passa pela recuperação de resíduos plásticos através de processos mecânicos (moagem, separação, secagem, lavagem, granulação e composição). Desta forma, são obtidos reciclados que podem ser transformados em novos produtos plásticos, podendo estes ser ou não os mesmos originalmente produzidos. Normalmente, este tipo de reciclagem está associado à produção de bens de consumo, como embalagens ou produtos plásticos. Na reciclagem química, um método com menor relevância em comparação com o anterior, os resíduos poliméricos são revertidos para o seu componente óleo/hidrocarboneto, no caso de poliolefinas, e monómeros, no caso de poliésteres e poliamidas, sendo depois utilizados como matéria-prima industrial. Existe ainda a reciclagem energética, onde se dá a conversão de resíduos em recursos energéticos [21]. A associação da área da biotecnologia é uma das formas possíveis e utilizadas, para rentabilizar e maximizar os efeitos da reciclagem. Desde logo, a utilização de biopolímeros, isto porque a sua larga maioria são biodegradáveis, causando assim um impacto muito menor no ambiente e possibilitando o fecho do ciclo de vida destes materiais [22-23]. Mas não só os biopolímeros, existem microrganismos desenvolvidos e com a capacidade de acelerar a composição de alguns tipos de plástico bem como a capacidade de acelerar processos importantes, como a compostagem [24-25]. Na **Figura 10** está representado um esquema que resume as etapas e métodos aplicados aos PCR.

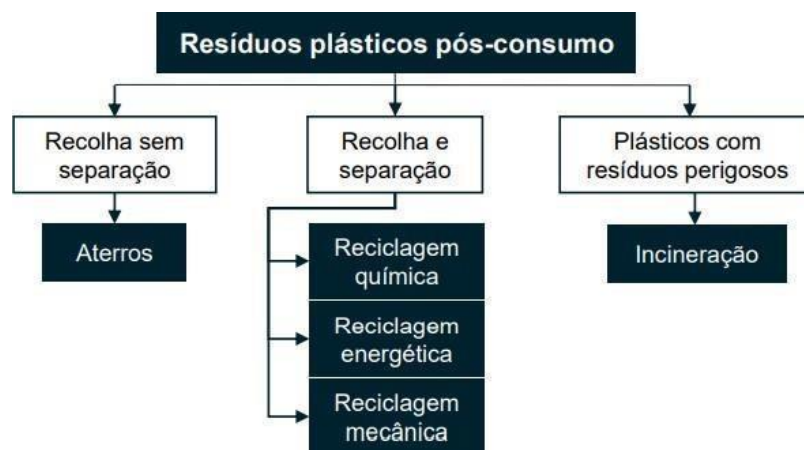


Figura 10. Esquematização das etapas e métodos aplicados aos resíduos plásticos pós- consumo (PCR) [21].

A Plastix é uma empresa dinamarquesa que se foca, sobretudo, na reciclagem e na tecnologia limpa especializada na conversão de fibras, principalmente através do uso de redes de pesca e cordas, que antes acabavam por ficar depositadas no oceano ou em aterros sanitários, transformando assim, resíduos marítimos em PCR. O processo engloba várias etapas: recolha dos resíduos; inspeção e registo; fracionamento e limpeza superficial; extrusão; lavagem, separação e secagem; corte. Todas as etapas são controladas pelo laboratório, assegurando o máximo de qualidade, permitindo validar a posterior utilização de PCR na produção de novos produtos plásticos [26]. A Plastix é um dos líderes no mercado, no que aos PCR diz respeito e apresenta algumas opções com base no conceito do aproveitamento de material marítimo desperdiçado. São duas as opções: o Oceanix rPPC e o Oceanix rHDPE. O Oceanix rPPC é obtido através da recolha de equipamento desperdiçado constituído por PP, enquanto o rHDPE é obtido também através da recolha de equipamento desperdiçado, mas desta feita, constituído por PE de alta densidade. Ambos têm uma larga margem de aplicação e podem ser utilizados para os mais variados fins (**Figura 11**), sendo que a qualidade é garantida pelas várias caracterizações (cor, resistência ao impacto, módulo de elasticidade, estabilidade UV, etc.) que são feitas a estes materiais [27].



Figura 11. Exemplos de aplicações do rPPC e do rHDPE [27].

Atendendo a que o Grupo Polisport pretende tornar o seu processo de produção mais sustentável e destacar-se pela implementação de uma economia circular nos seus processos, neste projeto será explorada a adequabilidade do uso de PCR na produção de componentes para produtos de duas rodas à base de PP. Para o efeito será estudada a influência da concentração de PCR adquirido na Plastix nas propriedades mecânicas de materiais moldados por injeção à base de PP.

3. Materiais e Métodos

Nesta secção está descrito todo o material utilizado e processo experimental seguido durante o desenvolvimento do presente estágio, desde os materiais seleccionados, a forma como foram obtidos os provetes e os métodos de caracterização utilizados, até à obtenção dos resultados.

3.1. Materiais

De forma a serem cumpridos os objetivos do estágio, foi necessário definir dois materiais base para que se pudesse trabalhar: um deles seria a matéria-prima virgem e o outro seria o reciclado a incorporar. Como matéria-prima virgem foi definido o PP Copolímero da Sabic, sendo esta a escolha natural uma vez que, é o principal polímero utilizado na maior parte das operações que envolvem a Polisport. Já como reciclado a incorporar, foi definido o rPPC 210-001 Green, proveniente da empresa Plastix. Esta escolha foi baseada nas suas propriedades, sendo este um reciclado pós-consumo que tem origem em materiais à base de PP descartados nos mares e oceanos. As fichas técnicas do PP Copolímero da Sabic e do rPPC 210-001 Green estão dispostas nos **Anexos 1 e 2**, respetivamente.

3.2. Métodos

A **Figura 12** ilustra a metodologia de trabalho adotada durante a realização deste estágio relativo à dissertação de mestrado.

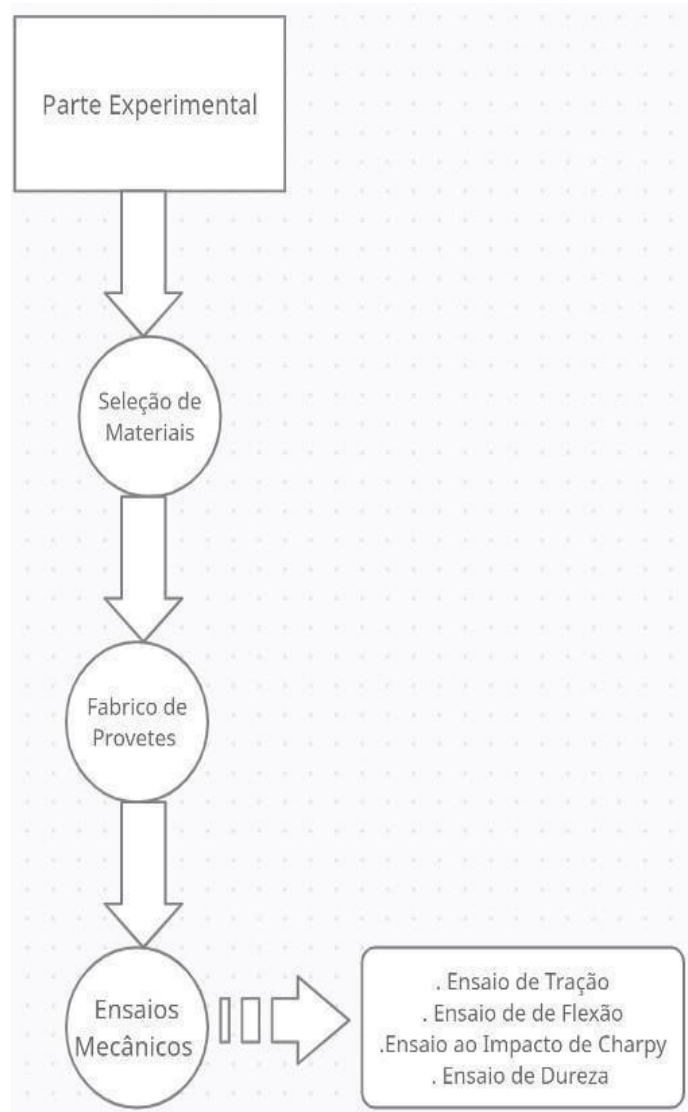


Figura 12. Fluxograma da parte experimental.

A parte experimental foi constituída essencialmente por 5 fases que se correlacionaram entre si. A partir do momento em que foram seleccionados os materiais, tornou-se possível a aquisição da matéria-prima reciclada, o fabrico dos provetes para que possam ser testadas as mais variadas propriedades através de ensaios mecânicos, sendo que as composições e o processo foram definidos numa fase prévia. Em última instância foram analisados e discutidos os resultados obtidos.

3.3. Seleção de Materiais

A seleção dos materiais teve como base a sua posterior aplicação. Assim, entendeu-se, internamente, que os porta-bebés (**Figura 13**) seriam o produto alvo para o estudo.



Figura 13. Exemplo de um porta-bebé comercializado pelo Grupo Polisport [1].

Na **Tabela 1** estão estipulados os requerimentos deste tipo específico de produto.

Tabela 1. Requerimentos para a produção de Porta-Bebés no Grupo Polisport.

Produto: Porta-Bebés	Requerimentos
Processo	Moldação por Injeção
Propriedades Mecânicas	Resistência à Tração, Resistência à Flexão e Resistência ao Impacto
Condições de Uso	Uso interior e exterior

O polímero utilizado pela Polisport na produção dos porta-bebés é o PP Copolímero da Sabic, pelo que este foi o polímero virgem selecionado para o desenvolvimento do presente estudo. A partir da sua ficha técnica (**Anexo 1**) foi possível perceber todas as suas propriedades e características, sendo que algumas daquelas que são consideradas como de maior relevo estão representadas na **Tabela 2**.

Tabela 2. Principais Propriedades do PP Copolímero da Sabic.

Propriedades	PP Copolímero da Sabic
Método de Processamento	Moldação por Injeção
Densidade (g/cm ³)	0,9050
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg) (g/10 min)	14,00
Módulo de Elasticidade (MPa)	1000
Ensaio de Impacto Charpy (23°C) (kJ/m ²)	60,00
Dureza (Shore D)	60,00
Aplicações	Indústria automóvel, embalagens

Depois da definição do polímero virgem, selecionou-se o Oceanix rPPC 210-001 *Green* como a matéria-prima reciclada a ser utilizada neste estudo. O Oceanix é um reciclado pós-consumo desenvolvido pela Plastix e com origem no aproveitamento de equipamento marinho em fim-de-vida, desperdiçado nos mares e oceanos. A ficha técnica deste produto em particular encontra-se em anexo (**Anexo 2**), sendo que, à semelhança do PP Copolímero da Sabic, algumas das principais características e propriedades encontram-se na **Tabela 3**.

Tabela 3. Principais Propriedades do Oceanix rPPC 210-001 *Green*.

Propriedades	Oceanix rPPC 210-001 <i>Green</i>
Método de Processamento	Moldação por Injeção, Impressão 3D, Extrusão e Termoformagem
Densidade (g/cm ³)	0,910 – 0,930
Índice de Fluidez (230°C/2,16 kg) (g/10 min)	2,60 – 4,50
Cor	Verde
Ponto de Fusão (°C)	160 - 166

Selecionados os materiais a utilizar procedeu-se à preparação dos materiais à base de PP Copolímero da Sabic/Oceanix rPPC 210-001 Green. Para o efeito foram definidas 4 composições diferentes, de forma a ser possível a obtenção de dados comparativos e estudar a viabilidade de cada uma delas (**Tabela 4**). As 4 composições são constituídas por dois grupos controlo (100% PP Copolímero da Sabic e 100% Oceanix rPPC 210-001 Green) para ser possível estudar o comportamento dos dois materiais de forma isolada e duas misturas de material virgem com material reciclado, sendo assim possível estudar o efeito das diferentes percentagens de cada um dos materiais no desempenho do produto final. Ambas as matérias-primas utilizadas neste estudo se apresentavam sob a forma de granulado, aplicando-se também e de forma natural, às misturas entre eles. A mistura foi feita de forma manual, pesando as quantidades de cada um dos materiais numa balança digital e adicionando as mesmas a um saco. De seguida, o saco foi agitado, uniformizando a mistura.

Tabela 4. Composições das formulações à base de PP Copolímero da Sabic/ Oceanix rPPC 210-001 Green desenvolvidas neste estudo.

Hipóteses	PP Copolímero da Sabic	Oceanix rPPC 210-001 Green
Grupo Controlo 1	100%	0%
Grupo Controlo 2	0%	100%
Mistura 1	80%	20%
Mistura 2	60%	40%

3.4. Fabrico de Provetes

Para cada uma das formulações definidas na **Tabela 4** foi considerado um peso total de 2 kg matérias-primas, estando as percentagens do PP Copolímero da Sabic e do Oceanix rPPC 210-001 Green necessárias indicadas na **Tabela 5**. É importante referir que os 2 kg foram definidos de forma a possibilitar a injeção de 25 provetes para cada uma das composições, o que fez um total de 100 provetes.

Tabela 5. Massas utilizadas em cada uma das formulações definidas.

Hipóteses	PP Copolímero da Sabic	Oceanix rPPC 210-001 Green
Grupo Controlo 1	2 kg (100%)	0 kg (0%)
Mistura 1	1,6 kg (80%)	0,4 kg (20%)
Mistura 2	1,2 kg (60%)	0,8 kg (40%)
Grupo Controlo 2	0 kg (0%)	2 kg (100%)

Os provetes foram produzidos seguindo a norma ISO 527, tal como representa a **Figura 14**.

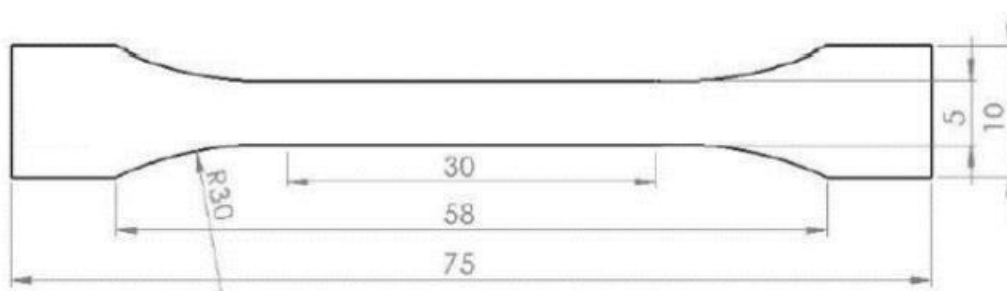


Figura 14. Provete standard segundo a norma ISO 527 (unidades em mm).

Para o fabrico dos provetes foi utilizada a máquina de injeção BA 4500/2800BK (**Figura 15**).



Figura 15. Máquina de Injeção BA 4500/2800 BK.

De forma a serem atingidos os melhores resultados possíveis e de acordo com a ficha técnica do próprio material, todo o Oceanix utilizado no processo foi estufado durante 2 h à temperatura de 80 °C, de forma a ser retirada alguma humidade em excesso que pudesse existir. As **Figuras 16, 17 e 18** representam o forno utilizado, as especificações e o material pronto a ser estufado, respetivamente.



Figura 16. Forno industrial utilizado no processo de estufagem das matérias-primas.



Figura 17. Especificações do forno.



Figura 18. Oceanix disposto no forno e pronto a ser estufado

O processo de injeção consistiu em ligar a máquina e todos os seus controladores. Numa fase seguinte foi testada a abertura, o fecho e a extração do molde, este que já se encontrava na máquina, pelo que houve a necessidade de trocar ou ajustar. Passando a fase de testes e de averiguações, o processo continuou pela adição das matérias-primas na tremonha. Todos os parâmetros operacionais necessários para a correta injeção das matérias-primas foram ajustados, tendo em conta várias informações com origem tanto na bibliografia, como em manuais da própria empresa. Na **Tabela 6** estão definidos os parâmetros de injeção utilizados.

Tabela 6. Parâmetros de injeção utilizados no desenvolvimento das formulações à base de PP Copolímero da Sabic/Oceanix rPPC 210-001 Green.

Parâmetros do Processo	Valor do Parâmetro
Temperatura do Bucha (°C)	40
Temperatura da Cavidade (°C)	40
Pressão de Compactação (bar)	100
Tempo de Compactação (s)	25
Temperatura do Bico (°C)	230
Temperatura do Cilindro 1 (°C)	290
Temperatura do Cilindro 2 (°C)	230
Temperatura do Cilindro 3 (°C)	220
Temperatura do Cilindro 4 (°C)	210
Temperatura do Cilindro 5 (°C)	200
Temperatura do Cilindro 6 (°C)	190
Pressão de Injeção (bar)	80
Velocidade de Injeção (s)	15

Entre os materiais, foi feita a limpeza do fuso com Polietileno (PE) (**Figura 19**).



Figura 19. PE utilizado na limpeza do fuso.

3.5. Ensaios mecânicos

Posteriormente à injeção dos provetes definiram-se os ensaios mecânicos a realizar. Tendo em conta as especificidades do produto final ao qual se pretende aplicar as formulações desenvolvidas, foram delineados os seguintes ensaios: ensaio à tração, ensaio à flexão, ensaio de resistência Charpy e ensaio à dureza Shore. Todos estes, com exceção da dureza, foram realizados nas instalações do Pólo de Inovação e Engenharia de Polímeros (PIEP), sendo que estas instalações representam um polo especializado sediado em Guimarães e pertencente à Universidade do Minho. Por sua vez, o ensaio da dureza foi realizado nas instalações do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro.

3.5.1. Ensaio à tração e à flexão

Os ensaios à tração e à flexão foram realizados num equipamento universal Shimadzu AG-X, tal como ilustra a **Figura 20**. Para cada um deles foram utilizados 7 provetes de cada uma das composições em estudo.



Figura 20. Equipamento universal Shimadzu AG-X nas instalações do PIEP.

Num ensaio de tração, o provete é submetido a uma força de tração uniaxial específica (**Figura 21**) até que ocorra a rutura do material, podendo não ocorrer em alguns casos.



Figura 21. Exemplo de um ensaio de tração num dos provetes analisados.

O processo assenta em 4 princípios básicos:

- Marcar os provetes, a partir do seu centro, 30 mm para cada lado, estipulando assim o comprimento a analisar;
- Imobilizar o provete nas garras;
- Programar o extensómetro, de acordo com as marcas definidas anteriormente;
- Ativar o extensómetro a partir do zero.

Consequentemente, a força do material pode ser avaliada e podem ser determinadas várias propriedades como o módulo de elasticidade, o alongamento, a razão de *Poisson*, entre outras. Estas propriedades mecânicas permitem determinar se o material é adequado ou não para uma determinada aplicação. Neste caso específico, o ensaio foi realizado a uma velocidade constante de 50 mm/min, com uma célula de carga de 50 kN e de acordo com a norma ISO 527.

Num ensaio de flexão ou flexão a três pontos é aplicada uma carga de forma crescente no provete a meia distância dos seus apoios. É possível aferir e determinar propriedades

como o módulo de elasticidade em relação à flexão, bem como a sua tensão de rutura. Nestetrabalho, a distância entre os apoios foi de 64 mm e a velocidade foi de 2 mm/min, sendo que o processo foi realizado a uma temperatura de 23 °C, de acordo coma norma ISO 178.

3.5.2. Ensaio de Impacto Charpy

De forma a determinar a resistência ao impacto dos materiais em estudo foi realizado um ensaio de impacto Charpy, em conformidade com a norma ISO 179-1 *standard*. Existem vários métodos para este tipo de ensaio, sendo que método utilizado neste caso, está de acordo com a norma ISO 179-1/1eA. Neste método específico, recorreu-se ao equipamento Ceast Resil Impactor (**Figura 22**).

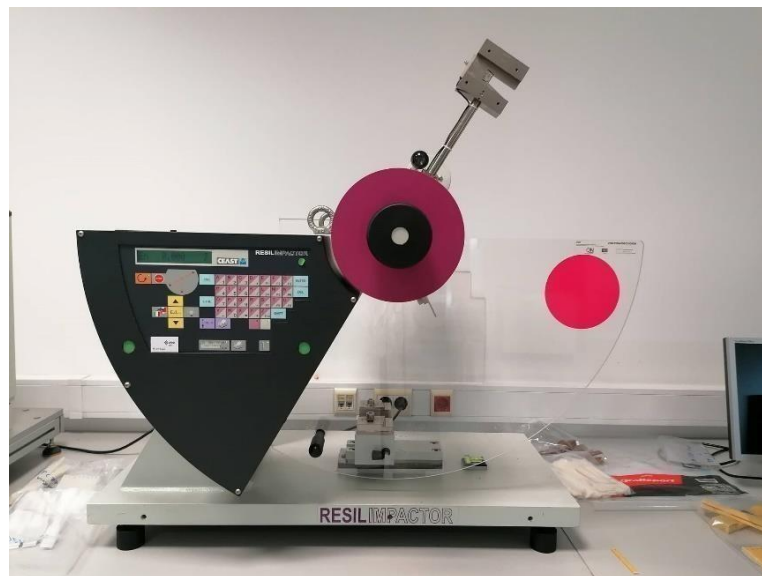


Figura 22. Equipamento Ceast Resil Impactor.

Durante o ensaio, o pêndulo é elevado e fixado, em segurança, através de um trinco ajustável e numa posição com um ângulo de 150° em relação à amostra. A amostra é também fixa num local específico do equipamento, sendo posteriormente e quando o operador permitir, atingida pelo pêndulo. Neste estudo, o pêndulo utilizado atinge a amostra com uma energia de 15 J e uma velocidade de impacto de 3,7 m/s. Após a amostra ser atingida, o equipamento mede a energia absorvida pelo elemento e são consideradas três tipos de falhas: C (ocorre rutura), P (ocorre rutura parcial) e N (não ocorre rutura). O pêndulo foi calibrado manualmente, de forma a encontrar a posição zero e as amostras foram sujeitas a um

ambiente controlado com uma temperatura constante de 23 °C e 50% de humidade relativa, nas 16 h anteriores ao ensaio. Os dois Grupos Controlo e a Mistura 1 foram ainda submetidos a um ambiente com temperaturas negativas na ordem dos 20 °C negativos, a Mistura 2 não foi submetida a este ensaio. Os provetes foram produzidos consoante as dimensões padrão descritas na **Figura 23**. Durante este ensaio foram analisadas 10 amostras.

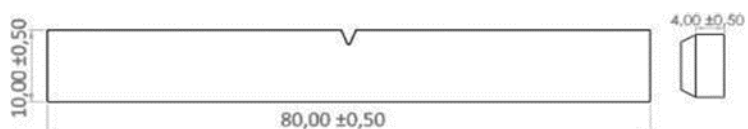


Figura 23. Amostra standard segundo a norma ISO 179-1 (unidades em mm).

3.5.3. Ensaio à Dureza Shore D

O ensaio de Dureza Shore D foi realizado no equipamento apresentado na **Figura 24**, de acordo com a norma ISO 868.



Figura 24. Durómetro Shore CV INSTRUMENTS.

Neste ensaio foram dois provetes de cada uma das composições testadas. Cada um dos provetes foi marcado com cinco pontos ao longo do seu comprimento, sendo que cada um desses pontos é sinónimo de uma medição. Na **Figura 25** é possível observar uma simulação dessas mesmas marcações. Sendo que estas marcações foram feitas em todos os exemplares utilizados durante o ensaio.

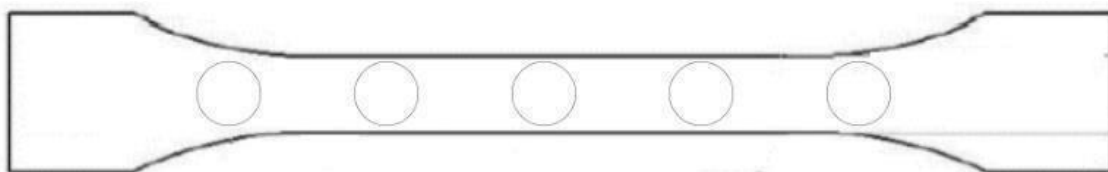


Figura 25. Preparação dos provetes para o ensaio à Dureza Shore D.

O ensaio decorreu utilizando uma carga de 5 kg, sendo que o processo seguiu as seguintes etapas:

- Disposição da massa de indentação no durómetro;
- Colocação do provete no equipamento, de forma a ser medido nos pontos marcados;
- Soltar o peso no provete;

É de notar que a leitura dos valores foi feita instantaneamente e após 15 s, consoante a norma.

4. Análise e Discussão de Resultados

No capítulo 4 serão expostos e analisados os resultados obtidos a partir de cada um dos ensaios realizados no procedimento experimental. Os resultados serão comparados entre si, assim como serão comparados com valores tabelados que sejam de interesse para o objetivo deste estudo.

4.1. Características cromáticas dos materiais à base de PP/Oceanix

A **Figura 26** permite a visualização dos provetes injetados para cada uma das composições.



Figura 26. Provetes moldados por injeção: A) 100% PP; B) 80% PP/20% Oceanix; C) 60% PP/40%.; (D) 100% PP.

As cores assumidas pelos provetes estão de acordo com as cores dos granulados a que lhe deram origem. Os provetes com 100% de PP possuem cor branca e, à medida que a sua composição diminui, os provetes adquirem tom esverdeado, cuja intensidade aumenta com a concentração de Oceanix, atingindo um verde-escuro para materiais com 100% de Oceanix. Para interesse da empresa e, tendo em contas as próprias questões de marketing associadas, as cores muito fortes não são as mais pretendidas, pelo que os provetes com percentagens de 20% de Oceanix na sua matriz são as mais favoráveis para aplicação em produto final.

A injeção ocorreu de acordo com o esperado, sem problemas a reportar e de forma relativamente simples, sendo que, os provetes que acarretaram maiores dificuldades foram os do Grupo Controlo 2 devido à maior presença de fibras na sua composição.

4.2. Resistência à tração dos materiais à base de PP/Oceanix

Nas **Figuras 27** e **28** estão dispostos os valores relativos à resistência à tração (valor máximo) e módulo de tração. Estas duas propriedades apresentam uma relação diretamente proporcional entre si.

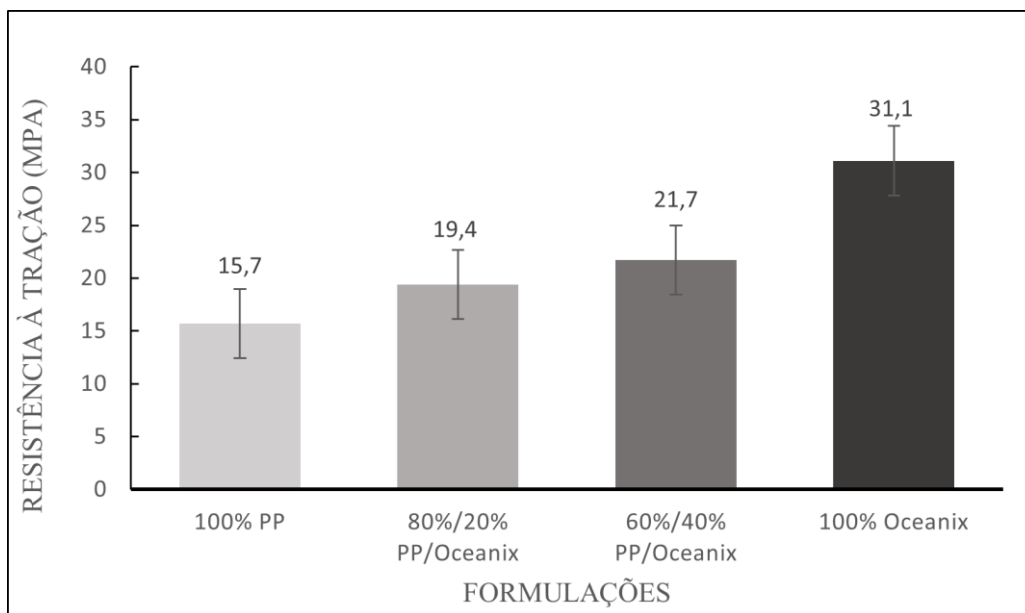


Figura 27. Valores da Resistência à Tração.

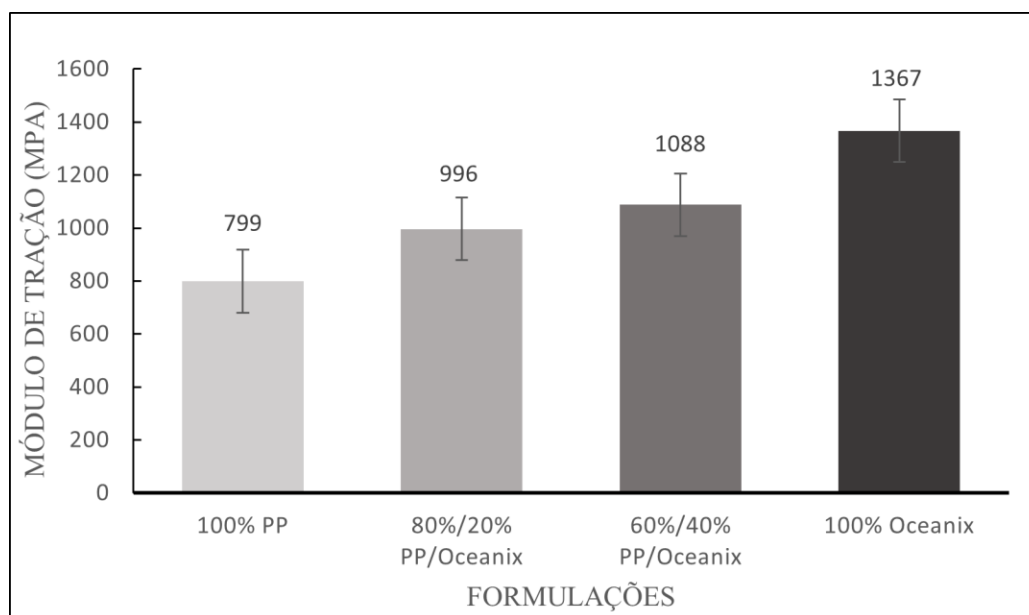


Figura 28. Valores do Módulo de Tração.

A incorporação do 20% e 40% Oceanix aumentou para 19,4 MPa e 21,7 MPa, respetivamente, a resistência à tração dos materiais à base de PP (15,7 MPa). Este comportamento também se verificou para o perfil do módulo de tração, tendo aumentado de 799 MPa para 996 MPa e 1088 MPa, respetivamente. Portanto, o aumento da percentagem de matéria-prima reciclada aumenta a energia necessária para que ocorra a rutura destes materiais (**Figura 29**) e, por conseguinte, aumenta a sua resistência à tração. As cargas de Oceanix atuam como reforço da matriz polimérica, à semelhança do que acontece em estudos idênticos [8]. Graças a um maior Índice de Fluidez verificado no Oceanix, quando comparado com a matriz polimérica virgem, o aumento verifica-se ao longo do ensaio tornando o material mais rígido. Para além do Índice de Fluidez, a compatibilidade entre o Oceanix e a matriz do PP também são algo a ter em conta na análise destes resultados, sendo que uma melhor compatibilidade origina melhores resultados, tal como se verifica neste estudo em concreto. Os resultados, por si só, são vantajosos porque, normalmente, é positivo que um material desta área em concreto seja mais resistente, no entanto não se pretende que os resultados sejam muito díspares quando comparados com o PP virgem utilizado normalmente. Muita disparidade de resultados, poderia provocar mudanças ao nível do regime plástico e/ou elástico baixando a qualidade do produto final. Sendo as formulações com 20% e 40% de Oceanix, as mais apelativas.

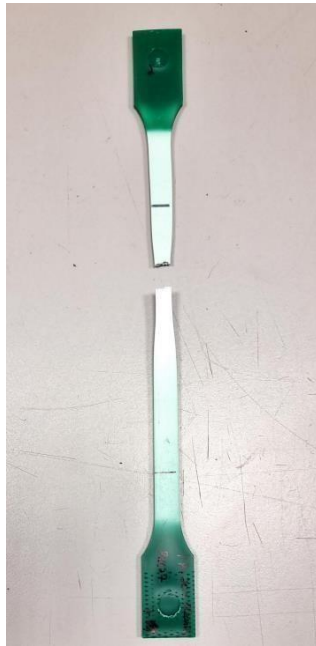


Figura 29. Exemplo da rutura de um dos provetes tracionados (80%/20% PP/Oceanix).

4.3. Resistência à flexão dos materiais à base de PP/Oceanix

Na **Figura 30** estão representados os valores do módulo de flexão de cada umas das formulações desenvolvidas.

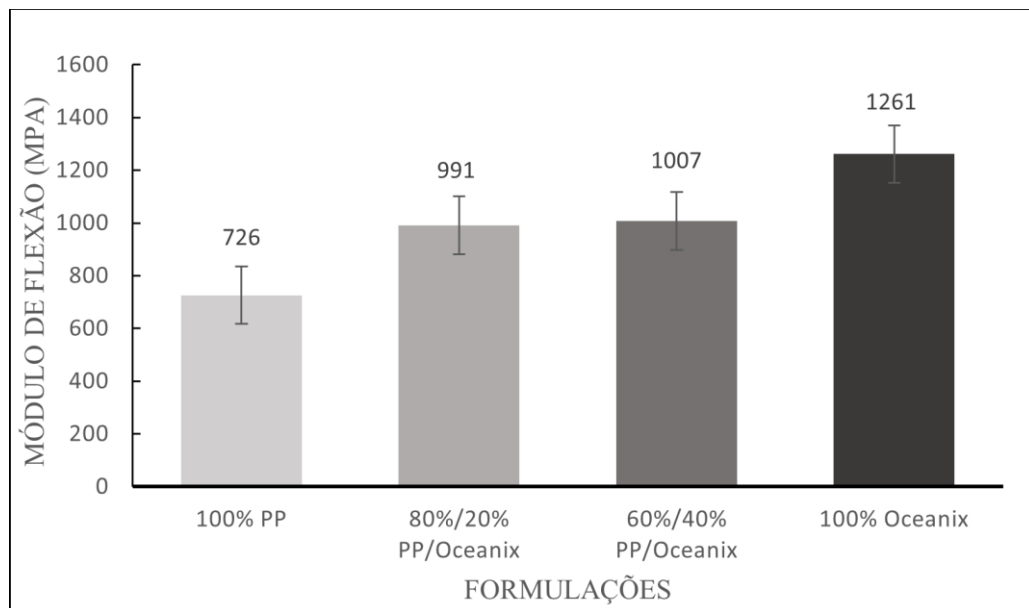


Figura 30. Valores máximos da resistência à flexão dos materiais à base de PP/Oceanix.

À semelhança do que aconteceu no ensaio à tração, também os valores relativos ao módulo de flexão aumentaram de 726 MPa para 991 MPa e 1007 MPa com a incorporação de 20% e 40% de Oceanix, respetivamente. Além disso, a formulação exclusivamente à base de Oceanix apresentou o valor de resistência mais elevado (1261 MPa) entre todas as formulações estudadas. Os valores promovem uma boa resistência à flexão. O Índice de Fluidez de cada um dos materiais e a compatibilidade entre reciclado e matéria-prima virgem, à semelhança do que aconteceu no ensaio de resistência à tração, justifica o aumento do módulo de flexão com o aumento da percentagem de Oceanix em cada uma das formulações. Esta tendência verifica-se noutros estudos, com outro tipo de cargas que atuam como reforço da matriz polimérica [8]. Mais uma vez, o aumento dos valores é positivo, no entanto e de modo a possibilitar a melhoria das propriedades aliado à manutenção de outras propriedades, as formulações com 20% e 40% de Oceanix são as mais vantajosas.

4.4. Resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix

Tendo em conta o objetivo e a indústria a que este estudo foi aplicado torna-se importante a determinação da resistência ao impacto dos materiais desenvolvidos à temperatura ambiente e pelo menos a uma temperatura negativa, de modo a existir um melhor entendimento da evolução desta propriedade nos diferentes cenários. Nas **Figuras 31 e 32** é possível observar os valores de resistência ao impacto obtidos a partir do ensaio de Charpy realizado a 23 °C (temperatura ambiente) e a temperaturas negativas (- 20 °C). Sendo importante referir que, para o ensaio a temperaturas negativas não foi tomada em conta, a formulação com 40% de Oceanix. Esta foi uma decisão tomada pela Polisport, devido aos resultados observados no ensaio realizado à temperatura ambiente.

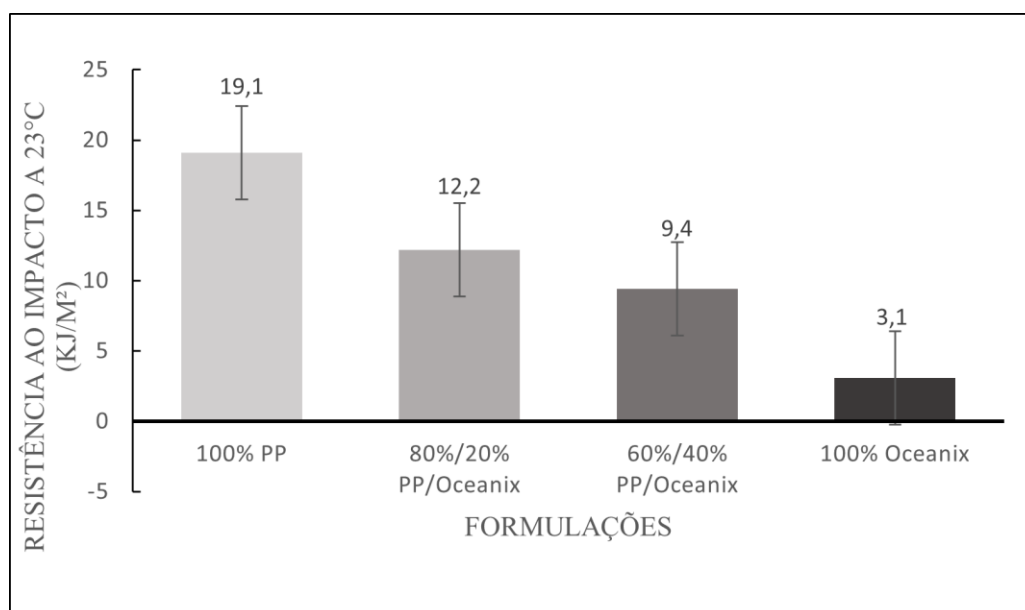


Figura 31. Valores de resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix determinados a 23 °C.

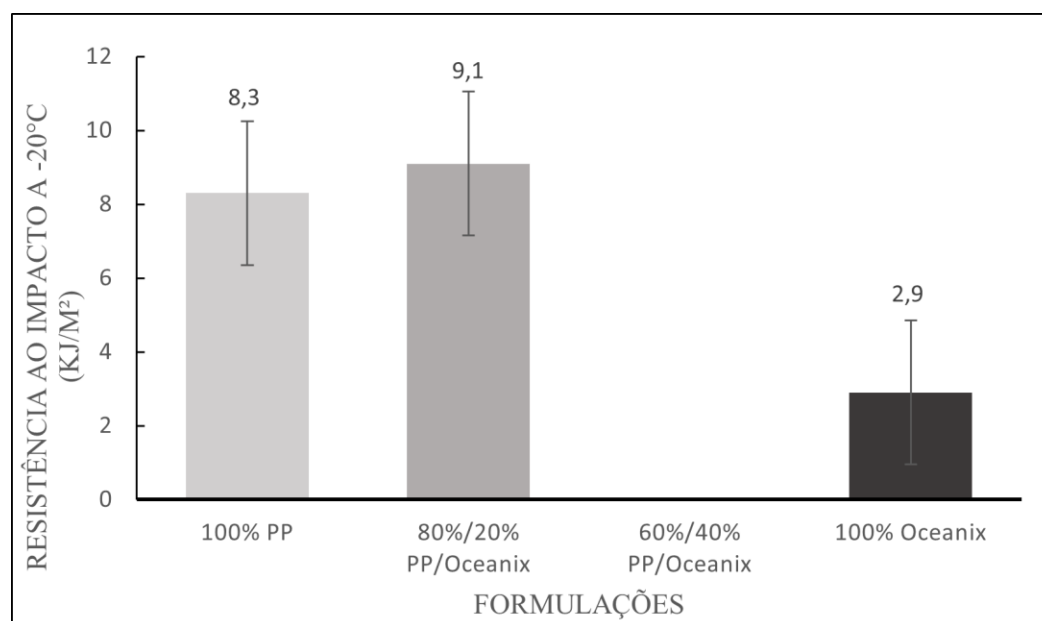


Figura 32. Valores de resistência ao impacto dos materiais à base de PP/Oceanix determinados a temperaturas negativas (-20 °C).

Quando expostos à temperatura ambiente (23 °C), a incorporação de Oceanix diminuiu a resistência ao impacto dos materiais à base de PP de 19,1 kJ/m² para 12,2 kJ/m², sendo este comportamento inversamente proporcional à quantidade de matéria-prima reciclada. Estes resultados, podem ser justificados pela própria mistura do Oceanix com o PP, existindo vazios na sua estrutura que acabam por diminuir a resistência ao impacto das misturas.

Por sua vez, quando expostos à temperatura negativa (-20 °C), a incorporação de 20% de Oceanix aumentou a resistência ao impacto dos materiais à base de PP de 8,3kJ/m² para 9,1 kJ/m². O material 100% à base de Oceanix apresentou um valor de resistência ao impacto praticamente 3 vezes inferior à do material exclusivamente à base de PP. Portanto, os valores de resistência ao impacto, no global, são menores quando os materiais são expostos a temperaturas negativas. Este fenómeno deve-se ao facto de as temperaturas mais baixas, no geral, bloquearem a capacidade de absorção de impacto nos plásticos [21].

4.5. Dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix

Os valores médios da Dureza Shore D, instantâneos e medidos após 15 s de ensaio, estão representados nas **Figuras 33 e 34**, respetivamente.

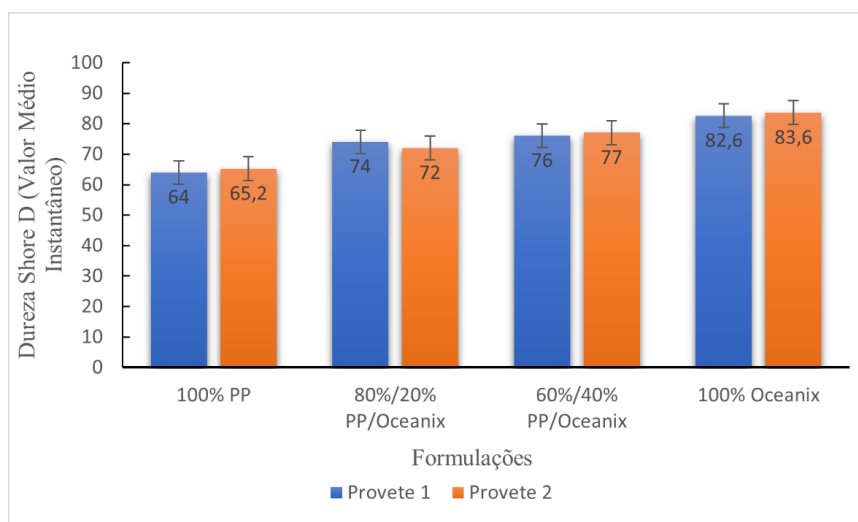


Figura 33. Valores médios instantâneos de dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix.

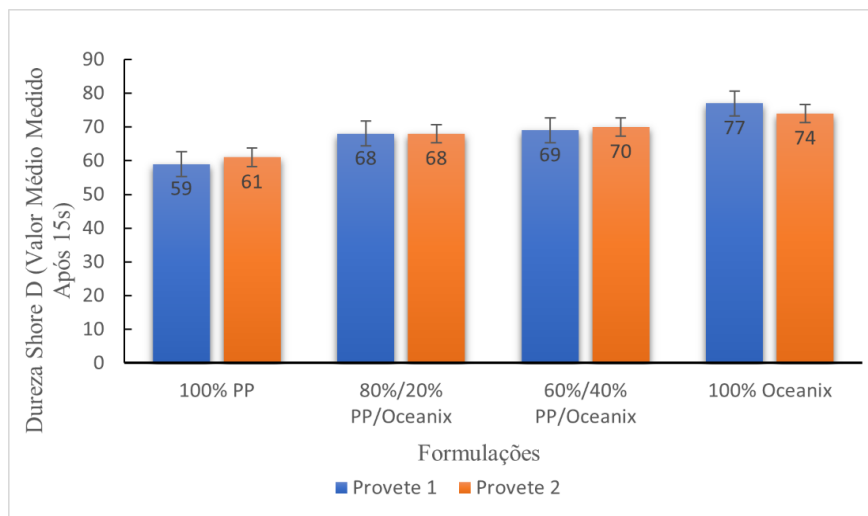


Figura 34. Valores médios de dureza Shore D dos materiais à base de PP/Oceanix após 15 s

De um modo geral e da mesma forma que aconteceu com a incorporação de outro tipo de cargas recicláveis [8], a incorporação de Oceanix aumentou a dureza dos materiais à base de PP (64 e 59), sendo o material exclusivamente à base da matéria-prima reciclada o que apresentou maior valor (83,6 e 77) quer para os valores médios instantâneos, quer para os valores obtidos após 15 s. Os resultados obtidos respondem à necessidade do produto final em estudo, uma vez que para além de apresentarem modestos aumentos de dureza com a incorporação de material, não são muito diferentes daqueles que são apresentados pelo PP convencionalmente utilizado. No **Anexo 3** estão dispostos, na forma de tabela, todos os valores de dureza retirados durante o ensaio.

4.6. Aplicação e Produção em Produto Final

Após a análise e discussão dos resultados obtidos, fica claro que a formulação com mais potencial para ser utilizada é aquela que é composta por 80% de PP e 20% de Oceanix. Esta formulação, promove a melhoria de todas as propriedades analisadas (com exceção da resistência ao impacto a temperatura ambiente), mantendo-se ao mesmo tempo numa gamade valores próxima do material utilizado atualmente, não colocando em causa outras propriedades. A produção de porta-bebés com este material foi mesmo algo que a empresa levou a cabo, sendo que foram produzidos alguns exemplares para que fossem feitos mais testes internos. Na **Figura 35** está representado exemplar de um porta bebé com a sua estrutura composta pela formulação selecionada.



Figura 35. Exemplar de porta-bebê.

Alguns dos exemplares produzidos foram também apresentados pela Polisport, como opção sustentável na indústria das 2 rodas, na feira “Eurobike” que se realizou em julho de 2022, em Frankfurt, como se pode ver na **Figura 36**.

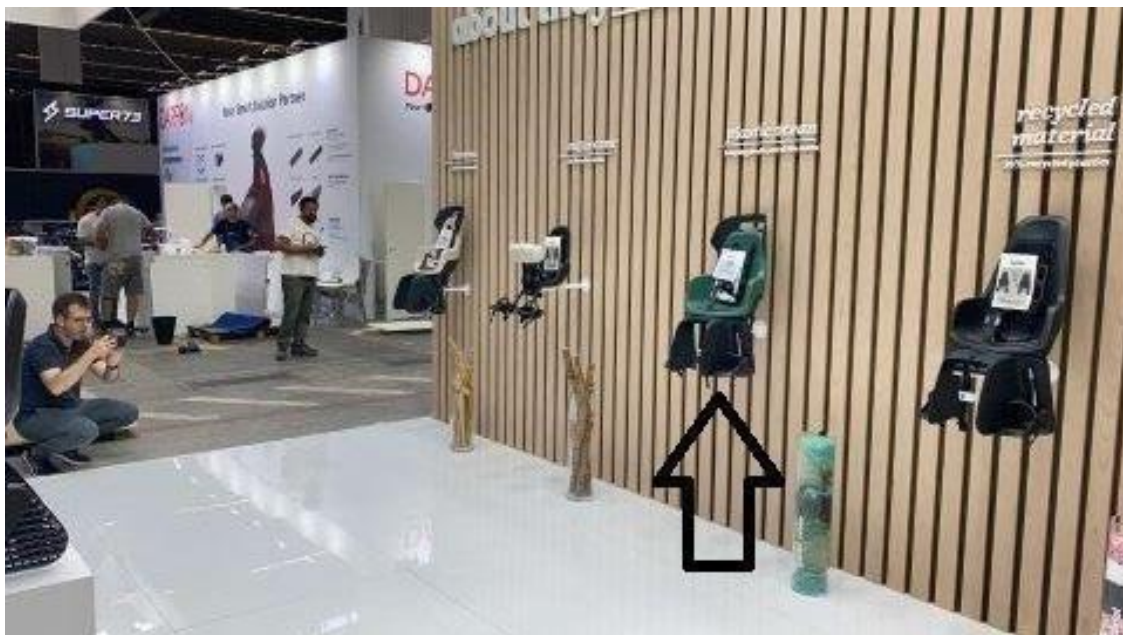


Figura 36. Porta-bebê na Eurobike.

5. Conclusão

A necessidade de reduzir a pegada ecológica e de fechar o ciclo dos materiais plásticos, é cada vez mais elevada. Sendo esta, uma questão global crítica, toda a indústria associada a este tipo de resíduos procura soluções e alternativas para que seja realmente possível a sua redução e/ou substituição. A incorporação de materiais reciclados pós-consumo, em percentagens conhecidas, na matriz dos plásticos mais utilizados no quotidiano, é uma das soluções testadas. Ainda que não tenha (pelo menos ainda) a capacidade de acabar com o problema de forma definitiva, tem a capacidade de minimizar os impactos e reforçar o compromisso com soluções de maior sustentabilidade na micromobilidade.

O presente estágio curricular, realizado no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais, foi realizado na Polisport Plásticos e teve como principal objetivo o estudo da viabilidade da incorporação de matéria-prima reciclada em matéria-prima virgem, tendo como alvo a produção de componentes para veículos de duas rodas, nomeadamente um porta-bebés. Para o efeito foi estudado o efeito da concentração (20% e 40%) de Oceanix rPPC nas propriedades mecânicas dos materiais à base de PP Copolímero da Sabic. A incorporação de Oceanix rPPC aumentou a resistência à tração, a resistência à flexão e a dureza dos materiais à base de PP. Por sua vez, a aditivação com Oceanix rPPC diminui a resistência ao impacto dos materiais à base de PP, exceto quando os materiais à base de 80% PP e de 20% Oceanix rPPC são expostos a temperaturas negativas. Portanto, a formulação à base de 80% PP e de 20% Oceanix rPPC revelou propriedades competitivas com o material exclusivamente à base de matéria-prima virgem, o que possibilitará à Polisport a produção de um novo produto que segue os princípios de sustentabilidade e economia circular.

Na sequência deste estágio, sugere-se como trabalhos futuros: o alargamento da pesquisa a outros materiais/produtos, bem como a continuação da procura de materiais reciclados pós-consumo que sejam viáveis quando combinados com outras matrizes de plásticos virgens. Existem muitos materiais plásticos desperdiçados no meio ambiente, materiais que com os processos adequados, podem dar origem a reciclados com propriedades de interesse, não só na indústria específica a que é associada à Polisport, mas na indústria dos plásticos em geral. Como foi dito anteriormente, esta não será uma solução que acabará de vez com este problema. Mas a pegada ecológica, será menor.

Referências Bibliográficas

- [1]. Peças e Acessórios para Motos Off-Road e Bicicletas. (n.d.). Polisport. [online] Available at: <https://www.polisport.com/pt> [Accessed 18 March 2022].
- [2]. Centimfe. (2003). Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plásticos.
- [3]. Antunes, V. (2007). Introdução aos Polímeros.
- [4]. Maddah, H. A. (2016). Polypropylene as a Promising Plastic: A Review.
- [5]. Oliveira, A. (2016). Comportamento Mecânico e Térmico de Misturas de Polipropileno Virgem e Reprocessado por Múltiplas Extrusões.
- [6]. Callister, W. D. (2007). Materials Science and Engineering. John Wiley & Sons Incorporated.
- [7]. Challa, G. (1993). Polymer Chemistry. Ellis Horwood Limited.
- [8]. Carvalho, F. (2020). Estudo de Materiais de Matriz Polimérica Reforçados com Cargas Recicláveis.
- [9]. Lima, C. (n.d.). Polímeros e Materiais Poliméricos.
- [10]. Santos, P. and Pezzin, S. (2000). Estudo da Incorporação de Fibras de Poli(tereftalato de etileno) Reciclado no Polipropileno em Relação às Propriedades Mecânicas.
- [11]. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions.
- [12]. Economia circular: definição, importância e benefícios | Atualidade | Parlamento Europeu.(2015,February).Www.europarl.europa.eu.
<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20151201STO05603/eco>.
- [13]. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the Marine Environment. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- [14]. Baird, R., Simons, M., & Stephens, T. (2009). Ocean Acidification: A Litmus Test for International Law. Carbon & Climate Law Review, 3(4), 13. <https://doi.org/10.21552/cclr/2009/4/116>
- [15]. Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

- [16]. Clark, J. R., Cole, M., Lindeque, P. K., Fileman, E., Blackford, J., Lewis, C., Lenton, T. M., & Galloway, T. S. (2016). Marine microplastic debris: a targeted plan for understanding and quantifying interactions with marine life. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(6), 317–324. <https://doi.org/10.1002/fee.1297>.
- [17]. From Pollution to Solution. (2021). A Global Assessment Of Marine Litter and Plastic Pollution, 148. Developed by United Nations Environment Programme.
- [18]. Mei, W., Chen, G., Bao, J., Song, M., Li, Y., & Luo, C. (2020). Interactions between microplastics and organic compounds in aquatic environments: A mini review.
- [19]. Karaski, T. U., Ribeiro, F. de M., Pereira, B. R., & Arteaga, L. P. S. de. (2016). Embalagem e Sustentabilidade Desafios e orientações no contexto da Economia Circular.
- [20]. ABNT. (2009a). ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental-avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações. ABNT.
- [21]. PIEP (2022). Suporte técnico à seleção de materiais de alto desempenho e de materiais sustentáveis.
- [22]. Ilyas, R.A. and Sapuan, S.M. (2020). Biopolymers and Biocomposites: Chemistry and Technology.
- [23]. Franchetti S.M.; Marconato J.C. (2006). Polímeros Biodegradáveis – Uma solução parcial para diminuir a quantidade dos Resíduos Plásticos.
- [24]. Espinosa, M. J. C., Blanco, A. C., Schmidgall, T., Atanasoff-Kardjalieff, A. K., Kappelmeyer, U., Tischler, D., Pieper, D. H., Heipieper, H. J., & Eberlein, C. (2020). Toward Biorecycling: Isolation of a Soil Bacterium That Grows on a Polyurethane Oligomer and Monomer. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00404>.
- [25]. Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., & Oda, K. (2016). Response to Comment on “A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate).” *Science*, 353(6301), 759–759. <https://doi.org/10.1126/science.aaf8625>.

[26]. Storm, B. (2017). Production of recyclates – compared with virgin Plastics – a LCA Study. 8.

[27]. Plastix. (n.d.). [online] Available at: <https://plastixglobal.com> [Accessed 3 Oct. 2022].

[28]. www.distrupol.com. (n.d.). Distrupol, the polymer distributor. [online] Available at: <https://www.distrupol.com> [Accessed 3 Oct. 2022].

Anexos

Anexo 1

General Information			
Product Description			
This grade combines very high impact resistance, also at low temperatures, with a good stiffness and offers very good flow properties. Due to its narrow molecular weight distribution and very low tendency to warp, it is highly suitable for injection moulding of crates & boxes, suitcase shells and automotive parts. This grade is UV-stabilised and also available in a general purpose additive package.			
The product mentioned herein is in particular not tested and therefore not validated for use in pharmaceutical/medical applications.			
General			
Material Status	• Commercial: Active		
Additive	• UV Stabilizer		
Features	• Block Copolymer • Good Flow • Good Stiffness	• Good UV Resistance • Low Temperature Impact Resistance • Low Warpage	• Narrow Molecular Weight Distribution • Ultra High Impact Resistance
Uses	• Automotive Applications	• Crates	• Luggage
UL File Number	• E111275		
Forms	• Pellets		
Processing Method	• Injection Molding		

Figura A1. Informação geral da ficha técnica do PP Copolímero da Sabic [28].

ASTM and ISO Properties ¹			
Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Specific Gravity	0.905	g/cm ³	ASTM D792
Density	0.905	g/cm ³	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)	14	g/10 min	ASTM D1238
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)	14	g/10 min	ISO 1133
Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Modulus - 1% Secant ²	1050	MPa	ASTM D638
Tensile Modulus	1000	MPa	ISO 527-2/1A/1
Tensile Strength ³ (Yield)	21.0	MPa	ASTM D638
Tensile Stress (Yield)	21.0	MPa	ISO 527-2/1A/50
Tensile Elongation ³ (Yield)	6.0	%	ASTM D638
Tensile Strain (Yield)	6.0	%	ISO 527-2/1A/50
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength			ISO 179/1eA
-20°C	8.0	kJ/m ²	
0°C	15	kJ/m ²	
23°C	60	kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength (23°C)	No Break		ISO 179/1eU
Notched Izod Impact			ASTM D256A
-20°C	100	J/m	
0°C	180	J/m	
23°C	No Break		
Hardness	Nominal Value	Unit	Test Method
Rockwell Hardness (R-Scale)	85		ASTM D785
Shore Hardness (Shore D)	60		ISO 868
Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load			ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed	85.0	°C	
Heat Deflection Temperature ⁴ (0.45 MPa, Unannealed)	80.0	°C	ISO 75-2/Bf
Deflection Temperature Under Load			ASTM D648
1.8 MPa, Unannealed	55.0	°C	
Heat Deflection Temperature ⁴ (1.8 MPa, Unannealed)	50.0	°C	ISO 75-2/Al
Vicat Softening Temperature			
--	145	°C	ASTM D1525 ⁵
--	65.0	°C	ASTM D1525 ⁶
Vicat Softening Temperature			
--	145	°C	ISO 306/A120
--	65.0	°C	ISO 306/B120

Figura A2. Propriedades presentes na ficha técnica do PP Copolímero da Sabc [28].

Anexo 2

OCEANIX

rPPC
210-001 Green

PLASTIX

ORIGIN OF END-OF-USE POLYMERS	OceanIX is our range of high-quality post-consumer recycled, PCR raw materials originating from end-of-life maritime gear that would otherwise end up in our oceans or on landfill, sourced for preventive action to eradicate plastic pollution, and suitable to be used at 100% or in a blend.
RECYCLING STEPS	Rough Sorting; Fine Fractioning/Homogenisation; Metal Detection; Shredding; Washing; Separation; Compounding; Extrusion
SELECTED PROCESSING SUITABILITY	Most suitable: Injection Moulding; 3D Print; Extrusion (e.g.: sheets; fibres; films; pipes; tubes); Thermoforming; 3D Free Form Injection Moulding Possible: Blow Moulding (e.g.: bottles); Roto Moulding
COMPLIANCE¹	REACH ; RoHS ; Recycling Norms(European Norm: EN15344:2007 and Spanish Norm: PNE53978)

TECHNICAL DATA				
	METHOD / INFO	CONDITIONS	VALUE	UNITS/COMMENTS
PHYSICAL PROPERTIES				
Melt Flow Index, MFI	ISO 1133-1	230°C, 2,16 kg	2,6 to 4,5	g/10 mins
Density	ISO 1183-1-Method A	Immersion	0,91 to 0,93	g/cm3
Shape		Visual inspection	Regular shaped granules	
Color		Visual inspection	Green	
Color variation	CieLAB		<5,0	Delta E
Smell			No	
Recycled Content			98	%
Filtration Level		Mesh Size	200	μ
Contamination	No of defects on extruded film		n/a	defects/dm2
Other Polymers	DSC and FT-IR Analysis		30	% (HDPE)
MECHANICAL PROPERTIES (AT 23°C)				
Tensile strength ²	ISO 527-1/2		27 to 36	N/mm2 (MPa)
E-modulus ²	ISO 527-1/2		> 900	%
Flexural Modulus	ISO 178		n/a	%
Charpy Impact Strength	ISO 179-1/1eU ³	Unnotched	100 to 130	kJ/m2
THERMAL PROPERTIES				
Melting Point	ISO 11357-1/3		160 to 166	°C
ASH CONTENT	ISO 3451-1		< 1,5	%

Figura A3. Ficha técnica do Oceanix [14].

Anexo 3

Tabela A1. Valores Instantâneos da Dureza.

Valores Instantâneos da Dureza								
	<u>100% PP</u> <u>Copolímero da</u> <u>Sabic</u>		<u>80%/20%</u> <u>PP/Oceanix</u>		<u>60%/40%</u> <u>PP/Oceanix</u>		<u>100% Oceanix</u>	
	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2
Valores	67	65	74	73	79	75	76	84
	64	62	71	67	76	75	82	83
	60	68	72	69	73	82	83	82
	59	67	74	76	82	76	83	87
	68	64	75	75	73	77	89	82
Valor Médio	64	65,2	74	72	76	77	82,6	83,6

Tabela A2. Valores da Dureza medidos após 15 s.

Valores da Dureza (15 segundos após a medição instantânea)								
	<u>100% PP</u> <u>Copolímero da</u> <u>Sabic 27</u>		<u>80%/20%</u> <u>PP/Oceanix</u>		<u>60%/40%</u> <u>PP/Oceanix</u>		<u>100% Oceanix</u>	
	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2	Provete 1	Provete 2
Valores	58	60	64	67	66	67	77	81
	59	61	68	67	74	71	73	74
	61	61	67	65	67	68	76	71
	61	61	72	69	73	71	84	74
	56	62	69	72	69	73	75	70
Valor Médio	59	61	68	68	69	70	77	74