



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Catarina Barbosa Carvalho

**Desenvolvimento de produtos através da
valorização material de lixo marinho**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Ana Catarina Barbosa Carvalho

**Desenvolvimento de produtos através da
valorização material de lixo marinho**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia do Produto

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Miguel Ângelo Carvalho

Professor Doutor Fernando Moura Duarte

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de modo geral, a todas as pessoas que permitiram que este caminho não fosse tão solitário e que me ajudaram a valorizar até mesmo as pequenas conquistas. Especialmente:

À minha mãe, a quem dedico esta dissertação, por acreditar em mim, e pelos inúmeros esforços que fez para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

Ao meu pai, por me ter apoiado à sua maneira.

Aos meus amigos de sempre, Inês, Clárisse, Lílíana e André por serem rede de apoio mesmo quando este caminho me obrigou a ser ausente.

Aos amigos que a universidade me deu, pelo acompanhamento no desenvolvimento deste trabalho e pelos momentos partilhados que levarei para a vida, Bárbara, Bruno, Filipa, Francisca e Maria.

Ao Prof. Dr. Miguel Ângelo Carvalho e Prof. Dr. Fernando Moura Duarte, pelo apoio e orientação, pelos inúmeros ensinamentos passados e pela amizade ao longo de todo este processo.

Ao projeto Azores EcoBlue, e mais concretamente à Nieta Rocha, pela oportunidade que me deu de explorar um tema tão pertinente e pelo provisionamento dos resíduos que foram estudados nesta dissertação.

Ao Sr. Mateus, ao Sr. Manuel e ao Eng. Maurício, do Departamento de Engenharia de Polímeros, por todo o auxílio prestado na fase prática desta dissertação.

Ao Estúdio de Design e Visualização 3D da minha amiga Clárisse pelo auxílio no desenvolvimento das imagens virtuais de contextualização do produto desenvolvido.

E, por fim, ao Departamento de Engenharia de Polímeros, Instituto de Design de Guimarães, Laboratório de Construção e Tecnologia da Escola de Arquitetura da Universidade do Minho e à empresa J. Moreira da Silva por me terem permitido utilizar os seus recursos, sem os quais a conclusão desta dissertação não teria sido possível.

“A felicidade só é verdadeira quando partilhada”

(Christopher McCandless).

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Desenvolvimento de Produtos através da valorização material de lixo marinho

Cada ano, milhares de toneladas de lixo acabam nos mares e oceanos do planeta. Apesar de o ponto de partida de combate ao lixo marinho ser a prevenção, é fundamental que o lixo que polui atualmente as águas seja removido do ambiente marinho - dadas as inúmeras consequências negativas que tem vindo a causar - e que comece a ser reconhecido como um potencial recurso material - evitando a extração de novas matérias.

Neste sentido nasceu o projeto Azores EcoBlue - no qual se enquadra o tema desta dissertação - que pretende desenvolver produtos inovadores através da utilização do lixo marinho recolhido no mar açoriano como matéria-prima. Os Açores localizam-se na fronteira de um dos sistemas de correntes onde o lixo marinho tende a acumular-se. Em conjunto com as comunidades locais, o projeto pretende recolher, entre outros, os principais resíduos registados na zona: os originários da atividade piscatória (fator que se deve ao papel socioeconómico da atividade na região).

Esta dissertação teve como objetivo final a conceção de um produto - a incorporar, futuramente, uma eco-cabana – utilizando o material reciclado originado a partir da reciclagem mecânica dos resíduos recolhidos pelo projeto, mais concretamente de artes de pesca recuperadas compostas por poliamida.

Este estudo, dividiu-se, por isso, em duas fases principais distintas: a fase de desenvolvimento do material reciclado, que envolveu a caracterização química e térmica dos materiais dos resíduos selecionados para estudo, a conceção do material com recurso à técnica de moldação por compressão e a caracterização mecânica do mesmo, e a fase de desenvolvimento do produto que culminou com a produção de um protótipo físico do mesmo.

Após conclusão do estudo, e tendo este cessado com a geração de um separador de ambientes para uma eco-cabana, pôde comprovar-se a viabilidade de desenvolver produtos que promovam a reintrodução de materiais recuperados do ambiente marinho na economia, mais concretamente de materiais provenientes de artes de pesca recuperadas.

PALAVRAS-CHAVE: Açores, Artes de pesca, Desenvolvimento de produtos, Poluição marinha, Reciclagem mecânica

ABSTRACT

Product development through marine waste material valorization.

Every year, thousands of tons of waste end up in the planet's seas and oceans. Although the starting point for combating marine litter is prevention, it is crucial that the waste currently polluting the waters is removed from the marine environment - given the numerous negative consequences it has been causing - and that it begins to be recognized as a potential material resource - avoiding the extraction of new materials.

Therefore, projects such as the Azores EcoBlue project are beginning to emerge. This project, to which this dissertation is related, aims to develop innovative products using marine waste collected in the Azorean sea as raw material. The Azores are located on the edge of one of the ocean current systems where marine litter tends to accumulate. Together with local communities, the project intends to collect, among other items, the main types of waste recorded in the region: those originating from fishing activity (something that is due to the socio-economic role of the activity in the region).

The aim of this dissertation was to develop a product - to be incorporated into an eco-cabin in the future - using recycled material originated from the mechanical recycling of waste collected by the project, specifically recovered fishing gear made of polyamide.

This study was therefore divided into two main distinct phases: the recycled material development phase, which involved the chemical and thermal characterization of the waste materials selected for study, the production of the material using the compression moulding technique, and its mechanical characterization, and the product development phase, which culminated in the production of its physical prototype.

After the conclusion of this study, which ended with the generation of a room divider for an eco-cabin, it was possible to prove the feasibility of developing products that promote the reintroduction of materials recovered from the marine environment into the economy, specifically materials from recovered fishing gear.

KEY WORDS: Azores, Fishing gear, Product development, Marine pollution, Mechanical recycling

ÍNDICE

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros.....	ii
Agradecimentos	iii
Declaração de integridade.....	iv
Resumo	v
Abstract.....	vi
Índice	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xvi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Lixo marinho – a problemática.....	1
1.2 Caso Particular dos Açores	4
1.2.1 Açores: Potencial zona de retenção de lixo flutuante.....	4
1.2.2 Lixo marinho no fundo do mar açoriano.....	6
1.2.3 Atividade piscatória nos Açores.....	7
1.3 Projeto Azores EcoBlue.....	8
1.3.1 Materiais recolhidos Azores EcoBlue.....	10
1.4 Objetivos e motivações.....	12
1.5 Estrutura da dissertação.....	13
2 Estado da Arte.....	14
2.1 DFG – Materiais.....	14
2.2 Gestão de resíduos de artes de pesca abandonadas.....	17
2.2.1 Reciclagem Mecânica de DFG - Casos de estudo.....	19
2.2.2. Produtos/Estudo de Mercado.....	25
3 Materiais e Métodos.....	28

3.1 Materiais.....	28
3.1.1 Seleção.....	28
3.1.2 Caracterização.....	29
3.1.3 Poliamidas.....	33
3.2 Preparação de Materiais – Reciclagem mecânica.....	34
3.2.1 Separação e remoção de elementos contaminantes.....	35
3.2.2 Redução de dimensão.....	35
3.2.3 Lavagem.....	37
3.2.4 Secagem.....	38
3.3 Produção.....	39
3.3.1 Seleção da técnica de produção do reciclado.....	39
3.3.2 Moldação por Compressão.....	40
3.3.2.1 Condições de processamento.....	41
3.3.2.2 Procedimento Experimental.....	41
3.3.2.3 Composições.....	43
3.3.2.4 Ensaio Realizados.....	44
3.4 Caracterização Mecânica do reciclado.....	46
3.4.1 Ensaio de Tração.....	47
3.4.2 Ensaio de Flexão.....	48
3.4.3 Ensaio de Impacto	50
3.5 Reprocessamento – Averiguação de potencial de contribuição para economia circular.....	51
3.6 Pós – processamento (união de peças)	53
4 Apresentação e discussão de resultados.....	55
4.1 Resultados preparação dos materiais – Reciclagem mecânica.....	55

4.1.1 Separação e remoção de elementos contaminantes.....	55
4.1.2 Redução de dimensão.....	57
4.1.3 Lavagem.....	58
4.1.4 Secagem.....	59
4.2 Produção.....	59
4.3 Caracterização Mecânica do reciclado.....	64
4.3.1 Ensaio de Tração.....	64
4.3.2 Ensaio de Flexão.....	67
4.3.3 Ensaio de Impacto.....	68
4.4 Reprocessamento.....	70
4.5 Pós – processamento.....	71
5 Desenvolvimento do Produto.....	75
5.1 Planeamento.....	75
5.2 Desenvolvimento de Conceitos.....	78
5.2.1 Identificação das necessidades dos clientes.....	78
5.2.2 Estabelecimento de especificações-alvo.....	80
5.2.2.1 Métricas benchmarking.....	81
5.2.3 Geração de conceitos.....	84
5.2.4 Seleção de conceitos.....	95
5.2.5 Teste de conceito.....	96
5.2.5.1 Materiais e dimensões.....	96
5.2.5.2 Problemas encontrados e soluções consequentes.....	97
5.3 Design ao nível do sistema.....	100
5.4 Design de detalhes.....	101

5.5 Produto em contexto de utilização – Imagens Virtuais.....	106
5.6 Testagem e refinamento – protótipo físico.....	109
6 Conclusões e trabalho futuro.....	112
Referências bibliográficas.....	114
Anexo 1 Fichas técnicas ultramid® b33 sl e ultramid® c40.....	124
Anexo 2 Curvas tensão- deformação (ensaios de tração).....	126
Anexo 3 Desenhos Técnicos	127
Anexo 4 Informações peças normalizadas	131
Anexo 5 Planos de processo de fabrico (peças únicas) e plano de montagem do produto	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da área de estudo representando o Giro Subtropical do Atlântico Norte e suas correntes associadas.....	4
Figura 2 – a), b) e c) amostra de lixo pré separação e categorização.....	10
Figura 3 – a) Itens variados de plástico; b) Garrafas de plástico; c) Rolhas plásticas.....	11
Figura 4 – a) Sapatos/solas de sapatos; b) Sinalizadores/flutuadores de Poliestireno Expandido (EPS) e Boias plásticas.....	11
Figura 5 – a) Monofilamentos de pesca; b) Cabos/Cordas de pesca; c) Cabos/Cordas de pesca.....	11
Figura 6 – a) Palangre de fundo; b) Palangre de superfície.....	17
Figura 7 – a) Monofilamento incolor Ø1,85 mm – Tipo A; b) Monofilamento incolor Ø0,85 mm – Tipo B; c) Monofilamento azul Ø1 mm – Tipo C; d) Monofilamento laranja Ø1 mm – tipo D.....	30
Figura 8 – Bandas espectrais amostras A a D.....	31
Figura 9 – Resultados DSC amostras A a D.....	32
Figura 10 – Etapas preparação material reciclagem mecânica.....	34
Figura 11 – a) Método de remoção dos elementos contaminantes; b) elemento contaminante removido.....	35
Figura 12 – Redução de dimensão com recurso a guilhotina manual.....	36
Figura 13 – a) GRINDO granulator 20-18/JM; b) método alimentação.....	36
Figura 14 – Coador de cozinha com malha fina.....	37
Figura 15 – a) Saco utilizado para lavagem automática; (b) malha exterior; (c) malha interior.....	38
Figura 16 - Estufa de convecção Binder FD 115.....	39
Figura 17 – Etapa IV: a) pesagem massa a moldar; b) preenchimento cavidade do espaçador com material triturado.....	42
Figura 18 – Etapa IV ensaios com composição tipo 3: a) camada com metade da massa polimérica e algas liofilizadas; b) camada final – restante massa polimérica.....	43
Figura 19 – Geometria e dimensões provetes ensaio de tração.....	48
Figura 20 – a) Corte dos provetes com recurso à serra de fita; b) Provetes ainda com rebarbas.....	49

Figura 21 – a) Vista geral ensaio; b) Vista aproximada ensaio.....	49
Figura 22 – Realização de um ensaio no Pêndulo de Impacto CEAST.....	51
Figura 23 – a) Material composição tipo 1 e 2 triturado; b) Material composição tipo 3 triturado; c) Pormenor material composição tipo 3 triturado.....	52
Figura 24 – a) iQ Series Hand Held Ultrasonic Welding Systems; b) Sonotrodos forma em degrau; c) Sonotrodo lado reto.....	54
Figura 25 – a) Teste com sonotrodo de degrau e extremidade circular; b) Teste com sonotrodo extremidade retangular.....	54
Figura 26 – Um dos emaranhados de filamentos de pesca recolhidos.....	56
Figura 27 – a) Material no interior da câmara de trituração; b) Material triturado; c) Porções de monofilamentos que passaram intactas.....	58
Figura 28 – Pó removido do material triturado após peneiração.....	59
Figura 29 – Material reciclado tipo 1 moldado na espessura de 0,7 mm.....	64
Figura 30 - Resultados de tensão máxima em ensaios de tração.....	65
Figura 31 - Resultados de deformação máxima em ensaios de tração.....	65
Figura 32 – Resultados Módulo de Elasticidade em ensaios de tração.....	65
Figura 33- Ensaio de tração. a) Composição tipo 1; b) Composição tipo 2; c) Composição tipo 3.....	67
Figura 34 - Resultados Módulo de Elasticidade à flexão.....	68
Figura 35 – Ensaio de Impacto – material não partiu.....	69
Figura 36- Placas reprocessamento. a) composição tipo 1 e 2 (conjuntamente); b) composição tipo 3 (separadamente).....	70
Figura 37 - Soldadura realizada com: a) sonotrodo circular; b)sonotrodo retangular.....	71
Figura 38 – Soldadura 1 lado após pequeno esforço mecânico manual.....	72
Figura 39 – Ensaio de tração soldadura 2 lados.....	72
Figura 40 - Resultados de tensão máxima em ensaios de tração material não soldado vs soldadura.....	73
Figura 41 - Resultados de deformação máxima em ensaios de tração material não soldado vs soldadura 2 lados.....	73

Figura 42 - Resultados Módulo de Elasticidade em ensaios de tração material não soldado vs soldadura 2 lados.....	73
Figura 43 – Processo de desenvolvimento de produtos seguido.....	75
Figura 44 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – exterior	76
Figura 45 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – interior	77
Figura 46 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – a) separação sala de estar/sala de jantar e escritório; b) separação sala de estar/deck exterior	77
Figura 47 - Biombo RISÖR a) produto no contexto de utilização; b) pormenor do produto.....	81
Figura 48 – Facet. a) formas de diamante giradas; b) estrutura de alumínio feita de seções triangulares.....	82
Figura 49 – Sticks. a) produto em contexto de utilização; b) diferentes formatos de base; c) base com iluminação LED.....	83
Figura 50 - <i>Brainstorming</i> com aspetos a explorar na criação de conceitos.....	86
Figura 51 – Conceito nº1: a) Esboço do conceito; b) espécie – inspiração; c) esboço mimetização manchas da espécie – inspiração.....	86
Figura 52 – Conceito nº2: a) Esboço do conceito; b) Espécie – inspiração; c) Esboço mimetização manchas da espécie – inspiração.....	87
Figura 53 – Conceito nº3: a) Esboço do conceito – vista frontal; b) Esboço do conceito – vista explodida.....	87
Figura 54 – Conceito nº4: Esboço.....	88
Figura 55 – Conceito nº5: Esboço.....	89
Figura 56 – Conceito nº6: a) Esboço do conceito; b) produto-inspiração.....	90
Figura 57 – Processo idealizado para produção dos módulos.....	91
Figura 58 – Conceito nº7: a) Esboço do conceito – vista frontal; b) Esboço do conceito – vista lateral; c) Via de passagem luminosa.....	91
Figura 59 - Conceito nº8: a) Esboço do conceito; b) Espécie – inspiração.....	92
Figura 60 - Conceito nº8 : Explicação curvaturas. a) Esboço do conceito; b) Fotografia da série "Zoids" captadas por Aaron Ansarov	93

Figura 61 – Conceito n°8: a) Esboço do conceito – vista isométrica; b) pormenor “folhas” que acrescentam tridimensionalidade ao produto; c) pneumatóforo da espécie <i>Physalia physalis</i>	94
Figura 62 – Conceito n°9: Esboço.....	94
Figura 63: Protótipo prova de conceito: a) placas de contraplacado com os cortes realizados; b) pormenor de região após colocação dos restantes materiais.....	97
Figura 64 – Representação visual do produto: a) sem modificações; b) com modificações.....	99
Figura 65 – Representação visual do produto: pormenor sistema de suporte e mobilidade.....	99
Figura 66 – Vista explodida do produto e identificação dos principais componentes.....	100
Figura 67 – Arquitetura do produto: identificação de blocos físicos e relações entre componentes.....	101
Figura 68 – Dimensões janela sala - deck exterior.....	102
Figura 69 – Separador de Ambientes: Vista frontal.....	106
Figura 70 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 1 (vista lateral).....	107
Figura 71 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 1 (vista sala estar para sala jantar/escritório).....	107
Figura 72 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 2 (vista sala estar para exterior).....	108
Figura 73 – Separador de Ambientes: vista de pormenor.....	108
Figura 74 – Parte do Separador selecionada para prototipagem.....	109
Figura 75 – Protótipo Separador de Ambientes: a) com pés de suporte; b) sem pés de suporte.....	109
Figura 76 – Estrutura: a) ambas as partes; b) parte 1(desníveis na face oposta); c) parte 2 (desníveis na face frontal).....	110
Figura 77 – Montagem: a) Caixilho 2 + Estrutura 2 + “vitrais”; b) Pormenor da junção da Estrutura 1 e Estrutura 2 sem “vitral” para perceção do espaço criado para encaixe do mesmo; c) Pormenor Caixilho.....	110
Figura 78 – Pormenores comportamento do produto consoante direção da luz: a) luz frontal; b) contraluz; c) contraluz.....	110
Figura 79 – Ficha técnica Ultramid® B33 SL.....	124
Figura 80 – Ficha técnica Ultramid® C40 L.....	125
Figura 81 – Curvas tensão- deformação Tipo 1.....	126

Figura 82 – Curvas tensão - deformação Tipo 2.....	126
Figura 83 – Curvas tensão - deformação Tipo 3.....	126
Figura 84 – Desenho Técnico: Produto Montado.....	127
Figura 85 – Desenho Técnico: Caixilho.....	128
Figura 86 – Desenho Técnico: Estrutura (parte 2)	129
Figura 87 – Desenho Técnico: Pé de suporte.....	130
Figura 88 – Plano produção partes poliméricas.....	132
Figura 89 – Plano produção partes de madeira.....	132
Figura 90 – Plano Montagem Separador de Ambientes.....	133

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - 25 anos de vida selvagem encontrada enroscada.....	3
Tabela 2 – Tipologias de resíduos aos quais se teve acesso e respectivos pesos.....	10
Tabela 3 – Algumas das categorias de artes de pesca, respetiva ilustração, componentes e materiais constituintes.....	15
Tabela 4 – Produtos comercialmente disponíveis que utilizam polímeros provenientes de artes de pesca em fim-de-vida.....	26
Tabela 5 – Composições exploradas.....	43
Tabela 6 – Parâmetros adotados em cada ensaio realizado.....	44
Tabela 7 – Elementos orgânicos removidos.....	56
Tabela 8 – Elementos inorgânicos removidos.....	56
Tabela 9 – Resultados ensaios de moldação por compressão.....	60
Tabela 10 – Placas resultantes do Ensaio n°3 expostas a luz natural.....	63
Tabela 11 – Mission Statement : Separador de ambientes.....	78
Tabela 12 – Modelo levantamento de necessidades dos clientes.....	79
Tabela 13 – Importância de cada necessidade identificada.....	79
Tabela 14 – Métricas.....	80
Tabela 15 – Métricas de produtos benchmarking.....	83
Tabela 16 – Peças únicas.....	101
Tabela 17 – Peças padrão.....	102
Tabela 18 – Especificações finais Separador de Ambientes.....	105
Tabela 19 – Informações peças padrão.....	129

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ALDFG - Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (artes de pesca perdidas, abandonadas ou descartadas)

°C – Graus Celsius

DEP – Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho

DFG - Discarded fishing gear (artes de pesca descartadas)

DSC - Calorimetria diferencial de varrimento

EPS - Poliestireno Expandido

FTIR - Infravermelho por transformada de Fourier

g – Grama

HDPE - polietileno de alta densidade

IDEGUI – Instituto de Design de Guimarães

MDF - Medium Density Fiberboard

MPa – Mega Pascal

mm – Milímetro

min – Minuto

PA - Poliamida

PE - Polietileno

PET - Politereftalato de etileno

PES - Polisulfona

PVC - Policloreto de vinila

ton – Toneladas

UHMWPE - Polietileno de ultra alto peso molecular

WWF - World Wide Fund for Nature

1 INTRODUÇÃO

1.1 Lixo marinho – a problemática

O lixo Marinho, definido pelo United Nations Environment Programme (UNEP, 2009) como “any persistent, manufactured or processed solid material discarded, disposed of or abandoned in the marine and coastal environment”, e as suas consequências ambientais, sociais, económicas, estéticas e de saúde, constituem, há vários anos, uma preocupação a nível mundial.

A sua gênese encontra-se, sobretudo, em comportamentos e ações humanas acidentais e intencionais, com origem quer em atividades terrestres, quer em atividades oceânicas. As principais fontes de lixo marinho de origem terrestre são os aterros municipais costeiros, as massas de água utilizadas como lixeiras ilegais, o transporte fluvial de resíduos terrestres, as descargas de águas residuais municipais não tratadas, as instalações industriais, os resíduos hospitalares e o turismo costeiro (UNEP, 2009). Atividades como a pesca, a navegação ou a aquicultura, são a principal fonte do lixo marinho de origem oceânica. Desta forma, enquanto os resíduos terrestres podem acabar depositados nos oceanos após serem transportados por vias como o vento, rios e águas residuais, os resíduos provenientes de atividades oceânicas tendem a entrar diretamente no mar (Schneider, 2020).

Dada esta pluralidade de fontes, o lixo marinho é composto por diferentes tipos de resíduos antropogénicos. No entanto, o seu maior e mais nocivo contribuinte são os plásticos (Galgani et al., 2019). Com a entrada diária estimada de 12,9 a 35,1 mil toneladas de resíduos plásticos mal geridos no mar, as atividades terrestres são responsáveis por cerca de 80% de todo o lixo marinho atual (Jambeck *et al.*, 2015; Li, Tse e Fok, 2016, citados por Schneider, 2020). Os restantes 20%, oriundos de atividades oceânicas, são principalmente compostos por artes de pesca¹ (Schneider, 2020).

Embora seja difícil definir a contribuição concreta das artes de pesca perdidas, abandonadas ou descartadas (ALDFG) para o lixo marinho, as tentativas de quantificação da problemática em larga escala indicam que estas representam menos de 10% do volume global de lixo marinho, mesmo se estimando que todos os anos, entre 500 000 e 1 milhão de toneladas de artes de pesca entrem no oceano e se transformem em ALDFG (UNEP & FAO, 2009).

¹ Artes de pesca: qualquer dispositivo físico, ou parte dele, ou combinação de elementos que possam ser colocados no mar com o objetivo de capturar, ou controlar para posterior captura ou recolha, organismos marinhos. Exemplos: Redes, cordas e linhas de pesca, flutuadores, armadilhas, anzóis, guinchos (IMO, 1978, citado por He *et al.*, 2023).

Embora estes resíduos não sejam o contaminante que existe em maior número na globalidade do ambiente marinho, têm chamado particular atenção, uma vez que, durante os anos 50, a maioria das indústrias piscatórias mundiais substituiu as artes de pesca produzidas em fibras naturais como o algodão, a juta e o cânhamo por artes produzidas em materiais sintéticos, como o nylon, o polietileno e o polipropileno. Estas, mais resistentes à degradação na água, uma vez descartadas no mar, podem permanecer no ambiente marinho durante décadas (USOAP, 2004, citado por Good, T. P. *et al.*, 2010), provocando inúmeras consequências negativas.

Uma dessas consequências é a pesca fantasma, que ocorre quando as artes de pescas, mesmo após perdidas ou descartadas continuam, por si só, a capturar ou a enredar-se em partes do corpo dos animais marinhos (Kozioł *et al.*, 2022).

A eficiência desse fenômeno parece estar diretamente relacionada não só à tipologia como também ao estado e posição do equipamento de pesca no momento de perda ou descarte: Artes abandonadas (cujo pescador não conseguiu recuperar devido a terem ficado presas a obstáculos marinhos ou sobre as quais perdeu o controlo e não conseguiu localizar) estarão, à partida, configuradas para a sua máxima eficiência de pesca (principalmente se se encontrarem ancoradas) e, portanto, terão uma taxa elevada de capturas fantasma. Por outro lado, artes descartadas tendem a desmantelar-se mais rapidamente e, portanto, a ter eficiências de pesca fantasma mais baixas (Kozioł *et al.*, 2022; UNEP & FAO, 2009).

O emaranhamento representa especialmente uma ameaça para os mamíferos, as tartarugas, as aves, e o biota bentónico, como os corais (Allen *et al.*, 2012; Carr, 1987; Chiappone *et al.*, 2005; Neilson *et al.*, 2009; Pham *et al.*, 2013; Schrey & Vauk, 1987; Williams *et al.*, 2011 citados por Pham, 2014). Segundo Baker (2023), estima-se que morrem, por ano, devido ao emaranhamento em artes de pesca fantasma, 300 000 baleias, golfinhos e botos.

Ademais, estes resíduos podem ainda provocar acidentes de navegação devido ao seu enroscamento na hélice, eixo da hélice, leme, propulsão a jato ou entradas de água de uma embarcação, algo que pode afetar a estabilidade da mesma na água e restringir a sua capacidade de manobra (UNEP & FAO, 2009).

Por fim, artes de pesca à base de materiais plásticos, apesar de apresentarem uma degradação muito lenta, permanecendo no ambiente marinho por décadas se não forem recolhidas, sofrerão a libertação gradual de fibras de microplástico que poderão ser ingeridos por organismos filtradores e

peixes, podendo criar um caminho para o transporte de substâncias químicas prejudiciais na cadeia alimentar (OSPAR Commission, 2020).

Parte da informação supramencionada pode ser corroborada, por exemplo, com a análise dos dados de um relatório da Ocean Conservancy, datado de 2011, que sumariza dados acerca dos 25 anos da Ocean Conservancy's International Coastal Cleanup, um dos maiores esforços de voluntariado em prol da saúde dos oceanos alguma vez realizados, onde cerca de nove milhões de voluntários de 152 países e locais limpam aproximadamente 145 milhões de quilos de lixo das margens de lagos, rios, ribeiros, rios e do oceano (Ocean Conservancy, 2011). Como pode constatar-se na tabela 1, os itens relacionados com a atividade piscatória, isto é, as artes de pesca como as linhas e redes de pesca, cordas (também utilizadas pela atividade piscatória), armadilhas e anzóis de pesca fazem parte dos itens com mais registos de ocorrências de emaranhamento de seres marinhos, sendo que as linhas de pesca lideram com um total de 1.636 ocorrências, um valor bastante acima dos demais registados. De ressaltar que este facto se deu apesar das artes de pesca não se terem verificado como os itens recolhidos em maior número pela Ocean Conservancy's International Coastal Cleanup (Ocean Conservancy, 2011).

Tabela 1 - 25 anos de vida selvagem encontrada enroscada (adaptada de Ocean Conservancy, 2011)

	Anfíbios	Aves	Corais	Peixes	Invertebrados	Mamíferos	Répteis	Total
Garrafas de bebida	3	8	0	27	47	13	2	100
Latas de bebida	1	2	0	15	17	1	0	36
Armadilhas para caranguejos/lagostas/peixes	1	11	1	48	106	3	3	173
Anzóis de pesca	2	76	0	54	10	3	6	151
Linhas de pesca	9	722	14	553	237	46	55	1636
Redes de pesca	3	153	1	249	207	29	30	672
Sacos (plástico)	13	102	0	142	91	33	23	404
Fita/ Cordel	0	91	0	37	29	7	2	166
Corda	4	160	0	114	53	71	24	426
Suportes de 6 embalagens	2	63	0	52	21	3	5	146
Abraçadeiras plásticas	2	30		34	12	5	5	88
Arame	1	31	1	16	13	7	6	75
Total	41	1149	17	1341	843	221	161	4073

Assim, pode concluir-se que apesar das artes de pesca não se tratarem do maior poluente dos oceanos no geral, fazem parte dos itens cuja presença no mar provoca mais consequências negativas, no que diz respeito, especialmente, à vida marinha, sendo assim, de grande importância, agir de forma preventiva e curativa em relação ao descarte das mesmas nos ambientes aquáticos.

1.2 Caso particular dos Açores

1.2.1 Açores: Potencial zona de retenção de lixo flutuante

O arquipélago dos Açores é composto por nove ilhas de natureza vulcânica e situa-se no Oceano Atlântico entre as latitudes 37° e 40° N e as longitudes 25° e 31° W (Localização Geográfica, s.d.), estando assim localizado na extremidade norte do Giro Subtropical do Atlântico Norte (Pieper *et al.*, 2015).

Segundo a National Geographic Society (s.d.), um giro oceânico trata-se de um grande sistema de correntes oceânicas circulares formado por padrões globais de vento e forças criadas pela rotação da Terra.

No caso, e tal como evidente na Figura 1, o Giro do Atlântico Norte começa com o fluxo para norte da Corrente do Golfo ao longo da costa leste dos Estados Unidos, sendo esta a corrente que limita o giro ocidentalmente. O fluxo segue depois até à Corrente do Atlântico Norte, que atravessa o Norte do oceano em direção à Europa. Continuando a fluir num padrão circular, a corrente flui para sul até à costa noroeste de África, onde é conhecida como a Corrente das Canárias, sendo esta a corrente que limita orientalmente o giro. Este completa-se quando a Corrente Equatorial do Atlântico Norte atravessa o Oceano Atlântico até ao Mar das Caraíbas (National Geographic Society, s.d.).

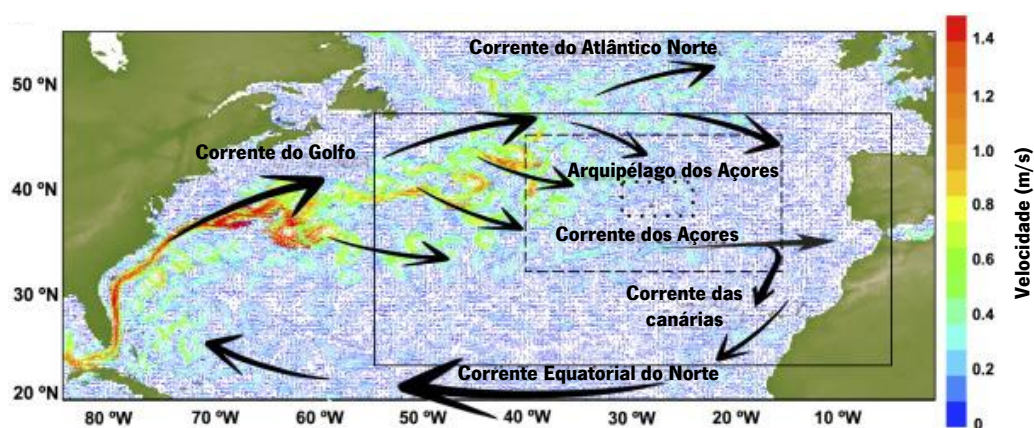


Figura 1 - Mapa da área de estudo representando o Giro Subtropical do Atlântico Norte e suas correntes associadas (adaptado de Sala *et al.*, 2016)

Estudos oceanográficos realizados e observações empíricas mostram que o lixo que flutua à superfície do oceano tem tendência a acumular-se no centro dos giros oceânicos devido à influência de correntes de grande escala (como as anteriormente mencionadas), que transportam quantidades consideráveis de lixo marinho de fontes distantes, formando "manchas de lixo" (Hall, 2000; Kühn *et al.*, 2015; Mouat *et al.*, 2010 & Ryan *et al.*, 2019 citados por Rodríguez *et al.*, 2020).

De modo consequente, as costas das ilhas oceânicas próximas destas zonas tendem a sofrer, frequentemente, níveis exorbitantes de poluição plástica, apesar de estarem geograficamente afastadas das principais áreas de origem dos resíduos plásticos – as costas continentais (Lavers & Bond, 2018; Monteiro *et al.*, 2018; Pham *et al.*, 2020).

Assim, devido à sua localização isolada na margem norte do giro subtropical do Atlântico Norte, o arquipélago dos Açores foi identificado como uma potencial zona de retenção de lixo flutuante (Chambault *et al.*, 2018).

Tendo em conta este pressuposto, foram sendo realizadas, nos últimos anos, algumas investigações com o objetivo de caracterizar o lixo marinho na região dos Açores.

A título de exemplo, a investigação que ocorreu entre 2015 e 2017, e que visava documentar a distribuição e a composição do macro lixo flutuante presente ao largo das ilhas dos Açores e da Madeira.

Nesta foram realizados levantamentos padronizados. Os registos foram executados por um observador que olhava para cada lado do navio, a cerca de oito metros acima do nível do mar, numa faixa de observação de 50 m de cada lado, a bordo de embarcações de pesca de atum com vara e linha no arquipélago dos Açores e ao largo da Madeira. As observações ocorreram principalmente durante a primavera e o verão.

Segundo Chambault *et al.* (2018), a presença de macro detritos nestas zonas foi confirmada. Entre os 2.406 levantamentos visuais efetuados, foram registados 482 detritos flutuantes. Em termos de composição dos detritos, três categorias dominaram e representaram 87% dos avistamentos: plástico geral (48%), embalagens de plástico (21%) e artes de pesca (18%).

Os resultados desta investigação revelaram que, embora localizado na fronteira norte do Giro Subtropical do Atlântico Norte, no mar dos Açores a quantidade de macro detritos flutuantes é menor comparativamente às quantidades encontradas perto das costas continentais (Chambault *et al.*, 2018).

No entanto, segundo o UNEP (2005) e tal como citado por Basurko *et al.* (2015), estima-se que apenas 15% do lixo que entra no mar permanece a flutuar à sua superfície, sendo que outros 15% chegam à costa e os restantes 70% se afundam.

Dessa forma, tem havido também interesse em estudar o fundo do mar.

De seguida irão abordar-se as conclusões de dois dos estudos cujo foco de análise foi essa região do Arquipélago dos Açores.

1.2.2 Lixo marinho no fundo do mar açoriano

O primeiro estudo relativo à caracterização e quantificação do lixo marinho no fundo do mar açoriano a ser abordado teve como alvo de estudo o monte submarino Condor, mais concretamente, e decorreu entre 2010 e 2011.

O monte submarino Condor está localizado a 17 km a sudoeste da ilha do Faial, no arquipélago dos Açores, uma área muito utilizada por pescadores locais que recorrem às linhas de mão e palangres de fundo, principalmente até 600 m, como artes de pesca. (Menezes *et al.*, 2013).

No âmbito deste estudo foram efetuados 48 mergulhos que permitiram identificar 55 itens de lixo numa área total de 56.430 m². As linhas de pesca foram o principal item de lixo encontrado, representando 73% do total de itens de lixo avistados no cume e 50% dos itens avistados na encosta do monte em estudo. As linhas de monofilamento revelaram-se o tipo dominante (Pham *et al.*, 2013).

Passando agora ao segundo estudo que teve como objetivo fornecer dados sobre o lixo marinho no fundo do mar dos Açores, este decorreu mais recentemente (2017) e utilizou a Passagem do Faial-Pico como objeto de estudo.

De acordo com Rodríguez & Pham (2017), neste estudo foram analisados 45,2 km registados em imagens de vídeo, recolhidas durante 56 viagens de observação do fundo marinho da Passagem Faial-Pico, com o objetivo de se quantificar a abundância de lixo marinho e as suas interações com a fauna bentónica nessa zona. Com os dados recolhidos, concluiu-se que as artes de pesca abandonadas foram, mais uma vez, os itens predominantes, representando 64% de todos os detritos encontrados, sendo que cordas e linhas de pesca compõem 59,8% destes.

Foram observadas interações com a fauna em 32% dos artigos de lixo encontrados, algumas delas protagonizadas por linhas de pesca que foram encontradas emaranhadas com organismos bentónicos, como corais e esponjas. Partes destes organismos aparentavam estar partidos, indicando efeitos prejudiciais diretos causados por estes detritos.

Em suma, apesar da Passagem Faial-Pico se localizar mais perto de costa do que o monte submarino Condor (objeto de estudo da investigação anterior), verificou-se que ambos os locais se encontravam contaminados, acima de tudo, por artes de pesca abandonadas (principalmente linhas de pesca e cordas). Este não é um facto surpreendente, uma vez que, segundo Diogo & Pereira (2013), a Passagem Faial-Pico é uma zona de pesca às quais pescadores profissionais e recreativos recorrem para capturar uma grande variedade de espécies de peixes demersais.

Pode então deduzir-se que existe, na região dos Açores, uma forte relação entre o número de detritos de origem oceânica encontrados e o nível de atividade piscatória na zona.

1.2.3 Atividade piscatória nos Açores

Sabe-se que “o setor das pescas é a principal fonte de exploração do mar nos Açores, constituindo uma importante fonte de rendimentos e de desenvolvimento com grande impacto social e económico na Região” (Santos, 2018, p.74). Em adição, acerca desta atividade no Arquipélago dos Açores, sabe-se ainda que:

A atividade pesqueira açoriana está tradicionalmente sustentada nos recursos marinhos mais comerciais, dividindo-se principalmente em quatro estratégias: pesca de palangre de fundo e linha de mão para espécies demersais e profundidade (...) e cefalópodes (...); pesca de pequenos pelágicos com redes de cercar para bordo, sacadas e redes da borda como o chicharro; salto e vara, utilizando isco vivo, dirigida aos tunídeos; e palangres de superfície para pesca de grandes pelágicos como o espadarte (*Xiphias gladius*) (Gallager, L. *et al.*, 2003 citado por Santos, 2018, p.70)

É ainda conhecido que a maior parte da frota de pesca, cerca de 87%, é maioritariamente equipada com linhas de mão e palangres de fundo, e que as espécies demersais, as espécies-alvo deste tipo de arte, representavam, em 2015, mais de 50% do valor total anual desembarcado na região (Pinho & Menezes, 2006 citados por Diogo *et al.*, 2015).

1.3 Projeto Azores EcoBlue

Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas trata-se de prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha até 2025 (United Nations General Assembly, 2015).

Para atingir este objetivo, têm sido desenvolvidos bastantes esforços no sentido preventivo e curativo da problemática. As ações preventivas incluem, por exemplo, o regime de responsabilidade alargada do produtor proposto pela União Europeia que imporia o custo da recolha das artes de pesca e do tratamento dos resíduos desses equipamentos aos seus produtores (Comissão Europeia, 2018). A ideia por detrás desta proposta é incentivar os produtores a melhorarem o design das artes de pesca, utilizando menos materiais e materiais menos nocivos, de forma que a sua reparação, reutilização e reciclagem sejam facilitadas. Além disso, pretende-se, com esta medida, motivar a criação de um sistema eficaz de recolha de artes de pesca em fim de vida, que resultará na redução dos custos de recolha das artes pelos produtores.

No entanto, embora as abordagens preventivas sejam geralmente menos dispendiosas do que os esforços curativos, de limpeza (Schneider *et al.*, 2023), e abordem o lixo marinho na sua fonte, diminuindo a entrada de resíduos a longo prazo, estas não reduzem o nível de poluição já existente (Schneider, 2020).

Assim, para reduzir a atual acumulação de DFG, a par das medidas preventivas, são essenciais esforços de limpeza curativa. Um dos exemplos que mais se destaca na atualidade é a iniciativa da Ocean Cleanup, que instalou uma barreira flutuante para recolher 3.640 toneladas de DFG/ano no Giro do Oceano Pacífico Norte, (Van Giezen e Wiegmans, 2020).

Contudo, também a comunidade açoriana já iniciou esforços neste sentido. Como exemplo, a iniciativa ‘Fishing for Litter’, uma ação de limpeza, em especial de artes de pesca perdidas ou abandonadas, que decorreu em 2020 em três ilhas do arquipélago – Faial, Terceira e São Miguel. Esta ação foi promovida pela Secretaria Regional do Mar, Ciência e Tecnologia, em parceria com a Sea Expert e contou com a colaboração do Observatório do Mar dos Açores e IMAR / OKEANOS e dos pescadores locais, que ficaram responsáveis por recolher o lixo marinho (LIFE IP Azores Natura, 2020).

Porém, embora o contributo dos Açores para a poluição marinha esteja longe dos principais países ou regiões poluentes, mesmo para as pequenas comunidades, as despesas relacionadas com o lixo marinho podem ser significativas. Segundo Rodríguez *et al.* (2020), foi estimado que o custo da poluição por lixo marinho nos Açores é de cerca de 710.698€/ano, o que equivale a 0,02% do Produto

Interno Bruto do arquipélago dos Açores. Para além de gerar custos e inconvenientes para as partes interessadas envolvidas em atividades marinhas, o lixo marinho aumenta ainda os orçamentos de limpeza de resíduos de pequenas comunidades que vivem em ilhas remotas.

Assim, pensar em soluções que, para além de garantirem a proteção e preservação do mar e da sua biodiversidade, reconheçam o potencial de geração de valor através da valorização material do lixo marinho é um caminho necessário nos dias de hoje.

O projeto Azores EcoBlue, no qual se insere o tema desta dissertação, visa desenvolver novas e inovadoras matérias-primas e produtos através da transformação de lixo marinho, atualmente pouco valorizado.

Em conjunto com as comunidades locais, cerca de 40 toneladas de lixo foram recolhidas, com ênfase nas sedas e cabos da atividade piscatória e algas infestantes. Estes desperdícios foram recolhidos com o apoio do Governo Regional dos Açores, através dos Serviço de lotas dos Açores e com a criação de um grupo de armadores espalhados por todas as ilhas que fizeram a recolha no mar e entregaram na central de resíduos da respetiva ilha.

Após a sua caracterização, quantificação e tratamento pretende-se transformar o lixo recolhido e desenvolver, entre outros, uma eco-cabana. O objetivo é desenvolver um sistema construtivo que combine materiais locais pesados para a estrutura e materiais reciclados como matéria-prima para elementos da construção (como os revestimentos interiores da mesma) e os produtos que irão integrar a decoração (mobiliário, têxteis, entre outros). Esta cabana servirá como showrom ou cabana modelo (uma vez que poderá ser replicada noutras regiões) e será rentabilizada na vertente de Eco turismo em espaço Rural na Ilha Terceira – Açores.

O projeto conta, como parceiros do consórcio, com: Aircentre, Universidade dos Açores - OKEANOS, TERINOV (Parque de Ciências e Tecnologia da Ilha Terceira), Universidade do Minho, AEP Enterprise Network Portugal e Visual Thinking e Grupo Circular Blue - constituído pela Circular Blue Lda, Comporta Blue Lda, PerhapsSunny Lda e a marca registada internacional NIETA ATELIER.

O Azores EcoBlue não só será uma boa resposta para a crescente procura por parte dos consumidores da atualidade por soluções ecológicas eficientes, como beneficiará o sector do alojamento uma vez que, como supramencionado, o modelo/protótipo de Ecolodge a desenvolver, poderá ser replicado (Azores EcoBlue, s.d.).

1.3.1 Materiais recolhidos Azores EcoBlue

Para o desenvolvimento desta dissertação, teve-se acesso à primeira amostra do lixo recolhido pelo projeto que foi entregue na Universidade do Minho.

De entre toda a amostra foram identificadas, agrupadas e pesadas cinco principais tipologias de resíduos e três subtipologias, de acordo com os produtos das quais são originários ou o material constituinte. Estas encontram-se sumariadas na Tabela 2 e ilustradas nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Considerando a problemática global, exposta no subcapítulo 1.1, a problemática particular dos Açores, exposta no subcapítulo 1.2, e os objetivos do projeto Azores EcoBlue, expostos no ponto 1.3, considerou-se pertinente selecionar como materiais a explorar no desenvolvimento do trabalho desta dissertação, os materiais que constituem a categoria “Artes de pesca”.

Com o decorrer do trabalho, a seleção recaiu apenas por uma das subtipologias desta categoria, como será explicado mais à frente nesta dissertação.

Tabela 2 – Tipologias de resíduos aos quais se teve acesso e respetivos pesos

Tipologia	Peso (aproximado) em kg
Itens variados de plástico	125
Garrafas de plástico	16
Rolhas plásticas	7
Sapatos/Solas de sapatos	33
Artes de pesca	
Sinalizadores/flutuadores de Poliestireno Expandido (EPS) e Boias plásticas	40
Monofilamentos de pesca (“sedas”)	50
Cabos/Cordas de pesca	30



Figura 2 – a), b) e c) Amostra de lixo pré separação e categorização



Figura 3 – a) Itens variados de plástico; b) Garrafas de plástico; c) Rolhas plásticas

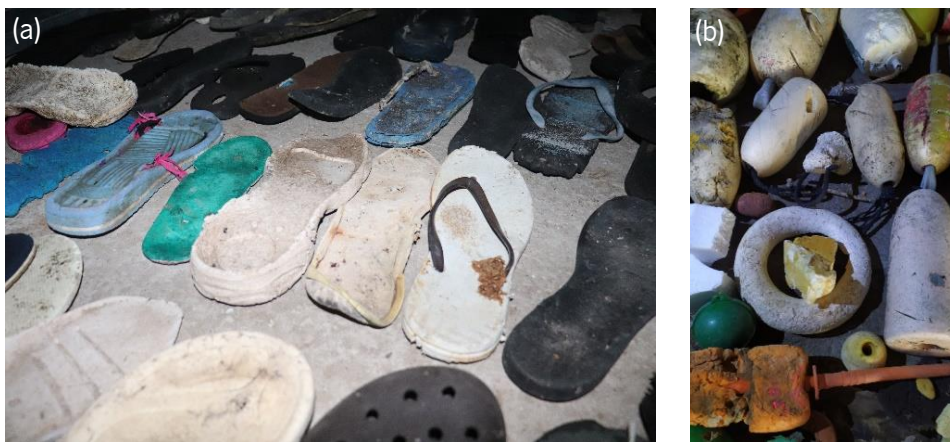


Figura 4 – a) Sapatos/solas de sapatos; b) Sinalizadores/flutuadores de Poliestireno Expandido (EPS) e Boias plásticas

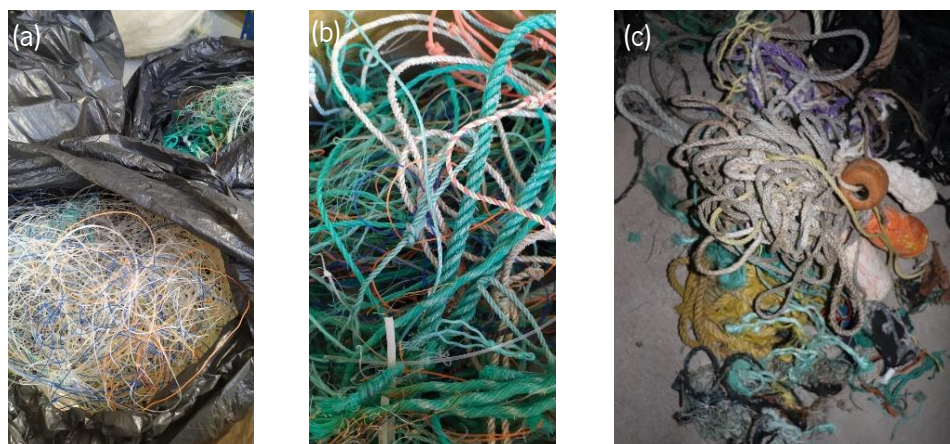


Figura 5 – a) Monofilamentos de pesca; b) Cabos/Cordas de pesca; c) Cabos/Cordas de pesca

1.4 Objetivos e motivações

Tendo por base a problemática exposta e surgindo no contexto do projeto Azores EcoBlue, esta dissertação tem como objetivo final a conceção de um produto - a incorporar, futuramente, uma eco-cabana – utilizando o material proveniente dos resíduos recolhidos pelo projeto. Com isto pretende-se avaliar a viabilidade de desenvolver produtos que promovam a reintrodução de materiais recuperados do ambiente marinho na economia (economia circular), mais concretamente a reintrodução de materiais provenientes de artes de pesca recuperadas.

Assim, tem-se como objetivos específicos consequentes:

- Caracterizar os materiais dos resíduos selecionados para estudo a fim de conhecer as suas propriedades e a sua compatibilidade com técnicas de processamento;
- Desenvolver um material reciclado (a ser utilizado como matéria-prima do produto a conceber);
- Caracterizar esse material;
- Explorar possíveis aplicações;
- Conceber um produto que agregue valor material, simbólico e económico ao projeto;
- Desenvolver um protótipo físico do produto;
- Executar todo o processo optando por estratégias que minimizem dificuldades previamente encontradas nas tentativas de valorização material dos resíduos selecionados para estudo;
- Retirar-se conclusões pertinentes de todo o processo que possam contribuir para o estado de arte atual da temática.

1.5 Estrutura da dissertação

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação encontra-se exposto ao longo de oito capítulos.

No Capítulo 1, Introdução, encontra-se a contextualização da problemática por detrás da pesquisa, quer a nível global, quer a nível mais particular concernente ao Arquipélago dos Açores. É ainda apresentado o projeto que deu o mote para este estudo. Após expostos todos estes pontos, que justificam a relevância do estudo desenvolvido, são, por fim, apresentados os objetivos e contribuições esperadas desta dissertação.

O Capítulo 2 refere-se ao Estado de arte, onde foi apresentado algum do conhecimento atual acerca do tipo de resíduos selecionados para estudo, respetivas opções de tratamento, e produtos que estão a integrar atualmente quando inseridos em novos ciclos de produção.

O Capítulo 3 e Capítulo 4 dizem respeito, respetivamente, aos Materiais e Métodos e Resultados da primeira parte do trabalho desenvolvido nesta dissertação: desenvolvimento de um material reciclado a partir da valorização material dos resíduos objeto de estudo.

No Capítulo 5 inicia-se a descrição da segunda parte do trabalho realizado: desenvolvimento de um produto que integra o material reciclado resultante da fase de trabalho anterior.

E por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões gerais desta dissertação e as perspetivas de trabalho futuro.

2 ESTADO DA ARTE

Como referido anteriormente, optou-se por se selecionar as artes de pesca como resíduo alvo de estudo na exploração do desenvolvimento de um produto através da sua valorização material.

Assim, previamente a executar qualquer procedimento prático neste sentido, foi essencial perceber o atual estado do conhecimento acerca deste tipo de resíduos e das opções de tratamento dos mesmos, assim como perceber quais os produtos que estão a integrar atualmente após inseridos em novos ciclos de produção.

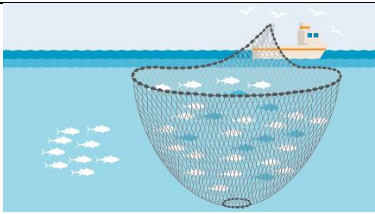
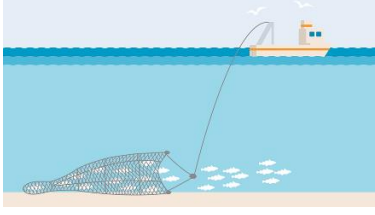
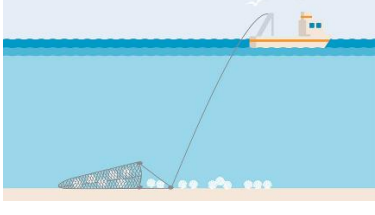
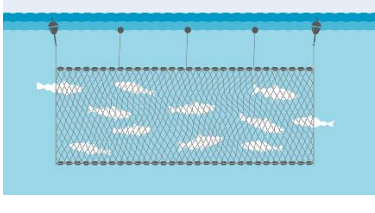
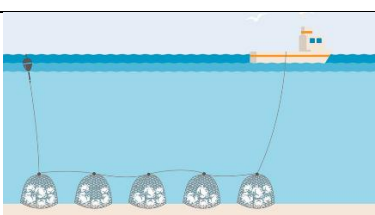
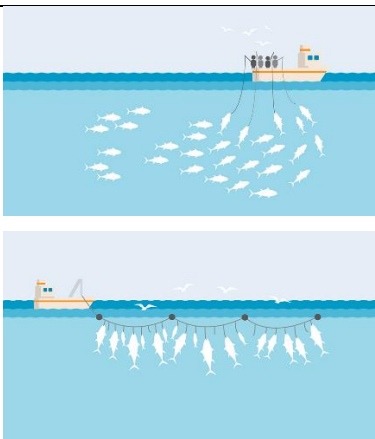
2.1 DFG – Materiais

Por artes de pesca marinhas entende-se qualquer dispositivo físico, ou parte dele, ou combinação de elementos que possam ser colocados no mar com o objetivo de capturar, ou controlar para posterior captura ou recolha, organismos marinhos (IMO, 1978, citado por He *et al.*, 2023).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) classifica as mesmas em 11 categorias: Surrounding nets; Seine nets; Trawls; Dredges; Lift nets; Falling gear; Gillnets and entangling nets; Traps; Hooks and lines; Miscellaneous gear; Gear not known (He *et al.*, 2021). Isto é: Redes de cerco; Redes envolventes-arrastantes; Redes de arrasto; Dragas; Redes de Sacada; Artes de arremesso; Redes de emalhar e de enredar; Armadilhas; Anzóis e linhas; Artes diversas; Artes não conhecidas.

Muitas das categorias acima mencionadas são constituídas por vários componentes e, por essa razão, constituídas também por vários materiais, como pode constatar-se na tabela abaixo (Tabela 3), cujas informações foram adaptadas de OSPAR Commission (2020).

Tabela 3 – Algumas das categorias de artes de pesca, respetiva ilustração, componentes e materiais constituintes
(informação adaptada de OSPAR Commission, 2020; figuras reproduzidas de MSC, s.d)

Categoria	Ilustração	Principais componentes e materiais
Redes de cerco		Redes: PA; PE Bóias: PVC; PET; EVA; PE/HDPE
Redes de arrasto		PE; PA; PES Podem ainda conter: borracha vulcânica, correntes metálicas, aço e chumbo
Dragas		Estrutura e correntes: Aço Rede: PE
Redes de emalhar		Rede: Mono/multifilamentos de PA6/nylon. Linhas de flutuação: PE; PP; EPS Linhas de afundamento: PET; Chumbo Bóias: PE; PP
Armadilhas		Madeira; Rede de arame ou plástico. Os marcadores de superfície são geralmente bóias de poliestireno com um mastro de madeira ou de plástico e uma bandeira para facilitar a sua localização.
Anzóis e Linhas		Anzóis: Aço (por vezes com revestimento de superfície resistente à corrosão) Linhas: PA; PVDF; PE; PET; UHMWPE

Para um melhor entendimento relativamente aos palangres de fundo e às linhas de mão, artes de pesca com as quais 87% da frota de pesca açoriana se encontra equipada (Diogo *et al.*, 2015), pode dizer-se que ambas pertencem à Categoria de Anzóis e Linhas (He *et al.*, 2021).

Os palangres são normalmente constituídos por uma linha de grande comprimento (madre), à qual são conectadas várias linhas de comprimento menor (estralhos). Na extremidade dos estralhos são presos os anzóis, onde são colocados os iscos (Anzol - DGRM, s.d.). Os estralhos são fixados à linha principal quer diretamente com um nó, quer utilizando um clipe ou um destorcedor, respeitando certos intervalos entre si (He *et al.*, 2021). Este tipo de arte utiliza maioritariamente materiais sintéticos como o poliéster ou a poliamida 6 (comercialmente designada por nylon) na sua composição: a linha principal e os estralhos são feitos de monofilamento de poliamida (nylon) ou multifilamento de poliéster (Cerbule *et al.*, 2023).

Nas embarcações costeiras, mais pequenas, que iscam e manuseiam as artes à mão, são normalmente utilizadas linhas com apenas algumas centenas de metros de comprimento e algumas centenas de anzóis. Nas embarcações oceânicas, com maior dimensão, e que possuem sistemas automáticos de isco e de alagem, as linhas - mãe podem atingir várias milhas de comprimento e ter acopladas a si milhares de anzóis. Os palangres são, normalmente, deixados a pescar durante uma mudança de maré ou um período completo de 24 horas (Long line: Gear: Seafish Fishing Gear Database. (s.d.). Estes podem ser de fundo ou de superfície (Figura 6).

Na pesca demersal com palangre, os palangres, ou partes dos mesmos, perdem-se frequentemente no mar devido ao facto de ficarem presos no fundo do mar ou de poderem partir com a força exercida pelos peixes quando tentam escapar do anzol (Cerbule *et al.*, 2022).

Relativamente à pesca com linha de mão, como o nome sugere, nesta técnica é utilizada uma linha que é manobrada manualmente (atua ligada à mão do pescador), na qual podem ser colocados até nove anzóis (Artes E Utensílios De Pesca - DGRM, s.d.).

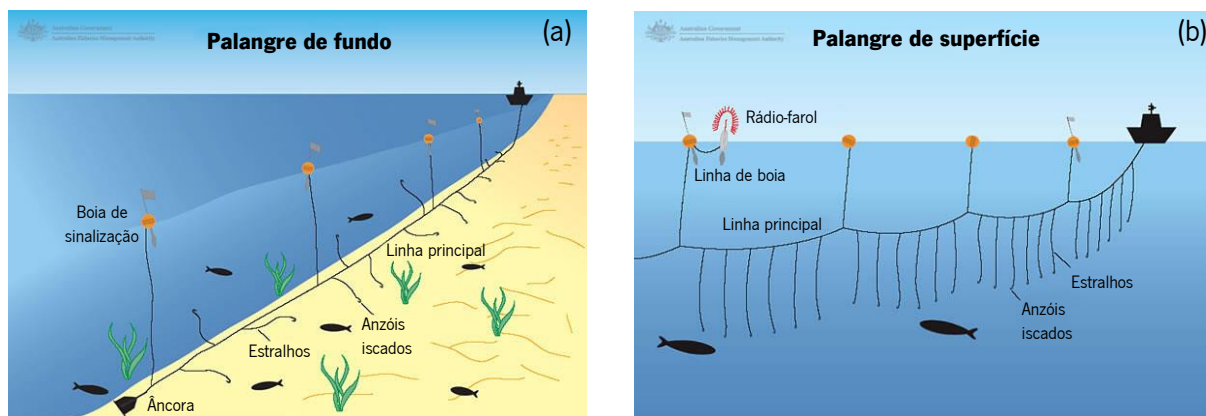


Figura 6 – a) Palangre de fundo; b) Palangre de superfície (adaptadas de Longline Fisheries - BirdLife South Africa, 2019)

2.2 Gestão de resíduos de artes de pesca abandonadas

Para além da deposição em aterros, as opções de gestão de resíduos DFG podem ser divididas em reutilização, reciclagem e recuperação de energia (Diretiva 2008/98/CE, citado por Schneider *et al.*, 2023).

Abordando um pouco cada uma delas, e começando pela deposição em aterros, em alguns países, esta opção é frequentemente a mais barata e mais simples do ponto de vista logístico. Contudo, torna-se cada vez menos atrativa devido aos problemas ambientais associados, como o facto das artes de pesca não se biodegradarem, ocupando espaço em aterros por tempo indefinido, enquanto infiltram plástico no ambiente (Brodbeck, 2016).

Passando à reutilização, esta implica a utilização dos materiais em aplicações que explorem as suas propriedades após uso. No caso das fibras poliméricas dominantes na composição das artes de pesca, estas possuem propriedades mecânicas específicas, tais como elasticidade, resistências à tração e à flexão melhoradas (Ignatyev *et al.*, 2014) e os seus processos de produção caracterizam-se por serem complexos e consumirem intensivamente recursos energéticos e financeiros, tornando-se económica e ecologicamente desejável a reutilização destes materiais, minimizando consequentemente custos de produção de polímeros virgens (Weißbach *et al.*, 2021).

No entanto, a reutilização destas fibras em certas aplicações, como em materiais exteriores que integram a construção de edifícios e obras rodoviárias, pode contribuir para o aumento do influxo de microplásticos no ambiente terrestre e nos fluxos de águas residuais através da abrasão (Bertling *et al.*, 2018, citado por Weißbach *et al.*, 2021).

Relativamente à reciclagem, esta abrange vários métodos, sendo a reciclagem mecânica e a reciclagem química os métodos mais comuns. A incineração como método de recuperação de energia é ainda considerada, por alguns, uma forma de reciclagem (Ignatyev *et al.*, 2014). Seguem-se algumas informações acerca de cada um dos métodos:

- 1) A reciclagem mecânica primária consiste na aplicação direta de polímeros descartados não contaminados num novo produto sem existir perda de propriedades, sendo um processo a que os fabricantes de plásticos recorrem para tratar os seus resíduos pós-industriais. Antes da reintegração num novo produto, uma vez que não se encontram contaminados, os materiais normalmente passam apenas por um processo de trituração, de forma a obter-se um material mais homogêneo e mais fácil de misturar com aditivos e outros polímeros para processamento posterior (Ignatyev *et al.*, 2014).

A reciclagem mecânica secundária, por sua vez, é um processo ao qual se recorre, frequentemente, para tratamento de resíduos pós-consumo, uma vez que envolve processos de separação/purificação, ao contrário da reciclagem primária (Ignatyev *et al.*, 2014).

Os processos mecânicos envolvidos nesta abordagem são, normalmente: trituração, lavagem, separação por densidade, secagem, regranulação e composição, com o objetivo de produzir reciclados que possam ser convertidos em produtos plásticos, substituindo os plásticos virgens. De referir que depois da secagem, os flocos de plástico podem ser transformados em grânulos (após produção de filamento e encaminhamento para um granulador) ou serem diretamente utilizados para produzir novos materiais plásticos (Manger, 2020).

No entanto, durante o processo de reciclagem podem ocorrer ruturas nas cadeias do material, que se dão na presença de água e de vestígios de ácidos, resultando na redução das propriedades mecânicas do mesmo (apesar de este fenómeno poder ser parcialmente contrariado por processos de secagem, utilização de aditivos estabilizadores, entre outros métodos). A perda de propriedades mecânicas pode ocorrer ainda devido à contaminação da matriz com outros polímeros. Desta forma, os materiais reciclados são frequentemente utilizados no fabrico de novos produtos de qualidade inferior.

Em ambas as abordagens de reciclagem mecânica, apenas os polímeros termoplásticos podem normalmente ser reciclados (Ignatyev *et al.*, 2014).

- 2) A reciclagem química ou reciclagem terciária, visa transformar os resíduos de polímeros em monómeros originais ou outros produtos químicos valiosos. Existem três abordagens principais: despolimerização, oxidação parcial e craqueamento (térmico, catalítico e hidrocraqueamento) (Aguado *et al.*, 1999, citado por Garforth *et al.*, 2004).

Esta abordagem resolve algumas limitações da reciclagem mecânica relativamente à mistura, contaminação e degradação de polímeros (Meneses *et al.*, 2022). Algumas redes de poliamida (PA) são já recicladas por meio deste processo (Weißbach *et al.*, 2021).

- 3) Por fim, a recuperação/valorização energética, também conhecida como reciclagem quaternária, diz respeito à recuperação do conteúdo energético dos resíduos através da incineração. Isto é, trata-se da queima de resíduos plásticos para produzir energia sob a forma de calor, vapor e eletricidade (Meneses *et al.*, 2022), que podem ser diretamente utilizadas em processos tecnológicos ou no aquecimento de edifícios (Ignatyev *et al.*, 2014).

Apesar de já se terem verificado casos de sucesso na reutilização de alguns elementos provenientes de artes de pesca recuperadas, apenas a reciclagem e a recuperação de energia aparentam fornecer soluções em grande escala para estes resíduos, que são de natureza mista e se encontram bastante emaranhados aquando da sua recolha (Schneider *et al.*, 2023).

Uma vez que o objetivo final desta dissertação é o desenvolvimento de um produto a partir da valorização material das artes de pesca recolhidas pelo projeto Azores EcoBlue, a escolha de metodologia de gestão destes resíduos recaiu sobre a reciclagem mecânica. Por essa razão, este estado da arte será, daqui em diante, dedicado à exposição de conhecimento adquirido por terceiros acerca da reciclagem mecânica de DFG.

2.2.1 Reciclagem Mecânica de DFG - Casos de estudo

Segundo Stolte & Schneider (2018), no âmbito do projeto MARELITT Baltic, que tem como principal objetivo mitigar o impacto das artes de pesca abandonadas (DFG) no ambiente marinho do Mar Báltico, o *World Wide Fund for Nature* (WWF) – Alemanha realizou ensaios de reciclagem com artes de pesca recolhidas do Mar Báltico alemão com o intuito de retirar conclusões, desenvolver estratégias e fornecer recomendações sobre a forma como estes resíduos podem ser tratados para serem implementados numa abordagem de economia circular. Atualmente, parece ainda não existir uma

metodologia definida para tal e as tentativas de reciclar os materiais recuperados têm-se revelado trabalhosas, demoradas e financeiramente exigentes.

Para encontrar soluções de tratamento destes resíduos desde o momento da recolha até à potencial reintrodução no ciclo de produção, O WWF – Alemanha contou com a cooperação de empresas de reciclagem e laboratórios de análise.

O projeto defende que encontrar soluções para o desafio de reciclar artes de pesca abandonadas é pertinente não só porque é uma forma de impedir que estas continuem a provocar danos no ecossistema marinho, como também uma maneira de permitir que matérias-primas valiosas, como é o caso da poliamida 6 (PA6), voltem a integrar ciclos de produção, contribuindo para o crescimento da economia circular.

No entanto, a reciclagem deste tipo de resíduos não é uma tarefa fácil, uma vez que: as artes de pesca tendem a acumular-se no fundo do mar e, como tal, quando recuperadas, normalmente contêm grandes quantidades de sedimentos, matéria orgânica (madeira, mexilhões, peixes, ...) e itens metálicos agregados que necessitam de ser removidos para minimizar risco de dano para os equipamentos (máquinas e lâminas de corte) e risco de contaminação tóxica para o material. Para além disso, os materiais recuperados são constituídos por polímeros de natureza mista que não podem ser totalmente dissociados, mesmo com um trabalho de triagem manual considerável.

Estas e outras limitações foram observadas nos ensaios realizados neste estudo e vão ser abordadas em seguida com mais pormenor, de modo a ficar-se a conhecer potenciais desafios que se poderão encontrar na parte prática desta dissertação, e de maneira a perceber o que evitar e o que executar.

O material recuperado pelo projeto no Mar Báltico era constituído principalmente por redes de arrasto, redes de emalhar e cordas. No entanto, quando recuperadas do mar, estas artes de pesca encontravam-se envolvidas numa grande mistura composta por redes, cordas, linhas de pesca, âncoras metálicas, correntes e matéria orgânica, como mexilhões e peixes mortos. Como tal, o material recolhido necessitou de passar por processos de pré-tratamento antes de poder ser estudada a introdução do mesmo em novos ciclos de produção. Destes, a pré-triagem foi uma etapa fundamental para permitir os processamentos automatizados posteriores.

A triagem foi efetuada com diferentes níveis de esforço manual. Em parte do material a triagem foi executada seguindo uma abordagem intensiva em termos de tempo e mão de obra, envolvendo a

separação manual dos diferentes componentes da mistura por tipologia de arte de pesca/resíduo (redes, cordas, outros resíduos). No restante material, a abordagem foi mais “grosseira”, menos intensiva em termos de tempo e mão de obra, sendo que se centrou apenas na remoção de grandes objetos metálicos e outros elementos potencialmente destrutivos das lâminas dos equipamentos de corte.

Foi possível concluir que as abordagens de triagem influenciaram o grau de contaminação do material e os seguintes processos de pré-tratamento. O material sujeito a triagem “grosseira” continha mais impurezas uma vez que mexilhões, madeira e outros elementos não foram removidos. Este requereu primeiramente uma trituração também ela grosseira e só depois pôde ser triturado de forma mais refinada, de modo a prevenir incidentes com peças metálicas potencialmente não detetadas. Por outro lado, o material de triagem “fina” pôde ser diretamente triturado nas dimensões pretendidas devido à sua maior qualidade de triagem. A qualidade da lavagem foi igualmente comprometida no caso do material “grosseiramente” triado, devido ao maior teor de sedimentos residuais e outros contaminantes. Por fim, uma vez que a triagem mais intensiva envolveu a separação dos diferentes tipos de componentes, o polímero resultante revelou-se, conseqüentemente mais puro, facilitando os ensaios de reciclagem.

Em segundo lugar, procedeu-se à trituração dos materiais. Foi possível perceber que como as fibras das redes de pesca são bastante resistentes à rutura e ao corte, uma vez que são fabricadas para resistirem às condições de trabalho a que estarão sujeitas: cargas elevadas recorrentes, condições climáticas extremas, água salgada do mar, entre outras, caso estas não sejam trituradas em equipamentos especialmente concebidos para a trituração das mesmas, as lâminas do equipamento de corte tornar-se-ão cegas rapidamente e terão de ser substituídas com frequência, representando mais custos para o processo de reciclagem.

Seguiu-se a separação por densidade. Considerou-se prudente separar as fibras de alta densidade das de baixa densidade antes de se proceder à reciclagem dos resíduos, uma vez que as diferentes propriedades dos materiais poderiam dificultar os processos de fusão e moldação.

A separação por densidade foi dividida em duas fases. Na primeira fase, foi utilizada água salgada como solução e pretendia-se separar os sedimentos residuais de alta densidade das fibras poliméricas, enquanto na segunda fase foi utilizada água da torneira e esperava-se que as fibras de polímeros como poliamida (PA) e polietileno tereftalato (PET) de alta densidade se afundassem enquanto as de polietileno (PE) e polipropileno (PP) de baixa densidade flutassem à superfície, permitindo assim a sua separação.

No entanto, nos ensaios verificaram-se várias dificuldades em obter sucesso nesta fase do pré-tratamento dos materiais. Entre elas, verificou-se que a textura das fibras após trituração provocou a retenção de pequenos sedimentos e fragmentos de chumbo, não sendo possível alcançar uma separação completa das fibras das substâncias contaminantes e que a separação por densidade necessitaria de ser mais automatizada e aperfeiçoada com um controlo das densidades da solução para garantir uma separação mais limpa dos polímeros envolvidos.

Por fim, terminou-se o processo de pré-tratamento dos resíduos com a lavagem dos mesmos. No projeto a ser retratado, utilizou-se uma máquina de lavar por fricção para o efeito. Neste tipo de lavagem as fibras são diluídas com um líquido de lavagem (composto, no caso, por vários produtos químicos) que é pressionado através de dois discos contra rotativos com ranhuras. A fricção entre os discos expulsa eficazmente os sedimentos e outras partículas orgânicas com o líquido de lavagem.

A lavagem foi possível para todos os materiais, em especial para o material de rede de emalhar de monofilamento, exceto para grandes quantidades de fibras de material de corda, uma vez que este tipo de material ficava preso entre a unidade de limpeza e a unidade de separação de águas.

Após a limpeza por fricção, verificou-se que parte do material ainda continha uma grande quantidade de contaminantes orgânicos e pedaços de borracha, um fator que impede que seja material utilizado em extrusoras para granulação e, por conseguinte, para a reutilização na moldagem por injeção ou outros processos de produção.

Para além disso, após o processo de lavagem, as fibras lavadas continham uma humidade demasiado elevada para processamento posterior, por exemplo, em extrusoras de produção de *pellets*, sendo necessário um processo de secagem para reduzir a humidade.

Cinco amostras dos materiais recuperado foram, posteriormente, submetidas a uma análise térmica e química: a composição polimérica básica de todas as amostras foi determinada através de análise térmica do ponto de fusão (DSC - calorimetria diferencial de varrimento) e confirmada através de espectroscopia FTIR (infravermelho por transformada de Fourier). Pôde concluir-se que todas as amostras se tratavam de uma mistura de materiais, mesmo quando compostas apenas por um tipo de arte de pesca (uma das amostras analisada era dominada por redes de emalhar).

No caso particular dessa amostra, foi possível extrair manualmente da matéria-prima, não previamente triturada ou lavada, seis frações dos diferentes materiais que a compunham: linhas de monofilamento, linhas trançadas, boias, cordas, revestimentos de linhas de imersão e fragmentos de

chumbo embutidos em linhas de imersão. Estas frações, quando submetidas a análise FTIR, confirmaram que o polímero dominante nos fragmentos de monofilamentos e linhas trançadas era PA6, nas boias e fibras de corda era PP e no revestimento da linha de imersão era PET.

Obtiveram-se resultados semelhantes na análise térmica DSC, desta vez utilizando como amostra uma porção do material de rede de emalhar misturado, triturado e pré-lavado. Nesta análise foram observados picos térmicos a 136, 173, 228 e 258°C, em estreita correspondência com os pontos de fusão do PP (160- 184°C, para PP parcialmente cristalizado), PA6 (220 °C) e PET (250-260°C), e ainda PE (130-145°C), material também presente na mistura.

Finalmente, com o objetivo de avaliar a utilização de DFG dominadas por redes de emalhar para a produção de bens de consumo, testando a homogeneização e o comportamento da matriz polimérica comprimida, as fibras pré-tratadas foram prensadas a quente em placas de um milímetro de espessura. A temperatura foi ajustada para 220, 230 e 240°C em três ensaios com uma pressão de 600kN exercida durante 10 minutos. As placas foram deixadas a arrefecer até uma temperatura de 30°C em 15 minutos antes de serem retiradas da prensa.

Apesar das fases de pré-tratamento executadas, as placas comprimidas apresentavam uma variedade de impurezas, desde fragmentos de chumbo a partículas de borracha preta. Isto deve-se principalmente ao facto de as fibras de polímero reterem estes contaminantes nos nós que permanecem até mesmo quando estas são trituradas em tamanhos muito pequenos.

Para além destes indicadores de que a produção de grânulos seria uma tarefa difícil, outra complicação acrescida é a mistura de polímeros. Mesmo em processos automatizados, a separação de polímeros não será completamente eficaz, e os polímeros com temperaturas de fusão mais baixos irão, entre outras consequências, escurecer sob temperaturas mais elevadas, necessárias para fundir os restantes. (Stolte & Schneider, 2018).

Todas estas conclusões surgiram no contexto de reciclagem mecânica de DFG, isto é, de artes de pesca abandonadas, posteriormente recolhidas do mar, e são partilhadas por vários outros estudos, tanto que estes resíduos foram identificados por vários *stakeholders*, em vários países, como não recicláveis (OSPAR Commission, 2020).

No entanto, as dificuldades parecem diminuir quando se trata da reciclagem das artes de pesca descartadas no seu fim-de-vida pelos pescadores em sistemas criados para a recolha das mesmas nos portos de desembarque, por exemplo. A contaminação por substâncias tóxicas é significativamente menor nas artes de pesca em fim-de-vida pois quando se desfazem das mesmas, os pescadores removem as linhas de flutuação e de afundamento, que contêm chumbo na sua composição, para reutilização (Stolte & Schneider, 2018).

Mesmo assim, ainda uma pequena parte das artes de pesca é reciclada no fim da sua vida útil. Apenas três empresas já reciclam artes de pesca em grande escala na Europa: a Plastix A/S, que transforma mecanicamente redes, cordas e caixas de peixe em fim-de-vida em granulados reciclados; a Aquafil, que recolhe redes de poliamida 6 (nylon) em fim-de-vida para reciclagem química com o intuito de gerar matéria para fição de fios, comercializados sob o nome de Econyl; e a Antex, que produz fios especializados para a indústria têxtil, a partir de redes de pesca de poliéster (PET). O processo de reciclagem passa pela desintegração química em monómeros e a reintegração para fição (OSPAR Commission, 2020).

Contudo, de um modo geral, nos restantes países existem vias de reciclagem para alguns dos materiais utilizados atualmente nas artes de pesca, apesar de as instalações disponíveis para a recolha e a reciclagem ainda serem limitadas e de existir um pré-conceito generalizado de que os materiais reciclados provenientes das artes de pesca têm um valor de mercado e uma qualidade inferiores aos polímeros virgens (OSPAR Commission, 2020).

Todavia, alguns estudos indicam que esta noção de que a qualidade dos materiais reciclados é comprometida nem sempre se verifica, principalmente se for possível fazer uma correta separação das diferentes tipologias de resíduos previamente. Exemplo disso é o estudo cujo objetivo era analisar o efeito do processamento termomecânico nas propriedades da PA6 obtida a partir de resíduos de redes de pesca recolhidas do oceano, por meio de caracterização físico-química, mecânica e reológica. Para poder retirar-se conclusões, as propriedades do material recolhido foram comparadas com as de uma PA6 comercial da indústria em forma de *pellets*. Os resíduos de PA6 foram recuperados do oceano por pescadores de vários portos do País Basco e tratados e classificados pela Ekorec, antes de serem convertidos em *pellets* e posteriormente extrudidos sob a forma de fio (Mondragon *et al.*, 2019).

Segundo Mondragon *et al.* (2019), a caracterização por FTIR e XRD confirmou que as redes de pesca recolhidas eram compostas por PA6 cuja composição não apresentava qualquer diferença notável em relação às redes comerciais. A caracterização por DSC confirmou que as propriedades térmicas não

sofreram alterações significativas após o uso comercial no oceano ou após o processamento termomecânico. Por fim, a partir dos ensaios de tração, pôde ainda concluir-se que as propriedades mecânicas das amostras de PA6 recuperadas eram muito semelhantes às das amostras comerciais, indicando que a sua utilização em ambiente marinho e o processamento não causaram qualquer efeito nas suas propriedades mecânicas.

Por fim, e apesar de todas as dificuldades encontradas, de um modo geral, na reciclagem mecânica de artes de pesca, está provado que este sistema de gestão de resíduos apresenta, paralelamente à recuperação de energia, os potenciais impactos ambientais mais baixos na Europa no que toca ao tratamento dos resíduos DFG (Schneider *et al.*, 2023).

2.2.2 Produtos/ Estudo de Mercado

A tabela que se segue (Tabela 4) é adaptada de um relatório datado de 30 de março de 2022 (Charter *et al.*, 2022) cujo objetivo era fornecer uma visão geral dos produtos comercialmente disponíveis que utilizam, pelo menos parcialmente, polímeros provenientes de artes de pesca em fim-de-vida na sua composição.

Os produtos reutilizam as artes de pesca de alguma forma ou utilizam *pellets*, fibras e filamentos reciclados derivados da reciclagem das mesmas, sendo que estas matérias-primas foram também consideradas como um produto por si só. Tratam-se, por isso, de produtos *Business to Consumer* (B2C) e produtos *Business to Business* (B2B).

Alguns produtos presentes no relatório não se encontram mencionados na tabela abaixo uma vez que se considerou que não acrescentariam conhecimento relevante a este estado da arte, visto utilizarem, por exemplo, a mesma matéria-prima já mencionada noutros produtos, como o ECONYL®, ou se tratarem de produtos da mesma tipologia dos já mencionados.

Tabela 4 – Produtos comercialmente disponíveis que utilizam polímeros provenientes de artes de pesca em fim-de-vida (informação adaptada de Charter *et al.*, 2022)

Empresa	Produto	Descrição	Website
Karün		Óculos de sol cujas armações são fabricadas com metais reciclados e nylon regenerado - chamado de Econyl®, produzido pela Aquafil -provenientes de artes de pesca recuperadas da costa da Patagónia.	https://karuneyewear.com/
Bracenet		Pulseiras, anéis, bolsas, correntes para máscaras, acessórios para máquinas fotográficas, (...), produzidos a partir de redes de HDPE limpas e tratadas pela Nofir e processadas à mão pela Bracenet em Hamburgo.	https://bracenet.net/en/
Kettle Enterprises		Acessórios para bicicletas e comedouros para pássaros produzidos a partir de materiais de armadilhas para lagostas.	https://kettlecoveenterprises.com/
Axiom		Sacos de ciclismo. Os sacos da série Seymour são produzidos utilizando um tecido chamado de Oceanweave, feito a partir de redes de pesca recicladas.	http://www.axiomgear.com/
Teko		Meias de desporto. Algumas coleções são produzidas com Econyl® ultrafino.	https://www.tekoforlife.co.uk/
Klattermuseen		Mochilas montanhismo. Algumas coleções são produzidas com Econyl®.	https://www.klattermuseen.com/
Adidas		Sapatilha criada a partir de resíduos de plástico dos oceanos e de redes de pesca descartadas (redes de emalhar, mais concretamente), em parceria com a Parley For The Oceans.	www.adidas.com/us/parley
Verdura		Calçado e sacos produzidos com redes de pesca de nylon de malha estreita cuja fonte varia entre pescadores locais e o mar. Após adquiridas, são cortadas e lavadas várias vezes para amaciar o tecido, tingidas com pigmentos naturais e combinadas com cortiça, sola de borracha reciclada e restos de couro deixados pela produção de outros sapatos.	https://www.verdurashoes.com

Tabela 4 – Produtos comercialmente disponíveis que utilizam polímeros provenientes de artes de pesca em fim-de-vida (informação adaptada de Charter *et al.*, 2022) (continuação)

Empresa	Produto	Descrição	Website
Interface		<p>Alcatifas fabricadas com fio de nylon proveniente do programa <i>Net-Works</i>.</p>	<p>http://www.interface.com/US/enUS/about/modular-carpet-tile/Net-Effect</p>
Bureo		<p>O programa Net Positiva da Bureo transforma os polímeros das artes de pesca em fim-de-vida em matérias-primas recicláveis e duradouras – os <i>pellets</i> NetPlus®. Esse material é adquirido por inúmeras empresas e utilizado como matéria-prima para produção dos seus produtos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Patagonia: Abas de chapéu e têxteis; -Costa Sunglasses: Armações de óculos de sol; -Jenga Ocean: Jogo de tabuleiro; -Carver Skateboards: Skateboards; - Future Fins: Barbatanas de surf; -Trek - Suporte para garrafa de água. 	<p>https://bureo.co/collections/bureo/products</p>
Fishy Filaments		<p>Filamentos para impressão 3D produzidos a partir de nylon 6 reciclado de redes de monofilamento provenientes de frotas de pesca comerciais.</p> <p>São produzidas duas tipologias:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Filamentos Porthcurno: utilizados principalmente em artigos para a casa, vestuário e moda; -Filamentos OrCA®: direcionados para aplicações de engenharia. Podem incluir grafeno ou as fibras de carbono. <p>Ambas são ainda disponibilizadas para os fabricantes sob a forma de <i>pellets</i> ou <i>micro-pellets</i>.</p>	<p>https://fishyfilaments.com/</p>
LifestyleGarden		<p>Cadeira produzida com DuraOcen®, <i>pellets</i> de material de cordas marítimas e de pesca recicladas.</p>	<p>https://lifestylegarden.co.uk/</p>
Plastix		<p><i>Pellets</i> produzidos através da reciclagem mecânica de redes e cordas de pesca de HDPE e PP globalmente obtidas através em portos, produtores de redes de pesca e coletores de plástico.</p>	<p>https://plastixglobal.com/</p>

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos (caracterização, preparação e produção) utilizados no trabalho realizado no sentido de cumprir o objetivo de desenvolver o material reciclado que integrará, posteriormente, um produto para o *showroom* do projeto Azores EcoBlue.

Primeiramente, são abordados os materiais utilizados, a sua origem (qual o resíduo do qual provêm), o motivo da sua escolha, e as técnicas de caracterização química e térmica adotadas a fim de identificar de que polímeros se tratavam.

De seguida, são descritas as técnicas de processamento utilizadas: reciclagem mecânica (preparação do material para produção) e moldação por compressão (produção do reciclado).

Por fim, apresentam-se os métodos de caracterização mecânica utilizados (ensaios de tração, flexão e impacto), os ensaios de reprocessamento do material e as técnicas de pós processamento testadas.

O procedimento experimental e os equipamentos utilizados em cada uma destas fases de trabalho são também parte integrante deste capítulo.

3.1 Materiais

3.1.1 Seleção

A primeira fase de trabalho passou pela separação dos resíduos recebidos na Universidade (expostos no subcapítulo 1.3.1), para que, de seguida, fosse possível selecionar uma tipologia como objeto de estudo. Visto não ser possível dedicar atenção e executar ensaios de reciclagem a todos os resíduos recolhidos, dada a janela temporal definida para a conclusão deste estudo, foi selecionado apenas um deles.

Na Tabela 2 encontram-se reunidas as diferentes tipologias de resíduos recolhidos pelo projeto Azores EcoBlue, transportados até à Universidade do Minho, separadas e pesadas de acordo com o material constituinte ou tipologia de objeto. De um modo geral, os resíduos, e principalmente aqueles que poderiam ficar emaranhados nos restantes - como é o caso dos monofilamentos de pesca -, já vinham separados e isolados em sacos diferenciados dos restantes, o que facilitou bastante esta primeira triagem.

Os monofilamentos de pesca (reconhecidos logo à partida como monofilamentos provenientes de palangres, dada a sua composição – linhas principais, nós e estralhos visivelmente identificáveis) foram os resíduos selecionados para estudo de valorização material nesta dissertação.

Ficou claro, no Capítulo referente ao enquadramento da problemática do lixo marinho, que as consequências negativas associadas à presença de artes de pesca perdidas no ambiente marinho exigem que, cada vez mais, se aja de forma preventiva e curativa em relação ao descarte das mesmas nos ambientes aquáticos. Pôde ainda perceber-se, no Capítulo que diz respeito ao caso particular dos Açores, que as artes de pesca constituem os principais detritos encontrados no mar da região, principalmente quando a área analisada se trata do fundo do mar, sendo que os pescadores locais dos Açores recorrem sobretudo às linhas de mão e palangres de fundo como arte (Diogo *et al.*, 2015) e que estes equipamentos se têm verificado dos principais detritos avistados nos transectos de observação do fundo marinho realizados (Pham *et al.*, 2013).

Desta forma, reconheceu-se a importância de ter esta categoria como foco neste estudo, onde é pretendido encontrar soluções que promovam a consciencialização e as boas práticas relativamente ao descarte e à recolha destes detritos ao demonstrar que estes podem ainda representar algum valor (ao integrar novos produtos, por exemplo), mesmo após o seu fim de vida útil ou a perda dos mesmos durante a atividade piscatória.

Para além disso, outro fator que contribuiu para que a escolha recaísse sobre os monofilamentos de pesca como objeto de estudo foi o conhecimento adquirido no capítulo do estado da arte relativamente à dificuldade de reciclar resíduos que são, por natureza, mais propícios a acumular sedimentos e substâncias tóxicas entre as suas fibras, como é o caso das cordas/cabos e a percepção de que esta dificuldade seria acrescida com os meios e a janela temporal disponível neste estudo.

3.1.2 Caracterização

Os materiais constituintes da tipologia de resíduo selecionado para estudo foram caracterizados química e termicamente (e conseqüentemente identificados) através das técnicas FTIR e DSC, respetivamente.

Com recurso ao espectrómetro FTIR-ATR Spetrum 100, da PerkinElmer, analisou-se uma amostra de cada tipologia de monofilamento presente num dos sacos da mistura recolhida: monofilamento incolor de 1,85 mm de diâmetro; monofilamento incolor de 0,85 mm de diâmetro; monofilamento azul; e monofilamento laranja, ambos com 1 mm de diâmetro. As tipologias foram

nomeadas de A a D, respetivamente, de forma a facilitar a sua identificação e encontram-se representadas na Figura 7.

Realizaram-se duas réplicas para cada amostra em modo refletância, numa gama de comprimento de onda entre 500 cm^{-1} e 4000 cm^{-1} , com 16 ciclos de varrimento, onde o branco das amostras consistiu na leitura do espectro de refletância do ar. Por fim, no software Spectrum observaram-se as bandas espectrais de cada amostra.

Os ensaios de DSC foram efetuados com amostras das mesmas tipologias de monofilamentos, com recurso ao Calorímetro NETZSCH DSC 200F3 e segundo um método baseado na norma ISO 11357.

Realizaram-se dois ciclos de aquecimento para cada amostra com o intuito de eliminar a história térmica das amostras no primeiro ciclo. A faixa de temperatura investigada foi entre 30 e 260°C: as amostras foram aquecidas a 10°C/min até 260°C, mantidas a essa temperatura durante 1 minuto (período isotérmico), e arrefecidas a 10°C/min até 30°C. Após um novo período isotérmico de 1 minuto, as amostras foram depois novamente aquecidas a 10°C/min até 260°C.

Os ensaios foram realizados em atmosfera inerte de azoto de 50 ml/min. Cada amostra (4-6 mg) foi pesada e selada numa cápsula de alumínio, sendo que se utilizou uma outra cápsula de alumínio vazia como referência. Ambas as cápsulas se encontravam com a tampa furada para permitir a saída de possível humidade absorvida.

Quando terminados os ensaios, foi possível identificar as temperaturas de transição vítrea e de fusão de cada amostra com recurso ao *software netzsch proteus analysis*.

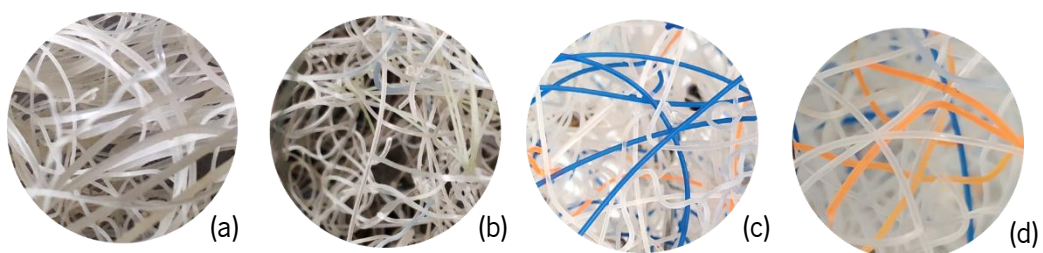


Figura 7 – a) Monofilamento incolor $\varnothing 1,85$ mm – Tipo A; b) Monofilamento incolor $\varnothing 0,85$ mm – Tipo B; c) Monofilamento azul $\varnothing 1$ mm – Tipo C; d) Monofilamento laranja $\varnothing 1$ mm – tipo D

Dado o contexto de utilização, previa-se que os monofilamentos recolhidos seriam compostos por poliamida (PA), uma vez que, tal como já referido, os palangres são compostos, normalmente, por

monofilamentos de poliamida 6 (PA6) (comercialmente designada, maioritariamente, por nylon²) quer na linha principal, quer nos estralhos (Cerbule *et al.*, 2023).

Na Figura 8 podem ver-se as bandas espectrais das amostras de monofilamento do Tipo A a D.

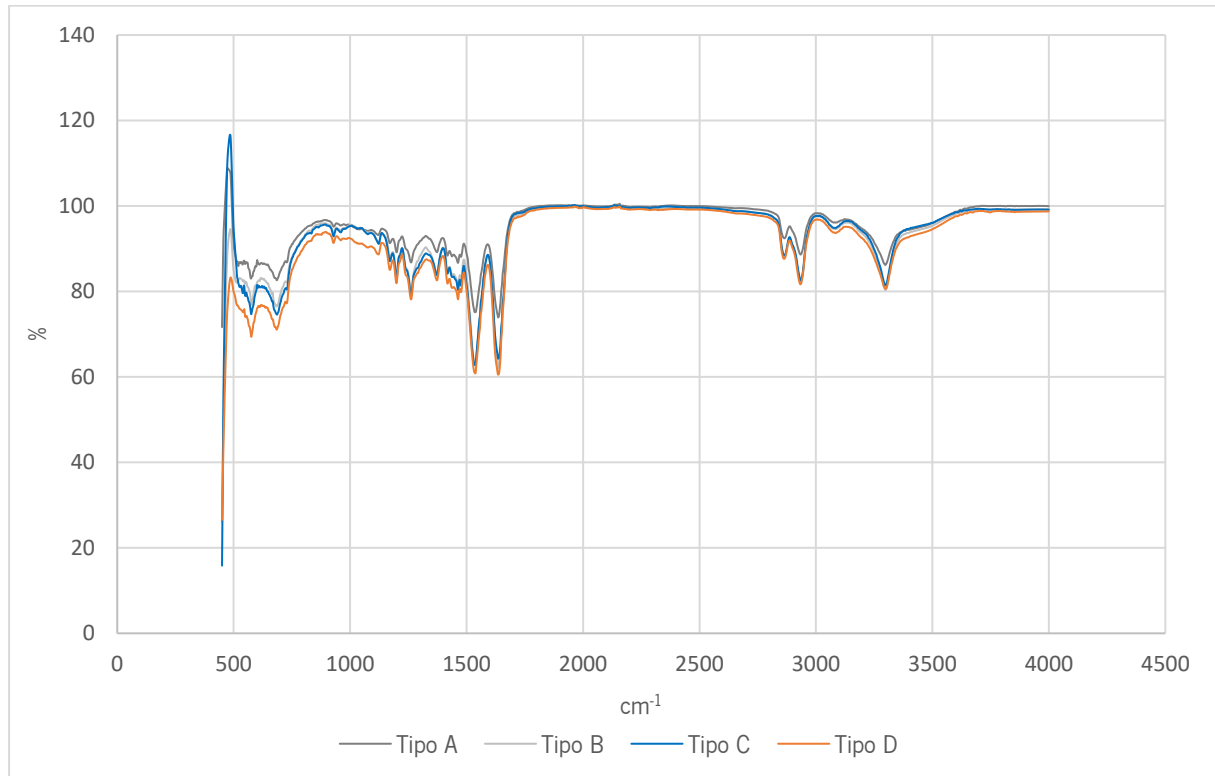


Figura 8 – Bandas espectrais amostras A a D

Não foi possível adicionar no mesmo gráfico a banda espectral referente à PA6 virgem de forma a fazer-se uma comparação direta. No entanto, a base de dados do software utilizado encontrou uma correspondência de 83% (em média) das bandas espectrais das amostras à banda espectral de uma PA6 comercial.

No entanto, é difícil distinguir as poliamidas umas das outras através da espectroscopia de infravermelhos (FTIR), uma vez que as diferenças nos espectros das partes não-amida das suas cadeias são muito subtis. Assim, o método DSC foi utilizado como uma técnica para complementar os dados espectroscópicos, visto que os pontos de fusão também podem ser utilizados para distinguir os tipos de PA's/nylons (Kohan, 1995).

² Nylon é um termo utilizado comercialmente para designar certos tipos de polímeros pertencentes à família das poliamidas e foi sugerido por Wallace Carothers, um dos primeiros investigadores destes polímeros na Du Pont Chemical Co. of America em 1928 (Bahrami *et al.*, 2021).

No gráfico da figura 9 é visível que os picos de fusão de três das amostras, tipo A, C e D, se encontram entre 210 e 220°C. (212,7°C; 216,9°C; e 215,8°C respetivamente). No entanto, é possível perceber que uma das amostras, tipo B, atingiu o seu pico de fusão a uma temperatura inferior, 190°C.

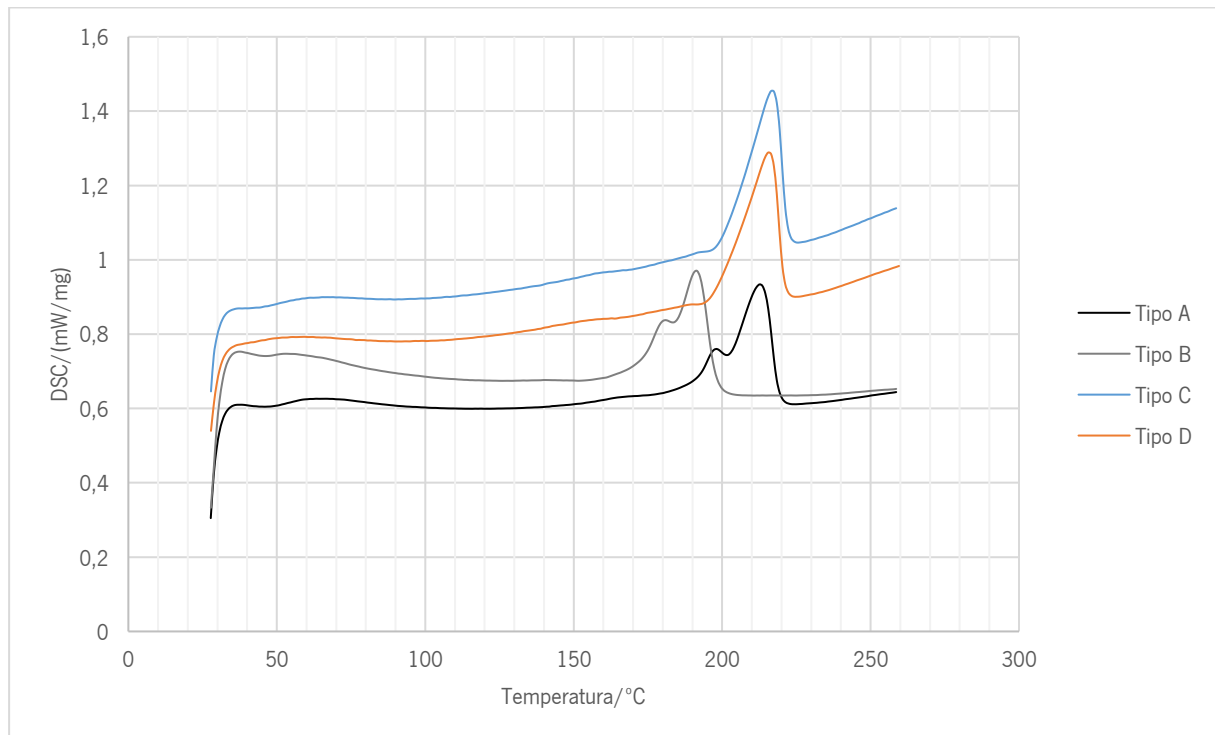


Figura 9 – Resultados DSC amostras A a D

Sendo que a temperatura de fusão da poliamida 6 virgem é de 220°C (Kohan, 1995), pôde concluir-se que é provável que os materiais constituintes das diferentes tipologias de monofilamento estejam aditivados ou se tratem de co-polímeros. Algo que corrobora esta análise é o facto de os monofilamentos de pesca serem, muitas vezes, aditivados com estabilizadores, plasticizadores e lubrificantes ou produzidos com diferentes variedades de nylon que são misturadas em co-polímeros e multi-polímeros para produzir diferentes graus de elasticidade, força, resistência à abrasão e outros atributos importantes para situações de pesca específicas (*Monofilament Fishing Line - Why use monofilament - Berkley® Fishing US.* (s.d.).

Exemplos destes materiais são algumas poliamidas comercializadas sob o nome comercial Ultramid® ,fornecidas pela BASF, especialmente otimizadas para uso no setor da pesca, como é o caso da Ultramid® B33 SL - uma PA6 de viscosidade média com cristalinidade reduzida para melhor flexibilidade e capacidade de estiramento ligeiramente mais elevada em comparação com uma PA6 padrão - cujo ponto de fusão é de 215°C, e o caso da Ultramid® C40 L - um grau de copoliamida 6/66

lubrificado e de alta viscosidade, que proporciona um melhor desempenho mecânico (tenacidade, resistência ao nó) e ótico (transparência) - cujo o ponto de fusão é de 188 – 190°C (Monofilaments, s.d.). As fichas técnicas destes materiais podem ser vistas no Anexo 1.

Estas propriedades podem ser essenciais no material utilizado nos estralhos dos palangres, uma vez que estes normalmente são conectados à linha mãe através de nós e que são responsáveis por suportar o anzol, e, por isso, devem ser o menos visíveis possível para as espécies-alvo.

Os resultados dos ensaios FTIR e DSC foram fundamentais para a identificação dos materiais em estudo e conseqüentemente, para a determinação das fases de trabalho que se sucederam e as condições de processamento utilizadas nas mesmas.

A título de exemplo, apesar de existir um intervalo de temperaturas de fusão de quase 30°C entre tipologias de monofilamentos, considerou-se que a separação da tipologia com temperatura de fusão inferior às restantes anteriormente ao processamento não se justificaria e não seria viável, quer manualmente, quer por densidade, visto se tratar de uma poliamida na mesma.

No entanto, é necessário ressaltar que foram testadas apenas algumas amostras dos monofilamentos recolhidos, que podem não ser representativas, em termos de constituição, de toda a diversidade de materiais possíveis de encontrar neste tipo de resíduo, e que, por essa razão, os resultados obtidos com as tecnologias referidas servem apenas como base de referência para as condições operatórias a utilizar no processamento dos mesmos, podendo ter de ser ajustadas conforme necessidade.

3.1.3 Poliamidas

As poliamidas (PA) são termoplásticos semi-cristalinos normalmente fabricados a partir de matérias-primas derivadas do petróleo. Podem ser produzidos diferentes tipos de PA com base nos produtos químicos utilizados na sua composição (PA 6, PA 66, PA 12 e PA 46, entre outros). Estes são distinguidos através da sua nomenclatura, que está diretamente relacionada com a sua estrutura molecular: o primeiro número representa o número de carbonos na diamina; o segundo número indica o número de carbonos no ácido ou no cloreto de diacila. (Hirschberg & Rodrigue, 2023).

As poliamidas são consideradas plásticos de alto desempenho. De um modo geral, apresentam elevada resistência eléctrica e a altas temperaturas. Graças à sua estrutura cristalina, apresentam também uma excelente resistência química. Têm muito boas propriedades mecânicas e de barreira.

Estes materiais podem ainda ser facilmente retardados pela chama (Polyamide/Nylon (PA): Uses & Properties, 2023).

As poliamidas são ainda altamente higroscópicas. A taxa de absorção de humidade varia de acordo com o tipo de poliamida, da sua percentagem de cristalinidade e morfologia, da temperatura e da humidade relativa. Embora o tempo até ao equilíbrio para pellets padrão em condições ambientais possa ser de várias semanas, a água suficiente para impedir um processamento bem-sucedido pode ser absorvida em menos de uma hora num ambiente quente e húmido (a água absorvida torna o PA propenso à degradação por hidrólise, especialmente a temperaturas mais elevadas durante o processamento) (Kohan, 1995). A humidade absorvida tem ainda uma enorme influência nas variações dimensionais, algo que deve ser tido em conta na conceção das peças. Por fim, por atuar com um plasticizante, a humidade pode ainda aumentar a resistência ao impacto e a flexibilidade do material.

As duas PAs mais utilizadas são a PA66 e a PA6, muito utilizadas no fabrico de fibras (indústria têxtil), películas (embalagem), e moldadas por injeção.

Entre as suas principais propriedades destacam-se: elevada resistência e rigidez a altas temperaturas; boa resistência ao impacto; muito boa fluidez para um processamento fácil; boa resistência à abrasão e ao desgaste; excelente resistência ao combustível e ao óleo; boa resistência à fadiga; e baixa estabilidade dimensional (Polyamide/Nylon (PA): Uses & Properties, 2023).

3.2 Preparação dos Materiais – Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica foi a opção de gestão de resíduos selecionada para explorar neste estudo, cujo objetivo é o desenvolvimento de um produto com matéria-prima produzida a partir da valorização material dos resíduos recolhidos.

A Figura 10 mostra as etapas deste processo executadas no estudo em questão. De seguida serão detalhadas cada uma das etapas.

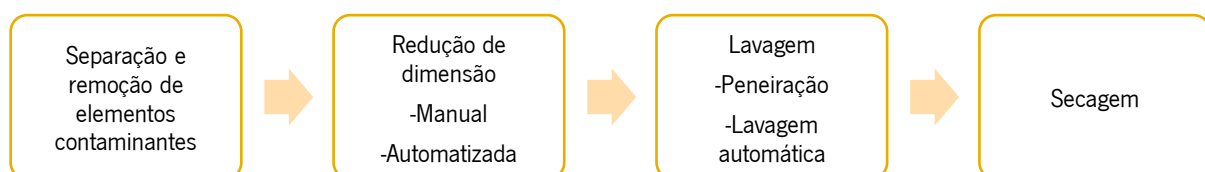


Figura 10 – Etapas de preparação do material por reciclagem mecânica

3.2.1 Separação e remoção de elementos contaminantes

Como já exposto, num processo de reciclagem mecânica, a separação dos resíduos em função do tipo de material que os constitui é aconselhada, para que seja possível um controlo mais facilitado das condições operatórias e uma maior qualidade de propriedades resultantes dos processos de produção das novas matérias e produtos. Assim, a primeira etapa de preparação do material foi relativa à remoção de elementos potencialmente contaminantes do reciclado a desenvolver e prejudiciais para os equipamentos automatizados que se previam utilizar no processo.

Apesar dos monofilamentos não se encontrarem envolvidos com outras artes de pesca, apresentavam-se bastante emaranhados e não se revelavam isentos de mistura com outros materiais, visto que possuíam bastantes elementos orgânicos e inorgânicos associados. Nesta fase, que se revelou um pouco intensiva em termos de tempo e mão de obra, removeram-se, com recurso a luvas e a uma tesoura de poda, todos os elementos identificados (Figura 11).

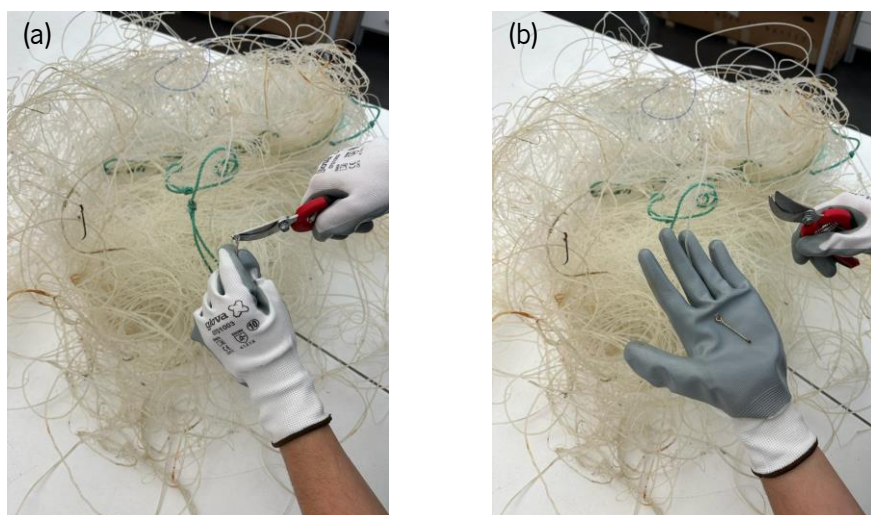


Figura 11 – a) Método de remoção dos elementos contaminantes; b) Elemento contaminante removido

3.2.2 Redução de dimensão

Esta fase de trabalho foi dividida em duas partes:

-Manual: A redução de dimensão manual ocorreu com recurso a uma guilhotina manual (Figura 12) e antecedeu a redução automatizada, de forma a facilitar e otimizar esse mesmo processo, uma vez que a colocação dos emaranhados de monofilamentos, tal como se encontravam, no triturador disponível

no Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho (DEP) causaria paragens recorrentes no equipamento devido ao emaranhamento dos mesmos nas lâminas de corte.



Figura 12 – Redução de dimensão com recurso a guilhotina manual

-Automatizada: Para este passo foi utilizado o equipamento GRINDO granulator 20-18/JM (Figura 13), com potência de 1.5 kW e crivo com orifícios de cerca de 4,5 mm do DEP. Este consiste num moinho que processa o material através da exerceção de força de cisalhamento. Após entrar no moinho através da boca de alimentação (A), o material passa pela tremonha (B), que o encaminha até à câmara de trituração (C), onde o material é triturado, por corte, através da ação de três lâminas rotativas, até obter um tamanho que o permita passar pelo crivo (D).

Este equipamento foi alimentado manualmente, a uma velocidade lenta e controlada, de forma a evitar que o volume de material presente no interior do moinho fosse demasiado elevado, algo que poderia impedir a rotação das lâminas de corte e provocar a paragem do equipamento.

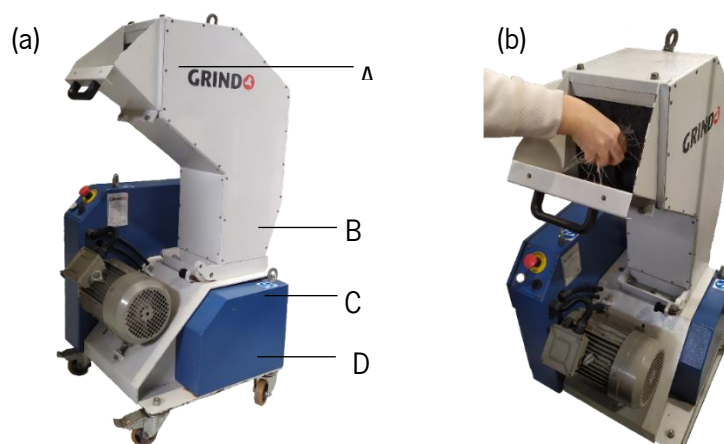


Figura 13 – a) GRINDO granulator 20-18/JM; b) Método alimentação

3.2.3 Lavagem

Por serem recolhidos do ambiente marinho, os monofilamentos de pesca encontravam-se contaminados por sedimentos como, por exemplo, sal e areia. Assim, este foi um passo essencial para garantir a qualidade do material reciclado. Nesta fase, à lavagem automática antecedeu-se um processo de peneiração.

-Peneiração: Após trituração, existiam no recipiente coletor do material triturado do moinho não só frações dos monofilamentos como também algum pó gerado no processo que, para além de alguns sedimentos, poderia conter partículas poliméricas que contaminariam a água utilizada no processo de lavagem automática. O material foi, então, peneirado com recurso a um coador de cozinha, com uma malha bastante fina (Figura 14).



Figura 14 – Coador de cozinha com malha fina

-Lavagem automática: Após trituração, recorreu-se a uma máquina de lavar roupa caseira para executar a lavagem dos resíduos, dado que se considerou que os movimentos circulares do sistema de lavagem de uma máquina de lavar roupa proporcionariam um nível suficiente de fricção entre os fragmentos para causar a libertação dos sedimentos da superfície dos mesmos.

O material triturado foi colocado num saco tipicamente utilizado para proteção de roupas delicadas aquando da sua lavagem (figura 15), de forma a impedir que os fragmentos fossem expelidos juntamente com a água pelos furos do tambor interno, evitando, assim, perda de material e contaminação da água com elementos poliméricos. A malha do saco foi escolhida de acordo com esta premissa e de forma a permitir, simultaneamente, que a água chegasse perfeitamente ao interior.

Foi utilizado um programa de lavagem com duração de uma hora e cuja temperatura da água se encontrava a 30°C. Não foram adicionados quaisquer detergentes à lavagem.

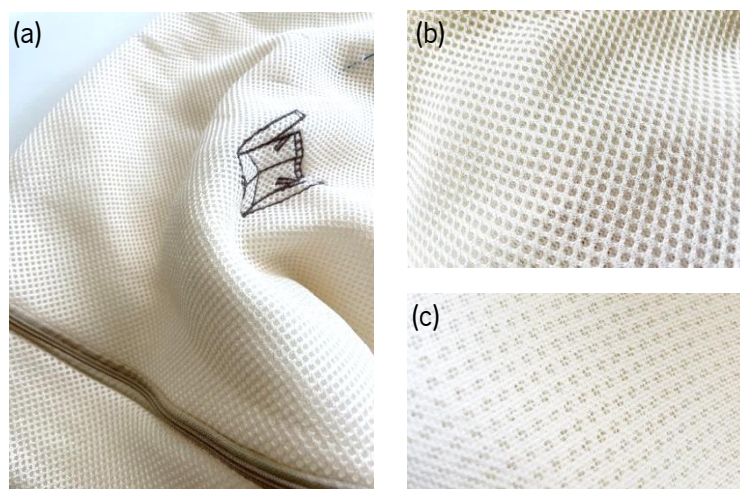


Figura 15 – a) Saco utilizado para lavagem automática; b) Malha exterior; c) Malha interior

3.2.4 Secagem

Como mencionado anteriormente, as poliamidas são altamente higroscópicas. Assim, é necessário que estas passem por um processo de secagem a fim de garantir um processamento bem-sucedido.

Para proceder à secagem do nylon, é necessário provocar a difusão e a evaporação da água presente nas suas partículas. A difusão para a superfície é conseguida através do aumento da temperatura do nylon; já a evaporação dá-se com o aquecimento da atmosfera que circunda as partículas, a redução da sua humidade relativa e o fornecimento de um fluxo de ar que permita o afastamento da humidade da superfície do nylon.

No entanto, quando demasiado elevada, a temperatura de secagem na presença de ar pode provocar amarelecimento oxidativo no material. Assim, é necessário estabelecer a temperatura de secagem de acordo com o material a secar. A maioria dos fabricantes de nylon recomenda uma temperatura máxima do ar de 80°C para a sua secagem (Kohan, 1995).

A secagem do material em questão ocorreu imediatamente antes da realização dos ensaios, numa estufa de convecção Binder FD 115, a 80°C durante 8 horas. As bandejas com material foram dispostas com alguma distância umas sobre as outras de forma a garantir que o ar quente circulava e secava o material que se encontrava dentro das mesmas.

O material triturado foi distribuído uniformemente nas bandejas, numa única camada, a fim de não comprometer a secagem do material que ficaria no fundo.

O material foi depois mantido a uma temperatura de 65°C, apenas para evitar que a humidade do ar que entrava sempre que se retirava material para um novo ensaio pudesse pôr em causa a secagem realizada anteriormente.



Figura 16 - Estufa de convecção Binder FD 115

3.3 Produção

3.3.1 Seleção da técnica de produção do reciclado

A escolha da técnica de produção do reciclado recaiu sobre a moldação por compressão, técnica amplamente utilizada no processamento de materiais poliméricos. É um processo no qual os materiais são sujeitos a condições de temperatura, pressão e tempo, selecionadas de acordo com as especificações dos mesmos, para que resultem na fusão e compactação destes. Geralmente, esta tecnologia de processamento implica dois ciclos, um de aquecimento, no qual o material é fundido e outro de arrefecimento, no qual se dá a cura da peça moldada (Moldação Por Compressão - Fibrenamics Green, 2017).

Foi a técnica selecionada para a criação do reciclado em questão por inúmeras razões:

-Não exigir que a alimentação do molde seja feita com recurso a grânulos do material (pode alimentar-se o mesmo com flocos do material), permitindo, assim, evitar acrescer mais uma etapa de trabalho consumidora de energia ao processo (e consequentemente tempo e custos);

-Ser indicado para baixas produções, visto que o investimento inicial é mais reduzido do que em outras tecnologias (ex: moldação por injeção) e, por esse motivo, é amortizado após a produção de menos peças - algo que se justifica no contexto em questão, tendo em conta que se pretende produzir um produto apenas - a ser implementado no *showroom* a construir pelo projeto Azores EcoBlue.

-Ser uma tecnologia especialmente utilizada para a criação de materiais compósitos (Dumont *et al.*, 2023) e se pretender criar, neste estudo, um reciclado que contém monofilamentos com intervalos de temperaturas de fusão entre eles de até 30°C e explorar a introdução de um tipo de alga infestante do mar dos Açores que o projeto tinha em sua posse no mesmo.

-Por fim, pelo facto de as peças resultantes, apesar de serem produzidas num mesmo molde, poderem depois ser submetidas a tecnologias de pós-processamento que permitem obter geometrias diferentes.

3.3.2 Moldação por Compressão

Para a moldação por compressão dos monofilamentos de poliamida triturados, lavados e secos, utilizaram-se as prensas hidráulicas disponíveis no DEP. Uma para os ciclos de aquecimento, outra para os ciclos de arrefecimento, de modo a evitar a exposição prolongada do material do tipo B a temperaturas acima do seu ponto de fusão, e a tornar o processo mais eficiente - visto que caso contrário, uma mesma prensa teria de ser aquecida, arrefecida, e novamente aquecida para se iniciar um novo ciclo de produção.

Para além disso, nos ensaios realizados foi ainda utilizado um molde de placas com espaçador com cavidade de 188 mm de comprimento, 118 mm de largura e 3 mm de profundidade; duas placas de base; Folhas de Teflon (PTFE) - para impedir a adesão dos materiais às placas de base e otimizar o processo de desmoldagem; uma balança digital e um recipiente plástico - para pesagem da massa a colocar no molde; uma espátula - para ajudar a espalhar o material no molde e auxiliar a desmoldagem; e, por fim, luvas de proteção térmica - para se realizar o processo em segurança.

Foram realizados vários ensaios diferentes, no sentido de otimizar as condições de processamento e o procedimento experimental e de explorar diferentes composições do material.

3.3.2.1 Condições de processamento

A moldação por compressão possui diversas variáveis de processamento. Para o estudo em questão, consideraram-se: a massa a moldar, a temperatura de moldação, o tempo de pré-aquecimento, o tempo de moldação sob pressão, a força exercida, e a temperatura e tempo de arrefecimento. As variáveis “massa a moldar”, “força exercida” e “tempo de arrefecimento” foram mantidas constantes ao longo de todos os ensaios. As restantes variáveis foram sendo ajustadas por método tentativa-erro.

A fim de determinar massa a moldar, isto é, a quantidade de material necessária para preenchimento da cavidade do molde, foi utilizada a Equação 1, onde se utilizou $1,13 \text{ g/cm}^3$ como valor representativo da densidade do material (que, como se sabe, se trata de uma mistura de poliamidas que podem ter densidades diferentes: Ultramid® B33 SL= $1.12 - 1.15 \text{ g/cm}^3$; Ultramid® C40 L= $1,12 \text{ g/cm}^3$) (Anexo 1).

$$m = C \cdot L \cdot h \cdot \rho_{PA} \quad (1)$$

Onde, C diz respeito ao comprimento da cavidade do molde, L à largura da cavidade do molde, h – à altura da cavidade do molde e ρ_{PA} corresponde à densidade média das poliamidas presentes na mistura.

Considerou-se, então, que seriam necessárias cerca de 75 /76g de material para preencher a cavidade do molde.

A “força exercida”, isto é, a pressão utilizada no fecho dos pratos da prensa, foi de 20 toneladas.

O tempo de arrefecimento foi de 5 minutos em todos os ensaios, pois não se considerou necessário alterar este parâmetro.

3.3.2.2 Procedimento Experimental

Todas as etapas do procedimento experimental, excetuando a etapa III, foram constantes em todos os ensaios executados. A etapa III apenas se executou a partir do Ensaio n°3, como será explicado adiante.

- I. Aquecimento dos pratos da prensa à temperatura pretendida;
- II. Colocação do espaçador sobre uma placa de base revestida com folha de Teflon;
- III. Pré-aquecimento das placas de base e do espaçador;

- IV. Preenchimento do espaçador com a massa definida de material triturado após pesagem (Figura 17);
- V. Colocação da segunda placa de base revestida com folha de Teflon sobre o material triturado;
- VI. Colocação do molde entre os pratos da prensa e fecho da mesma, sem exercer força de modo a realizar o pré-aquecimento do material;
- VII. Após o tempo de pré-aquecimento, execução de uma força de fecho de 20 toneladas durante o tempo de moldação sob pressão definido;
- VIII. Abertura dos pratos da prensa utilizada para aquecimento e remoção do molde do interior da mesma;
- IX. Colocação do molde na prensa utilizada para arrefecimento, aquecida à temperatura definida para o efeito;
- X. Ativação do sistema de arrefecimento a água;
- XI. Remoção do molde após tempo definido.
- XII. Desmoldagem.

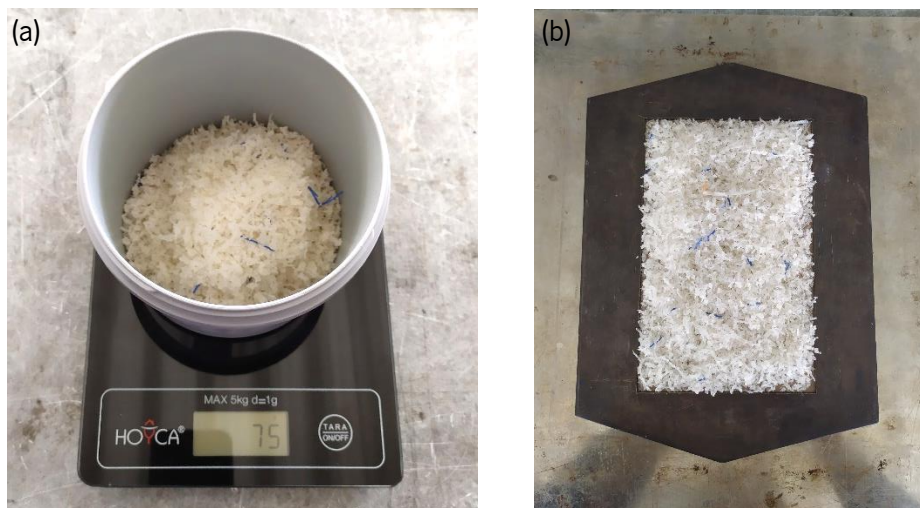


Figura 17 – Etapa IV (a) pesagem massa a moldar; (b) Preenchimento cavidade do espaçador com material triturado

3.3.2.3 Composições

Ao longo dos ensaios realizados foram explorados quatro tipos de composição do material. Na Tabela 5 pode perceber-se quais as composições exploradas e a respetiva designação atribuída a cada uma delas.

Para além da influência na estética do material, pretendia-se aferir, posteriormente, qual a influência das diferentes composições nas propriedades mecânicas do material.

Tabela 5 – Composições exploradas

Designação	Composição (% em massa)
Tipo 1	98% monofilamentos tipo A e B; 2% monofilamentos tipo C e D
Tipo 2	90% monofilamentos tipo A e B; 10% monofilamentos C e D
Tipo 3	94% monofilamentos tipo A e B; 1% monofilamentos C e D; 5% <i>Rugulopteryx Okamurae</i> liofilizadas (alga invasora do mar dos Açores desidratada)
Tipo 4	95% monofilamentos tipo A; 5% monofilamentos tipo B

Na Figura 18 pode ver-se como se procedeu a etapa IV no caso dos ensaios realizados com o tipo de composição 3: primeiramente colocou-se uma camada com metade da massa de monofilamentos; seguiu-se a colocação das algas liofilizadas e, por fim colocou-se o restante material polimérico.

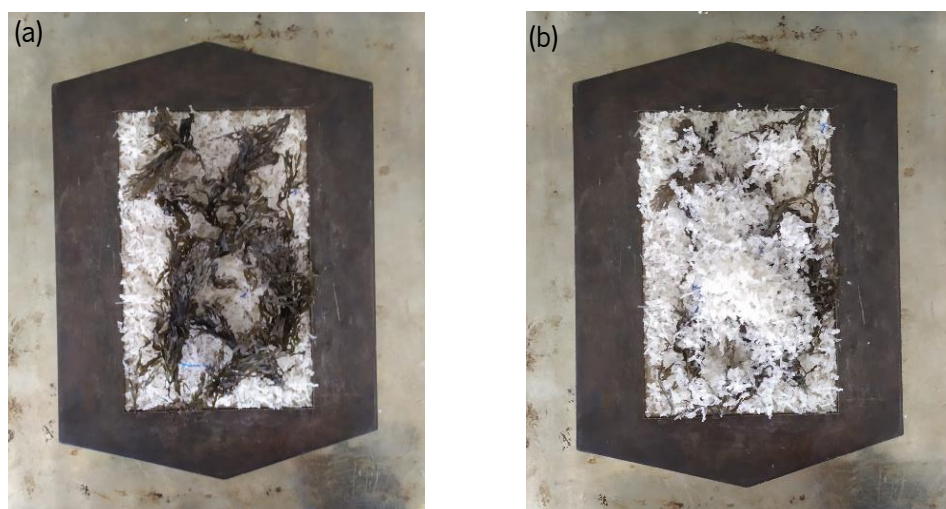


Figura 18 – Etapa IV ensaios com composição tipo 3: a) camada com metade da massa polimérica e algas liofilizadas; b) camada final – restante massa polimérica

3.3.2.4 Ensaios realizados

Foram realizados cinco ensaios de moldação por compressão dos monofilamentos triturados.

A cada ensaio foi-se testando a mudança de certos parâmetros do processo a fim de perceber a sua influência nas propriedades óticas do material reciclado resultante e otimizar as mesmas. O objetivo era, então, através do método tentativa-erro, perceber qual o conjunto de parâmetros que resultaria em melhores propriedades óticas no material.

A Tabela 6 resume o conjunto de parâmetros adotado em cada ensaio. Não se considerou relevante apresentar nesta os dados referentes às variáveis de processamento “massa a moldar”, “força exercida” e “tempo de arrefecimento”, pois, tal como suprarreferido, estes mantiveram-se contantes ao longo de todos os ensaios.

Tabela 6 – Parâmetros adotados em cada ensaio realizado

Ensaio nº	nº placas executadas	Composição placas	Proc. experimental	T(°C) Pratos prensa	t(min) pré-aquecimento	t(min) moldação sob pressão	T(°C) arrefecimento
1	3	Tipo 1; 2; 3	Sem etapa III	240	2	2	70
2	1	Tipo 1	Sem etapa III	220	4	2	70
3	6 (2 de cada tipologia)	Tipo 1; 2; 3	Com etapa III	225	1,5	1,5	70
4	1	Tipo 1	Com etapa III	225	1,5	1,5	110
5	1	Tipo 4	Com etapa III	225	1,5	1,5	110

Como pode ler-se na Tabela acima, inicialmente, resolveu-se executar os ensaios sem proceder ao pré-aquecimento do molde anteriormente à colocação do material no seu interior, uma vez que, pelo processo de alimentação do molde ser realizado manualmente, este poderia ser executado com mais segurança nestas condições. Para além disso, existiria perda de alguma temperatura no intervalo de tempo entre a remoção do molde (não preenchido) do interior dos pratos da prensa e a nova colocação do mesmo (desta vez já com material).

No entanto, sabia-se que quando o molde, à temperatura ambiente, fosse colocado no interior da prensa, existiria uma maior diminuição da temperatura dos pratos da prensa do que caso este estivesse pré-aquecido a uma temperatura superior (lei zero da termodinâmica), o que exigiria um tempo de pré-aquecimento do molde com material mais elevado.

Assim, e visto que na atividade industrial, um dos principais objetivos é produzir peças no mais curto intervalo de tempo possível para assegurar a competitividade económica, decidiu-se realizar o Ensaio nº1 com uma temperatura dos pratos da prensa de 240°C, a fim de diminuir o tempo de pré-aquecimento necessário para estabilização da temperatura dos pratos a uma temperatura suficiente para a fusão do material quando sob pressão (cerca de 220°C).

De seguida, no Ensaio nº2, pretendeu-se verificar a influência da diminuição da temperatura dos pratos da prensa para 220°C, no material resultante. Como é evidente na Tabela 6, esta alteração implicou a alteração do valor de outra variável, o tempo de pré-aquecimento.

No Ensaio nº3, o objetivo foi aferir a influência que realizar a etapa III do procedimento experimental e aumentar a temperatura dos pratos das prensas para 225°C teria no parâmetro “tempo de pré-aquecimento” (com material). Como expectável, o tempo de estabilização de temperatura (a cerca de 220°C) diminuiu. Para além disso, estudou-se ainda as consequências da diminuição do tempo de moldação sob pressão para 1,5 minutos.

No Ensaio nº4, a variável alterada em relação ao ensaio anterior foi a “temperatura de arrefecimento”, isto porque se pretendia aferir se o aumento da mesma teria consequências visíveis no material, uma vez que, na teoria, a taxa de arrefecimento pode ter influência nas propriedades óticas do material:

Segundo Ferreira (2017), as propriedades físicas e mecânicas das poliamidas são influenciadas pelo grau de cristalinidade do polímero, que, por sua vez, é afetado por algumas condições de processamento, como a taxa de arrefecimento.

A poliamida 6, por exemplo, quando arrefecida lentamente, pode atingir entre 50 a 60% de cristalinidade, enquanto quando arrefecida de forma rápida, em peças com baixas espessuras, o grau de cristalinidade pode rondar os 10%. Isto deve-se ao facto de ser necessário um certo tempo para que as cadeias moleculares se aproximem e se alinhem umas em relação às outras (Callister & Rethwisch, 2016, citados por Ferreira, 2017) e comecem a formar cristalinicos (pequenas regiões de regularidade).

Assim, a temperatura na qual o molde é mantido desempenha um papel fundamental no processamento de materiais poliméricos, especialmente polímeros semicristalinos, visto que regula a troca de calor entre o polímero e o molde, influenciando, por fim, o processo de cristalização (Fornes & Paul, 2003; Harada, 2004, citados por Ferreira, 2017).

O aumento da cristalinidade de um polímero tem impacto direto em várias propriedades. Entre elas, o aumento da rigidez, da tensão de ruptura, da densidade, da estabilidade dimensional e a aparência mais opaca (Klata *et al.*, 2003).

No caso das poliamidas, a absorção de água após processamento diminui o grau de cristalinidade, que, por conseguinte, reduz a rigidez e resistência mecânica do polímero. No entanto, isso aumenta a sua resistência ao impacto e a tenacidade (Novello, 2010; Wlebeck & Harada, 2005, citados por Ferreira, 2017).

Por fim, no último ensaio, Ensaio nº5, estudou-se um tipo de composição que não havia ainda ter sido testado, a fim de se retirar algumas conclusões acerca das consequências resultantes de se moldar simultaneamente materiais com um intervalo de temperatura de fusão de cerca de 30°C. Como já havia sido referido, a separação dos monofilamentos por tipologia não é viável, logo o material não será produzido com este tipo de composição aquando da produção das peças que farão parte do produto final.

3.4 Caracterização Mecânica do Reciclado

Com os ensaios mecânicos pretende-se aferir o comportamento do material sob alguns tipos de tensão, de modo a conhecer-se os seus modos de falha - algo fundamental a ter em consideração na idealização do produto que terá o material desenvolvido na sua composição. No entanto, visto que nem sempre será possível produzir cada tipologia de composição do material com as mesmas tipologias e percentagens de monofilamentos utilizadas nos ensaios acima descritos (uma vez que se está dependente dos resíduos recolhidos) e visto que esse aspeto irá afetar as propriedades mecânicas resultantes, o principal objetivo da realização destes ensaios é, na verdade, aferir qual das composições do material possui melhores propriedades mecânicas e, posteriormente, identificar qual se adequará melhor à aplicação.

Desta forma, os resultados serão indicativos da influência de uma maior presença de monofilamentos coloridos e das algas marinhas.

Foram realizados ensaios de tração, flexão e impacto fundamentais, uma vez que foram efetuados numa peça normalizada e não no produto acabado.

Como já referido, o material foi moldado explorando quatro tipos de composições diferentes. No entanto, aos ensaios mecânicos foram submetidos unicamente provetes cortados a partir das placas

resultantes do Ensaio nº 3, onde foram explorados apenas três tipos de composição: tipo 1,2 e 3. Isto deve-se ao facto de o tipo de composição 4 ter sido explorado apenas para se retirarem certas conclusões teóricas para o estudo, como supramencionado.

Apesar de as placas resultantes do Ensaio nº3 não serem de arrefecimento lento, o que teoricamente resultaria em melhores propriedades mecânicas do material, considerou-se que poderiam ser utilizadas para executar os ensaios mecânicos, visto que a absorção de humidade acaba por diminuir um pouco o efeito conseguido com o arrefecimento lento (Novello, 2010; Wlebeck & Harada, 2005, citados por Ferreira, 2017) e que o principal objetivo era conseguir comparar as diferentes composições entre si, o que implica que estas estejam em igualdade de condições (ex: serem produzidas no mesmo dia).

De ressaltar que o material foi submetido a ensaios mecânicos após 2 meses da sua produção, visto que se pretendia avaliar o seu comportamento apenas quando o teor de humidade absorvido pelo mesmo se aproximasse do que se verificará aquando do seu uso.

3.4.1 Ensaio de Tração

A realização dos ensaios de tração às três tipologias de composição do material reciclado procedeu-se de acordo com a norma ASTM D 638 - 03_Tensile Properties of Plastics. Quanto a equipamentos, recorreu-se à máquina universal de ensaios mecânicos Zwick/Roell Z005 do DEP e a um paquímetro digital.

Por se tratar de um material moldado por moldação por compressão sob a forma de uma placa retangular de 3 mm de espessura, foi necessária uma preparação prévia dos provetes a submeter ao ensaio.

A fim de se simplificar o processo de obtenção dos corpos de prova a partir das placas moldadas (e visto que para se comparar as tipologias de composição entre si basta que estas se encontrem nas mesmas condições), optou-se por não cortar os provetes em forma de altere. Para a realização dos ensaios foram utilizados provetes com a geometria e dimensões ilustradas na Figura 19.

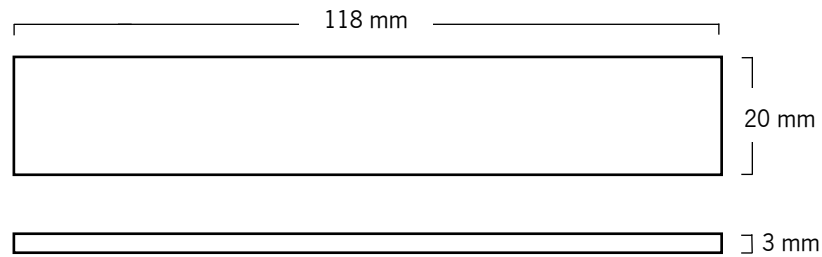


Figura 19 – Geometria e dimensões provetes ensaio de tração

A velocidade de deslocamento das garras utilizada no ensaio foi de 50 mm/min e as garras da máquina encontravam-se separadas por uma distância de 60 mm. Foram realizados oito ensaios para cada condição estudada.

3.4.2 Ensaio de Flexão

A realização dos ensaios de flexão às três tipologias de composição do material reciclado seguiu a metodologia imposta na norma ASTM D 790 – 03 *Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics*. Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios mecânicos INSTRON 5969 do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho, e foi utilizado o método de flexão de três pontos.

À semelhança do sucedido nos ensaios anteriores, foi necessária uma preparação dos provetes para que pudessem ser submetidos ao ensaio. Para tal, recorreu-se a uma serra de fita e a um paquímetro.

Após realizadas as marcações da geometria normalizada – secção retangular de 127 mm de comprimento e 12,7 mm de largura - nas placas moldadas com 3 mm de espessura, realizou-se o corte dos provetes com recurso à serra de fita (Figura 20a). Foram cortados seis corpos de prova para cada condição a estudar.

Após o corte, estes apresentavam rebarbas de material nas zonas onde o material entrou em contacto com a serra (Figura 20b). Estas foram removidas com recurso a uma espátula plástica para que os resultados dos ensaios não fossem comprometidos, dado que as rebarbas poderiam afetar a estabilidade do provete nos pontos de suporte.

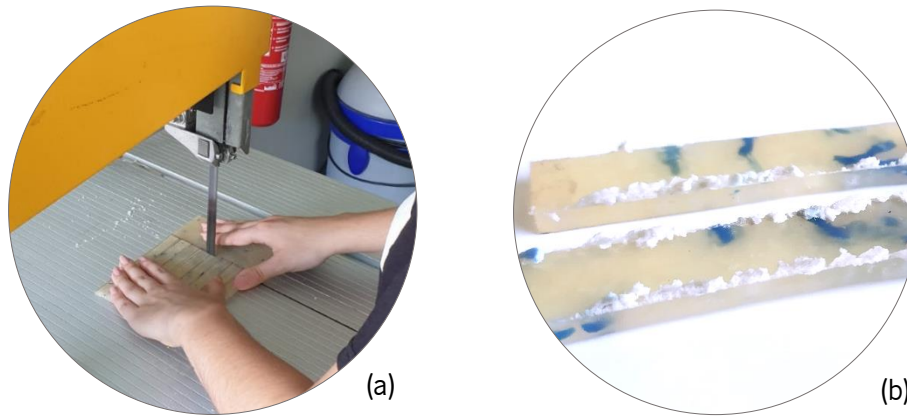


Figura 20 – a) Corte dos provetes com recurso à serra de fita; b) Provetes ainda com rebarbas

A distância entre os dois pontos de suporte inferiores era de 51 mm. A velocidade de deslocamento do terceiro ponto utilizada no ensaio foi de 2 mm/min. Este ponto deslocou-se a uma distância máxima de 6 mm (distância à qual o provete perdia o contacto com os dois pontos de apoio base).

Na Figura 21 encontram-se registos fotográficos retirados no decorrer de um dos ensaios de flexão.

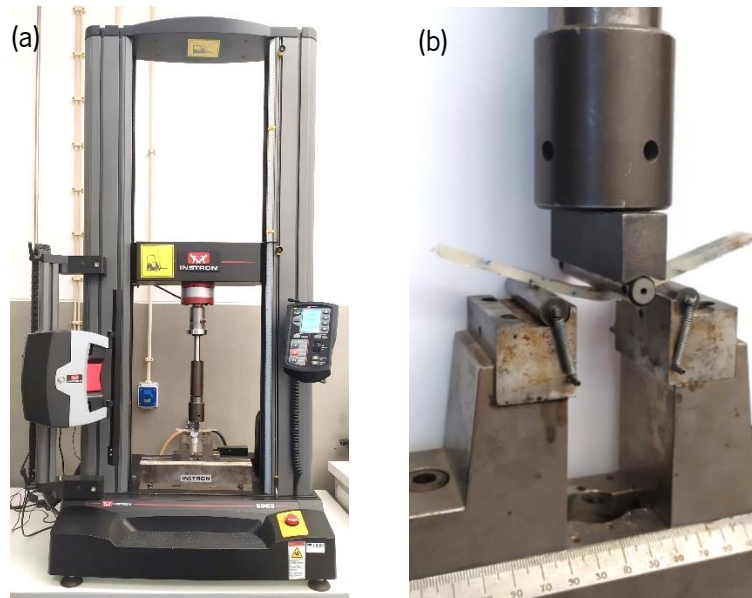


Figura 21 – a) Vista geral ensaio; b) Vista aproximada ensaio

3.4.3 Ensaio de Impacto

A resistência ao impacto de um material pode ser determinada com um ensaio Charpy ou Izod. No presente estudo, as três tipologias de composição do material reciclado foram submetidas a um ensaio de impacto Izod.

Para a execução dos ensaios foram necessários equipamentos como um entalhador em forma de “v”, um Pêndulo de Impacto CEAST (Figura 22) e um paquímetro digital.

Tal como se sucedeu nos ensaios anteriores, os corpos de prova foram obtidos a partir das placas moldadas no Ensaio nº3. Tendo em conta a geometria padronizada pela norma ASTM D 256-04, estes foram cortados de igual forma e com as mesmas dimensões dos provetes utilizados nos ensaios de flexão - secção retangular de 127 mm de comprimento, 12,7 mm de largura e 3 mm de espessura.

De seguida, foi necessário realizar o entalhe em “v” na região central de cada um, conforme indica a norma. Para tal, colocou-se o provete centrado na base do entalhador e foi-se movendo a fresa em direção ao mesmo, até que o micrómetro indicasse 2,54 mm. Ao todo, este processo repetiu-se 15 vezes, uma vez que foram submetidos a ensaio cinco corpos de prova de cada condição a estudar.

Cada ensaio foi realizado seguindo a seguinte metodologia:

- I. Realização de um ensaio sem provete para determinação da resistência do pêndulo (valor a ser retirado ao resultado de cada ensaio realizado);
- II. Medição da largura e espessura dos seis provetes de cada tipologia a estudar na região central;
- III. Colocação do corpo de prova no suporte com o entalhe virado para a zona de embate do pêndulo;
- IV. Libertação do pêndulo e registo do valor de energia absorvida no processo de rotura do provete.
- V. Tratamento dos resultados obtidos

De referir que a etapa IV e V não foram possíveis de realizar, como será, posteriormente, explicado.



Figura 22 – Realização de um ensaio no Pêndulo de Impacto CEAST

3.5 Reprocessamento – Averiguação de potencial de contribuição para economia circular

A reciclagem de artes de pesca perdidas ou em fim de vida não representa diretamente uma contribuição para a economia circular marítima. Tal só se verifica quando os produtos resultantes da reciclagem são concebidos para ter, novamente, potencial de reciclagem após o seu período de vida útil (Stolte & Schneider, 2018).

Assim, um dos fatores a ter em conta na identificação da tipologia de composição do reciclado mais indicada a utilizar no produto a conceber, para além das propriedades mecânicas, foi o potencial de poderem ser novamente recicladas.

Para avaliar isso mesmo, voltou-se a triturar e secar (a 80°C durante 8h) o material das placas, compostas pelos três tipos de composição, para que estivessem aptas para um novo ciclo de moldação por compressão.

Sabia-se que ao executar este processo com placas que não incorporaram qualquer produto, as conclusões retiradas não seriam representativas do verdadeiro potencial de voltar a ser reciclado, isto

porque este não foi exposto a esforços, condições atmosféricas e outro tipo de agentes que podem afetar as suas propriedades durante um novo ciclo de vida. Desta forma, executar ensaios mecânicos após reprocessamento também não se justificaria.

Acerca da forma como o reprocessamento pode afetar as propriedades mecânicas da poliamida, sabe-se que o processo repetitivo de fusão pode causar uma degradação severa do nylon, resultando na deterioração de todas as suas características. Estudos mostram que o Nylon 6 virgem pode ser reprocessado até sete vezes sem afetar suas qualidades físico-mecânicas ou morfologia, sendo que a única diferença observada entre processos é a cor. No entanto, no caso dos resíduos de nylon pós-consumo o comportamento pode ser diferente principalmente pelo facto da poliamida se encontrar combinada com outros materiais (Lozano-Gonzalez *et al.*, 1999 citado por Tonsi *et al.*, 2023)

Os resultados deste processo são, desta forma, apenas úteis para perceber algumas diferenças visuais entre um primeiro e um segundo processamento do material, um aspeto que pode condicionar as opções de reaplicação do material.

As condições de processamento utilizadas para o reprocessamento do material foram as mesmas utilizadas no Ensaio nº3, sendo que as composições tipo 1 e 2 foram reprocessadas conjuntamente (Figura 23a, enquanto a composição tipo 3 foi reprocessada individualmente (Figura 23b).

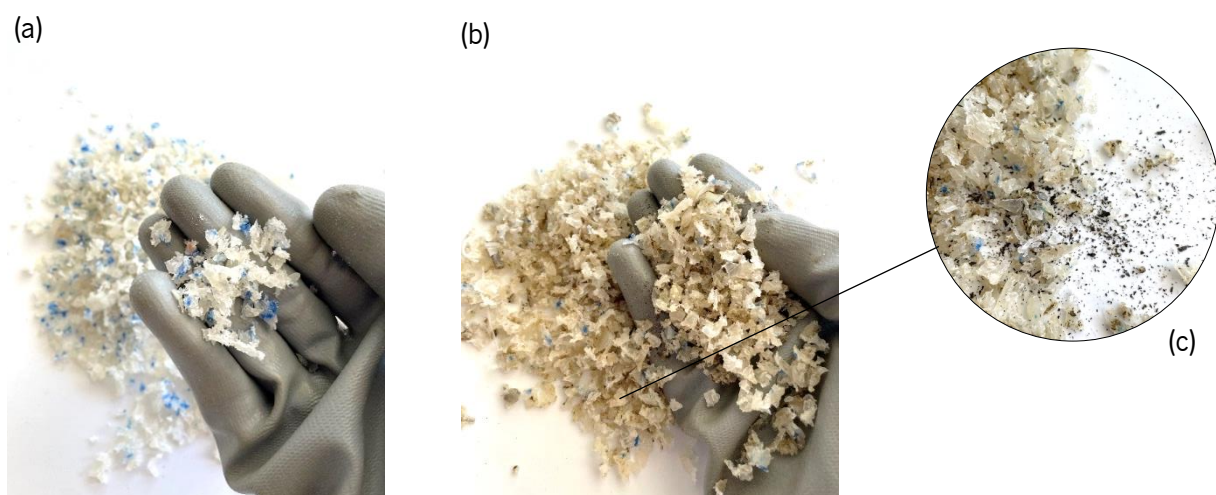


Figura 23 – a) Material composição tipo 1 e 2 triturado; b) Material composição tipo 3 triturado; c) Pormenor material composição tipo 3 triturado

3.6 Pós- processamento (união de peças)

Quer pelo facto de as peças resultantes de um processo de moldação por compressão serem limitadas pelas dimensões dos moldes e equipamentos onde são produzidas (isto é, por não se conseguir realizar uma produção contínua de vários metros, tal como acontece num processo de extrusão, por exemplo), quer pelo facto de, por vezes, o design de um produto exigir ligações entre partes, decidiu-se, nesta fase de trabalho, explorar uma forma de unir diferentes partes moldadas com o material reciclado criado.

A seleção do método correto para unir componentes plásticos pode ser uma tarefa complexa dado design das peças e a variedade de processos existentes para o efeito.

Segundo Kohan (1995), os métodos de montagem geralmente utilizados para resinas termoplásticas, como o nylon, podem ser agrupados em quatro categorias amplas: soldagem (processos ultrassónicos, de vibração, de rotação, de placa quente e electromagnéticos); mecânicos (fixadores roscados, inserções, encaixes de pressão); forjagem (deformações mecânicas que podem ser realizadas "a frio", mas utilizam frequentemente calor ou energia ultra-sónica para amolecer o plástico antes da deformação; união com solventes ou adesivos (colagem).

Decidiu-se testar o método de soldadura por ultrassons, com recurso ao equipamento iQ Series Hand Held Ultrasonic Welding Systems (Figura 24).

A Soldadura por Ultrassons (SUS), trata-se de um processo de união de materiais conseguida através da vibração de alta frequência dos materiais a unir e aplicação de pressão. Este método diferencia-se de outros processos de união por não requerer adição de material de adesão, sendo assim um método limpo e livre de poluição.

A SUS converte energia elétrica em movimentos mecânicos de alta frequência, resultando na geração de fricção na zona onde se pretende realizar a união. Esta fricção resultante, leva a um aumento de temperatura nessa área fazendo, consequentemente, com que os materiais em contacto fundam e haja uma união molecular entre os mesmos. (Jones, 2013, citado por Lopes, 2022).

Para garantir sucesso no processo de soldadura, é essencial atentar aos seguintes parâmetros de funcionamento da máquina: força; frequência de vibração; energia; amplitude; distância de soldadura; e tempo de soldadura. De um modo geral, estes parâmetros devem ser definidos de acordo com o material e secção a soldar. Quando mal dimensionados podem levar a uma união fraca ou a uma deformação plástica excessiva do material.

Neste processo de soldadura, normalmente o sonotrodo (peça que transmite a vibração), entra em contacto com apenas um dos materiais a serem soldados pois as peças são soldadas encontrando-se sobrepostas (Lopes, 2022). No entanto, neste estudo pretendeu-se explorar a viabilidade de soldar duas peças lado a lado de forma a perceber-se se esta poderia ser uma via de aumento de área de material disponível para criação de peças inteiras.

Realizaram-se testes com um sonotrodo com forma em degrau e extremidade circular (Figura 24 e 25a) e testes com um sonotrodo de lado reto e extremidade retangular (Figura 24 e 25b), com o objetivo de aferir qual o mais indicado para a soldadura lado-a-lado das placas de reciclado de 3mm a nível de resistência e de acabamento visual.

Para além disso, executaram-se testes onde se soldou apenas de um lado da junção das peças a unir e testes onde se soldou em ambos os lados.

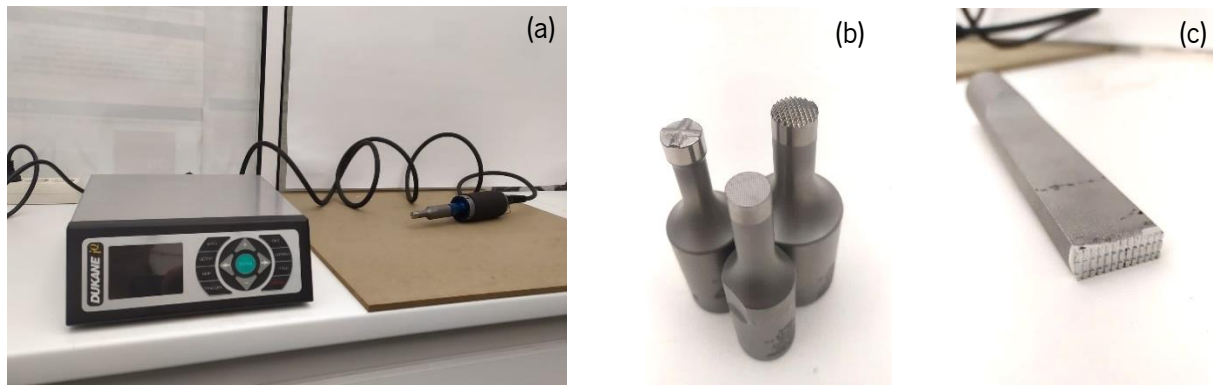


Figura 24 – a) iQ Series Hand Held Ultrasonic Welding Systems; b) Sonotrodos forma em degrau; c) Sonotrodo lado reto

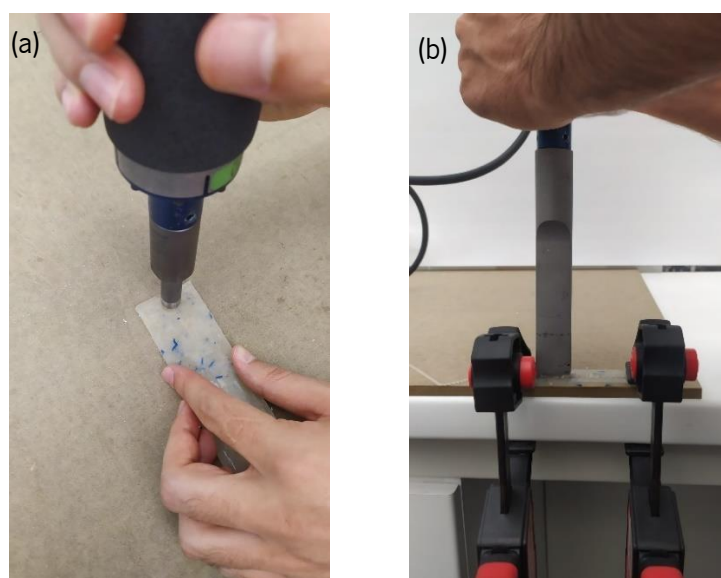


Figura 25 – a) Teste com sonotrodo de degrau e extremidade circular; b) Teste com sonotrodo extremidade retangular

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste Capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nas fases de trabalho expostas no Capítulo anterior.

4.1. Resultados preparação dos Materiais – Reciclagem mecânica

4.1.1 Separação e remoção de elementos contaminantes

Nas Tabelas 7 e 8 encontram-se identificadas e representadas visualmente as diversas categorias de elementos contaminantes orgânicos e inorgânicos encontrados e removidos dos emaranhados de filamentos de pesca recolhidos (visíveis na Figura 26).

Todos os elementos contaminantes que não faziam parte da arte de pesca (palangres), ou que não se encontravam num nível de emaranhamento com os filamentos que impedisse a sua remoção sem recurso à tesoura de poda, como os organismos marinhos, os corais e a vegetação, foram facilmente removidos manualmente. Os restantes elementos implicaram a utilização da tesoura para a sua remoção.

Os organismos parasitas e os fragmentos de chumbo, pela forma como se encontravam associados aos filamentos poliméricos implicaram o corte e remoção da porção de filamento que ocupavam, uma vez que existiam dúvidas acerca da eficácia do processo de lavagem na remoção deste tipo de contaminantes e que era importante assegurar que não existiria contaminação tóxica do material reciclado.

Por fim, importa ressaltar que, numa primeira fase, os nós responsáveis por unir os estralhos à linha mãe foram deixados na mistura de monofilamentos a triturar de seguida. No entanto, após um primeiro teste no triturador, verificou-se necessário separar estes elementos do restante material nesta fase (principalmente devido às suas dimensões, como será exposto mais à frente, e pelo facto de, tal como assinalado como um problema no capítulo referente ao Estado da Arte, estes serem propícios à retenção de sedimentos.

Como já mencionado, esta fase revelou - se um pouco intensiva em termos de tempo e mão de obra.

Tabela 7 – Elementos orgânicos removidos

Organismos marinhos	Organismos "parasitas"	Corais de mar profundo	Vegetação
			

Tabela 8 – Elementos inorgânicos removidos

Anzóis	Destorcedores	Elementos metálicos	Cordas marinhas	Fragmentos de chumbo
				



Figura 26 – Um dos emaranhados de filamentos de pesca recolhidos

4.1.2 Redução de dimensão

-Manual: Nesta fase os monofilamentos foram reduzidos a porções que variavam entre 50 a 200 mm de comprimento. Os monofilamentos tipo A, C e D verificaram-se fáceis de cortar e de separar em porções individuais com recurso à guilhotina manual, enquanto os monofilamentos tipo B, mesmo após corte, permaneciam emaranhados.

Esta etapa de trabalho, à semelhança da anterior, verificou-se bastante intensiva em termos de tempo e mão de obra. No entanto, apenas foi necessária dado os recursos disponíveis a nível de equipamento para este estudo. Um triturador com um outro sistema de lâminas, mais apto para o corte de materiais flexíveis, poderia não requerer este passo, uma vez que o corte do material se daria antes deste se emaranhar nas suas lâminas.

Desta forma, existe espaço para otimizar o processo de reciclagem mecânica destes resíduos.

De ressaltar que, de forma a otimizar o tempo envolvido nesta fase de trabalho, foi executada uma tentativa de corte dos filamentos numa serra de fita. Contudo, estes ficaram presos à lâmina cortante.

-Automatizada: Como mencionado anteriormente, o equipamento utilizado nesta fase foi alimentado manualmente, a uma velocidade lenta e controlada, de forma a evitar que o volume de material presente no seu interior fosse demasiado elevado, algo que poderia impedir a rotação das lâminas de corte e provocar a paragem do equipamento. No entanto, mesmo executando o processo com cautela, a paragem do equipamento ocorreu algumas vezes. Verificou-se que as lâminas do equipamento não eram eficientes na trituração do material, uma vez que para ser fragmentado em porções mais reduzidas, este tinha de passar repetidas vezes pelas mesmas, algo perceptível nas marcas deixadas nas porções de material resultantes, que podem ser observadas nas Figuras 27a e 27b.

Esta foi uma dificuldade que se previu visto ter sido mencionada nos estudos do estado da arte. Os filamentos de pesca, à semelhança das redes, são, por norma, bastante resistentes à rutura e ao corte, uma vez que são fabricados para resistirem às condições de trabalho a que estarão sujeitas.

Assim, mesmo com uma taxa de alimentação lenta, por vezes o volume de material no interior da câmara de trituração era superior ao que permite o bom funcionamento do equipamento e, por essa razão, o mesmo sofria paragens. Estas paragens deveram-se ainda, num primeiro teste, à presença de nós na mistura de monofilamentos, que devido à sua dimensão e à não eficácia das lâminas na realização

do seu corte, provocaram a paragem da rotação das lâminas, pois ficaram entre as mesmas e as paredes da câmara de trituração.

De um modo geral, desta fase resultaram porções de material com comprimentos entre 5 e 40 mm. No entanto, uma vez que o crivo do equipamento utilizado para trituração permite a passagem de porções com até 4,5 mm de diâmetro, vários filamentos com comprimentos maiores passaram diretamente, e intactos, pelo mesmo (Figura 27c).

Apesar de não ter sido possível obter porções de material com tamanhos homogêneos e desse fator poder afetar negativamente a produção do reciclado (visto que normalmente se recorre à produção de grânulos para garantir uma fusão uniforme do material), decidiu-se prosseguir com o processo utilizando o material com esta heterogeneidade de dimensões e assumir-se os resultados da produção do reciclado como consequência de uma tentativa de reciclagem com o menor número de processos consumidores de energia possível e tendo em conta os recursos disponíveis.

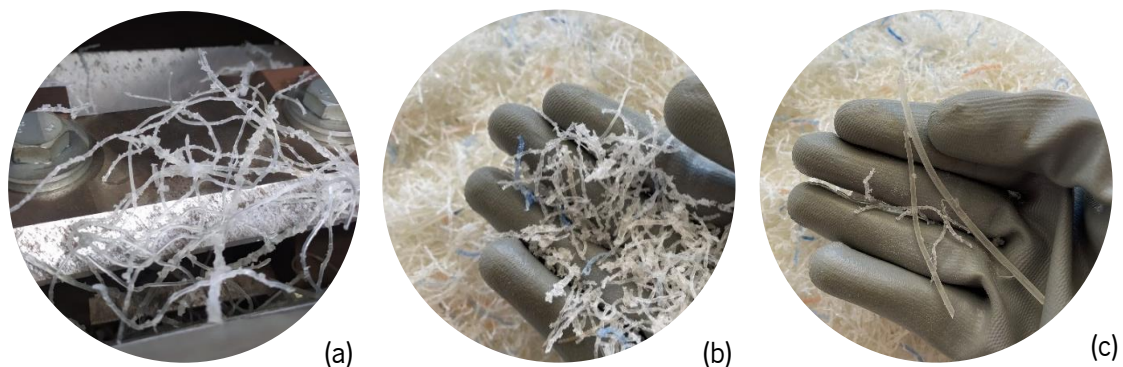


Figura 27 – a) Material no interior da câmara de trituração; b) Material triturado; c) Porções de monofilamentos que passaram intactas

4.1.3 Lavagem

-Peneiração: Com o processo de peneiração conseguiu evitar-se que o pó gerado no processo de trituração, que equivalia a cerca de 9% do peso do material resultante do mesmo, contaminasse a água utilizada no processo de lavagem automática. Na Figura 28 pode observar-se que este se tratava de um pó de granulometria bastante fina.



Figura 28 – Pó removido do material triturado após peneiração

-Lavagem automática: Considera-se que o saco de roupa cumpriu, de forma satisfatória, a sua função. No final da lavagem apenas algumas fibras (daquelas que passaram intactas no processo de trituração) se encontravam depositadas nas borrachas da porta da máquina de lavar e não existiam vestígios de material no filtro do equipamento. A pesagem realizada antes e após o processo de lavagem corroborou esta avaliação.

No entanto, a limpeza do material não se revelou tão eficaz, algo que ficou ainda evidente com a análise de algumas das placas moldadas. Em alguns casos é possível identificar, a olho nú, a presença de sedimentos no material reciclado. Contudo, importa referir que apesar de não se conseguir obter uma eficácia de 100%, os resultados são bastante satisfatórios tendo em conta o nível de “sujeidade” dos resíduos antes da lavagem.






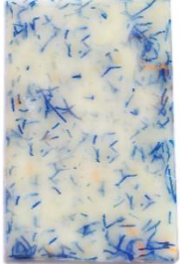



4.1.4 Secagem

As condições de temperatura e tempo adotadas na fase de secagem do material (80°C durante 8 horas) e os cuidados de distribuição do material nas bandejas revelaram-se eficazes na secagem do material.

4.2. Produção

Na Tabela 9, abaixo apresentada, encontram-se ilustrados os resultados dos diferentes ensaios realizados.

Tabela 9 – Resultados ensaios de moldação por compressão

Ensaio	n° placas	Composição	Resultados		
Ensaio n°1	3	Tipo 1; 2; 3			
Ensaio n°2	1	Tipo 1			
Ensaio n°3	1	Tipo 1			
Ensaio n°4	1	Tipo 1			
Ensaio n°5	1	Tipo 4			

Do Ensaio nº1 resultaram placas onde foi perceptível que o conjunto de condições de processamento utilizado assegurou o preenchimento total da cavidade do molde. No entanto, apesar da elevada temperatura utilizada, os monofilamentos do tipo C e D não fundiram totalmente, tendo mantido a sua geometria quase intacta (perceptível nas placas tipo 1 e 2), o que pode indicar a presença de monofilamentos não caracterizados anteriormente na mistura ou algum erro na realização dos testes DSC.

No entanto, como é visível, estas placas assumiram uma coloração bastante amarelada. Isto deve-se, muito provavelmente, à oxidação do material gerada pelas elevadas temperaturas (cerca de 50°C acima do ponto de fusão dos monofilamentos tipo B e cerca de mais de 20°C acima do ponto de fusão dos monofilamentos do tipo A) e tempos de ciclo utilizados no processo de fusão (Kohan, 1995).

Isto porque, apesar de se ter decidido realizar o Ensaio nº1 com uma temperatura inicial de 240°C, a fim de diminuir o tempo de pré-aquecimento necessário (para estabilização dos pratos da prensa a uma temperatura suficiente para a fusão do material quando sob pressão - cerca de 220°C), quando o molde, à temperatura ambiente, foi colocado entre os pratos da prensa, a temperatura dos mesmos baixou apenas 8°C. Ao fim dos 2 min de pré-aquecimento a temperatura encontrava-se ainda a 232°C, sendo que foi a essa temperatura que se iniciou a moldação sob pressão do material. Ao fim dos 2 min de moldação sob pressão a temperatura dos pratos da prensa já se encontrava bastante próxima dos 240°C (238°C).

Por fim, não foram observados quaisquer sinais de degradação nas algas marinhas utilizadas na placa de composição tipo 3. Considerou-se que coloração das mesmas contrasta com o material, criando um visual bastante interessante.

No Ensaio nº2, pretendeu-se verificar a influência da diminuição da temperatura dos pratos da prensa para 220°C. Esta alteração resultou num maior tempo de aquecimento e estabilização da temperatura do molde, inicialmente à temperatura ambiente, à temperatura pretendida (4 min de pré-aquecimento).

É perceptível que existiu, tal como no ensaio anterior, oxidação do material, visto que a coloração da placa resultante era bastante amarelada. Assim, concluiu-se que a diminuição da temperatura não apresenta qualquer influência positiva nas propriedades óticas do material resultante se esta implicar o aumento do tempo de pré-aquecimento do molde com o material no seu interior.

A partir do Ensaio nº3, o material passou a ser colocado no molde apenas quando este já se encontrava pré-aquecido durante 5 min (tempo necessário para este atingir uma temperatura de 225°C), o que, teoricamente, faria com que a estabilização da temperatura do molde preenchido a 225°C ocorresse mais rapidamente, visto a diferença de temperatura entre os pratos da prensa e molde ser menor. Observou-se que essa situação ocorreu – o tempo de pré-aquecimento diminuiu significativamente relativamente ao ensaio anterior.

Após moldação e arrefecimento foi possível perceber que o material (tipo A e B) fundiu completamente, preenchendo na perfeição a cavidade do molde. As placas, independentemente da sua composição, apresentavam uma coloração bastante mais clara, comparativamente às do Ensaio nº1 e nº2.

Contudo, a coloração não era 100% uniforme em toda a área das placas, visto que existiam zonas um pouco mais escuras que as restantes. A fim de perceber se esta coloração não uniforme se devia a uma má distribuição do material aquando da sua colocação no molde (as superfícies irregulares e a heterogeneidade de tamanhos dificultam o processo), ou a uma cristalização parcial do material em certas zonas, tornando-as mais opacas, no Ensaio nº4, a variável alterada em relação ao ensaio anterior foi a “temperatura de arrefecimento”.


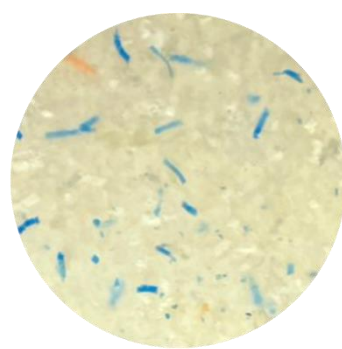

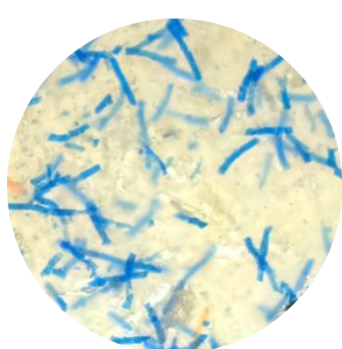

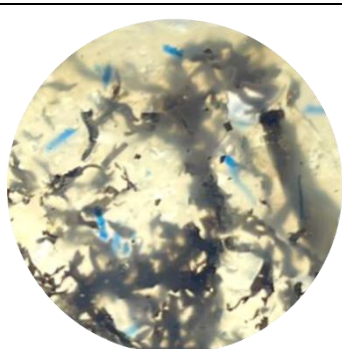
Na placa resultante do Ensaio nº4 não foi identificada uma diferença significativa que justificasse o aumento da temperatura de arrefecimento na produção das placas de reciclado a incorporar o produto final. As zonas de diferentes colorações continuaram a ocorrer, o que indica que este aspeto se deve à distribuição do material no molde.

Por fim, no último ensaio, Ensaio nº5, estudou-se um tipo de composição que não havia ainda ter sido testado, tipo 4, a fim de se retirar algumas conclusões acerca das consequências resultantes de se moldar simultaneamente materiais com um intervalo de temperatura de fusão de cerca de 30°C entre si. Verificou-se que a ausência de monofilamentos tipo B em grande quantidade na mistura de monofilamentos a moldar resulta numa coloração ainda mais clara do que a previamente conseguida, concluindo-se que a moldação dos monofilamentos do tipo B a uma temperatura 30°C acima do seu ponto de fusão causa uma ligeira oxidação nos mesmos.

De salientar que em todos os ensaios, as placas resultantes continham “marcações” que, à primeira vista poderiam parecer bolhas de ar no interior do material. Este aspeto torna-se mais perceptível

quando as placas são expostas a uma maior quantidade de luz. As figuras da Tabela 10, relativas às placas resultantes do Ensaio n°3, evidenciam isso mesmo.

Tabela 10 – Placas resultantes do Ensaio n°3 expostas a luz natural

Ensaio n°3	Placa exposta a luz natural (janela)	Vista de pormenor
Tipo 1	 A placa Tipo 1 é uma placa retangular de cor amarelada com pequenas partículas azuis dispersas.	 A vista de pormenor Tipo 1 mostra uma superfície amarelada com pequenas partículas azuis dispersas.
Tipo 2	 A placa Tipo 2 é uma placa retangular de cor amarelada com muitas partículas azuis dispersas.	 A vista de pormenor Tipo 2 mostra uma superfície amarelada com muitas partículas azuis dispersas.
Tipo 3	 A placa Tipo 3 é uma placa retangular de cor amarelada com muitas partículas azuis dispersas e uma superfície irregular.	 A vista de pormenor Tipo 3 mostra uma superfície amarelada com muitas partículas azuis dispersas e uma superfície irregular.

A fim de se aferir se estes elementos se tratavam de porções de material não fundido ou de presença de ar, realizou-se um ensaio extra, utilizando um espaçador com as seguintes dimensões: 110 x 120 x 0,7 mm. As condições de processamento adotadas neste ensaio foram as mesmas utilizadas no Ensaio n°3.

A baixa espessura do material reciclado resultante permitiu perceber que se tratavam, efetivamente, de porções de material não fundido, apenas prensado, como pode ver-se na Figura 29.

Este aspeto volta a sublinhar a heterogeneidade de monofilamentos presentes nas misturas de resíduos recolhidos e a dificuldade em utilizar condições de processamento que sejam adequadas tendo em conta os intervalos de fusão.

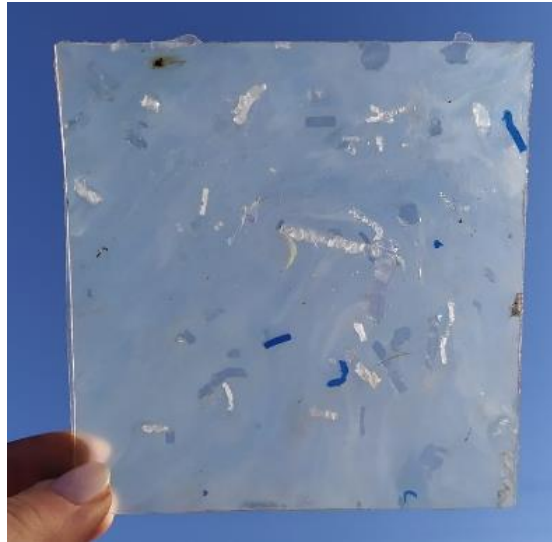


Figura 29 – Material reciclado tipo 1 moldado na espessura de 0,7 mm

4.3 Caracterização Mecânica do Reciclado

Neste subcapítulo serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios de tração, flexão e impacto efetuados às três tipologias de composição do material reciclado produzido por moldação por compressão. Importa, de novo, salientar que os ensaios foram realizados após 2 meses da produção das placas das quais foram retirados os corpos de prova, uma vez que se pretendia ficar a conhecer o comportamento do material nas condições de utilização. Por essa razão, os valores devem ser analisados tendo em consideração a absorção de humidade ocorrida nesse tempo.

4.3.1 Ensaio de Tração

As curvas tensão- deformação resultantes dos ensaios de tração realizados às três tipologias de composição das placas moldadas podem ser analisadas no Anexo 2.

Após cálculo da média dos oito ensaios realizados para cada condição a estudar e de forma a poder realizar-se uma comparação mais direta, os dados relativos à tensão e deformação máximas e módulo de elasticidade dos três tipos de composição das placas produzidas quando submetidos a esforços de tração encontram-se representados nos gráficos das Figuras 30, 31 e 32.

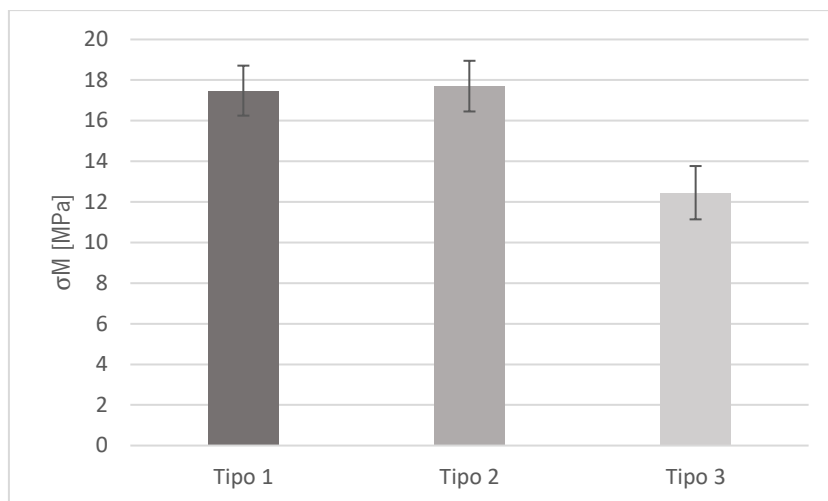


Figura 30 - Resultados de tensão máxima em ensaios de tração

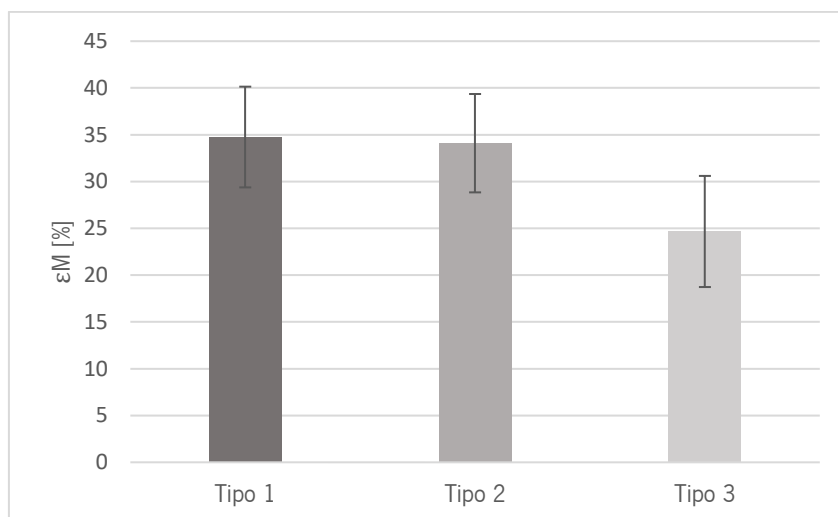


Figura 31 - Resultados de deformação máxima em ensaios de tração

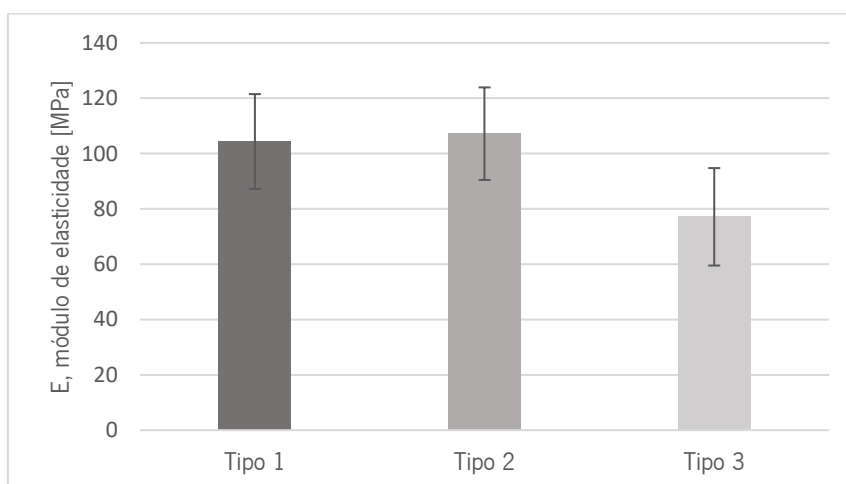


Figura 32 - Resultados Módulo de Elasticidade em ensaios de tração

Analisando os gráficos da Figura 30 e 31, é possível perceber que as propriedades mecânicas dos reciclados produzidos com a tipologia de composição 1 e 2 são superiores às propriedades do material das placas produzidas com o tipo de composição 3, visto que conseguiram suportar uma maior tensão e deformação antes da sua rutura.

Em termos de tensão máxima, estes suportaram, em média 17,5 MPa (tipo 1), 17,7 MPa (tipo 2), e 12,5 MPa (tipo 3). Já em relação à deformação máxima atingida, os valores foram de 34,8%, 34,1% e 24,7 % respetivamente.

Passando à análise do gráfico da Figura 32, onde se encontram os dados relativos ao módulo de elasticidade médio de cada composição, pode concluir-se que a mesma tendência se verifica: o material moldado com o tipo de composição 1 e 2 apresentam valores mais elevados e muito semelhantes (104,4 e 107,2 MPa, respetivamente) enquanto o tipo de composição 3 apresenta um valor bastante inferior (77,1 MPa).

Considera-se que estes resultados podem dever-se ao facto de as algas (presentes no tipo de composição 3) poderem impedir a homogeneização/ união molecular do material polimérico em certas zonas dada a sua presença nesse local, tornando o material menos resistente à tração e mais suscetível a deformações sob carga (mais flexível).

Por fim, por ser evidente, em todas as curvas tensão-deformação resultantes do ensaio de tração, a presença de deformação plástica na região pós-limite de elasticidade e pela superfície de fratura exibir características de estrição (estreitamento antes da fratura) e irregularidade, concluiu-se, ainda, que o material reciclado criado se trata de um material dúctil, independentemente da sua composição (Figura 33).

De ressaltar que não se cumpriu a geometria padronizada para os corpos de prova deste tipo de ensaios e que, por essa razão, estes valores serão utilizados apenas como método de comparação entre composições.

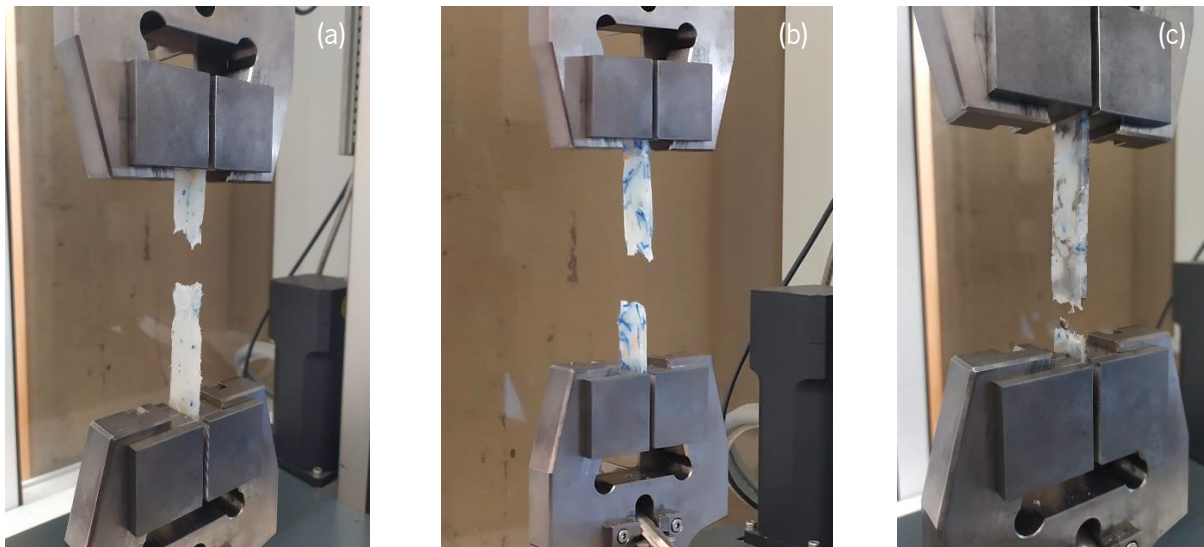


Figura 33- Ensaio de tração: a) Composição tipo 1; b) Composição tipo 2; c) Composição tipo 3

4.3.2 Ensaio de Flexão

Considerando o facto de que o terceiro ponto se deslocou a uma distância máxima de 6 mm (distância à qual os provetes perdiam o contacto com os dois pontos de apoio base e que delimitava, por esse motivo, até quando os valores do ensaio seriam válidos), não é possível fazer uma análise acerca da máxima tensão que o material, nas diferentes composições, conseguiu suportar antes de ocorrer rutura durante o ensaio de flexão, nem tão pouco acerca da quantidade de deformação que ocorreu no mesmo.

Assim, a análise recairá apenas sobre o módulo de elasticidade na flexão.

Após cálculo da média dos seis ensaios realizados para cada condição a estudar, reuniram-se os dados relativos ao módulo de elasticidade dos três tipos de composição de placas quando submetidos a esforços de flexão no gráfico da Figura 34.

Verificou-se que o módulo de elasticidade na flexão denota, no material reciclado, independentemente da sua composição, uma maior capacidade de retornar à sua forma original após ser submetido a uma deformação elástica do que aquela calculada nos ensaios de tração (módulo de elasticidade mais elevado).

Concluiu-se, assim, que apesar de teoricamente ser uma propriedade intrínseca dos materiais, independentemente do tipo de esforço ao qual é submetido, o módulo de elasticidade do reciclado apresenta variações em função do mesmo, sendo o valor determinado nos testes de flexão (327,5 MPa

– tipo 1; 321,8 MPa – tipo 2; 296,3 MPa – tipo 3) bastante superiores ao determinado nos ensaios de tração.

Este facto pode dever-se não só ao não cumprimento da geometria padronizada para os corpos de prova como também à ocorrência de escorregamento dos mesmos nas amarras durante o ensaio de tração.

Por fim, verifica-se que os desvio-padrão são mais elevados nos ensaios de tração, o que pode evidenciar, mais uma vez, uma maior precisão nos ensaios de flexão.

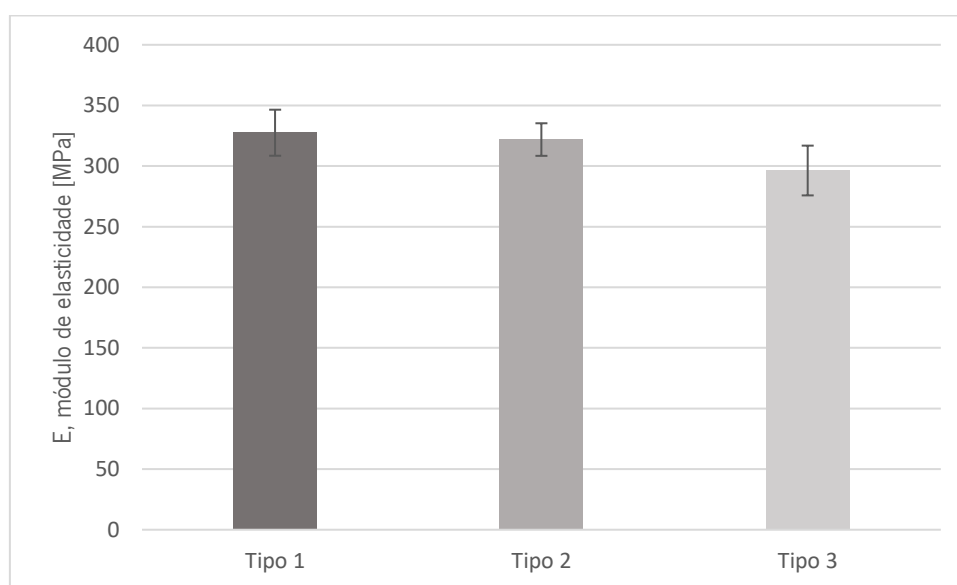


Figura 34 - Resultados Módulo de Elasticidade à flexão

4.3.3 Ensaio de Impacto

Como referido no Subcapítulo 3.4.3, as etapas de registo do valor da energia absorvida no processo de rotura do provete e de tratamento dos resultados obtidos não puderam ser realizadas. Isto deve-se ao facto de nenhum dos corpos de prova ter sido levado à rutura quando submetidos a esforços de impacto.

Na Figura 35 pode ver-se um registo representativo daquilo que se sucedeu à libertação do pêndulo em cada um dos 15 ensaios realizados (cinco para cada condição a estudar), registo esse que corrobora a informação acima descrita.

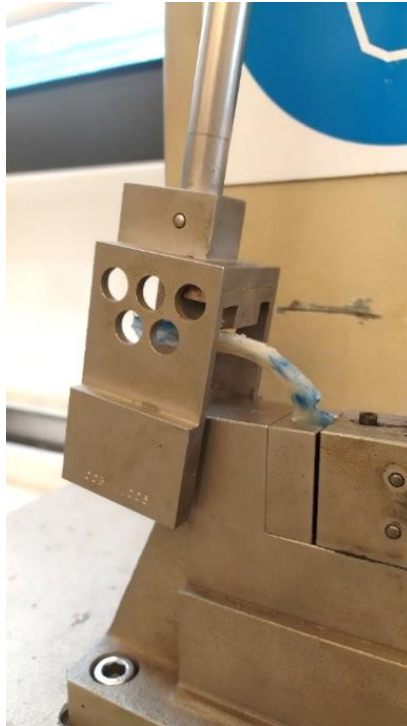


Figura 35 – Ensaio de Impacto – material não partiu

Sabe-se que a energia absorvida no ensaio de impacto Izod permite retirar conclusões diretas acerca da tenacidade do material em estudo. Materiais mais tenazes absorverão mais energia antes de fraturar, enquanto materiais menos tenazes terão uma absorção de energia menor. Assim, pode dizer-se que materiais que não partem ou apresentam uma alta resistência ao impacto durante o ensaio Izod fazem parte do grupo de materiais que possui características de tenacidade superiores. As poliamidas, especialmente as aditivadas para tal, como é o caso da Ultramid® C40 L - um grau de copoliamida 6/66 lubrificado e de alta viscosidade, que proporciona um melhor desempenho mecânico (tenacidade, resistência ao nó) e ótico (transparência) (Monofilaments, s.d.) são exemplos de materiais pertencentes a esse grupo.

Como exposto anteriormente, no caso das poliamidas, a absorção de água após processamento aumenta a sua resistência ao impacto e a tenacidade (Novello, 2010; Wlebeck & Harada, 2005, citados por Ferreira, 2017).

4.4 Reprocessamento

As placas moldadas após reprocessamento do material reciclado de composição tipo 1 e 2 (conjuntamente) e tipo 3 (separadamente) encontram-se representadas na Figura 36.

Após análise das mesmas, concluiu-se que apenas o material de composição tipo 1 e 2 apresenta condições, a nível de aspeto visual, para ser reprocessado, apresentando potencial de contribuição para uma economia circular de artes de pesca apesar de se denotar algum escurecimento no material comparativamente às placas moldadas com apenas um ciclo de processamento.

Considerou-se que o material moldado com composição tipo 3 não apresenta condições para ser reprocessado visto que as algas que fazem parte da composição, ao passarem pela fase de trituração, adquirirem o formato de partículas que acabaram por se depositar, em maior número, numa das faces da placa moldada, dando origem a um aspeto visual que se considera condicionar bastante as opções de reaplicação do material.

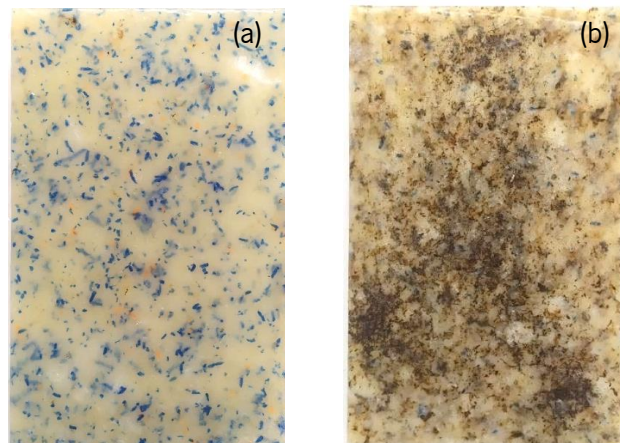


Figura 36- Placas reprocessamento: a) composição tipo 1 e 2 (conjuntamente); b) composição tipo 3 (separadamente)

Tendo em conta os resultados obtidos nesta fase e na anterior (caracterização mecânica) decidiu desconsiderar-se o tipo de composição 3 como opção de material a incorporar no produto a desenvolver. Resolveu-se ainda optar por deixar que a percentagem de monofilamentos C e D ocorresse ao acaso na moldação de placas para a produção do mesmo, visto que em certos parâmetros e propriedades (deformação máxima atingida) o tipo de composição 1 (98% monofilamentos tipo A e B; 2% monofilamentos tipo C e D) obteve resultados mais favoráveis e noutros (tensão máxima e módulo de elasticidade) o tipo de composição 2 (90% monofilamentos tipo A e B; 10% monofilamentos tipo C e D) obteve melhor desempenho.

4.5 Pós - processamento

Como referido no Subcapítulo 3.6, realizaram-se testes de soldadura ultrassónica com um sonotrodo com forma em degrau e extremidade circular (Figura 24 e 25a) e testes com um sonotrodo de lado reto e extremidade retangular (Figura 24 e 25b), com o objetivo de aferir qual o mais indicado para a soldadura lado-a-lado das placas de reciclado de 3 mm a nível de resistência e de acabamento visual.

Ambos os testes aparentavam ser bastante semelhantes em termos de resistência a esforços mecânicos manuais, sendo que o que prevaleceu na seleção do sonotrodo a utilizar na soldadura do material reciclado em questão foi o acabamento visual. Optou-se pela soldadura realizada com o sonotrodo de lado reto e extremidade retangular visto a sua geometria cobrir uma maior área longitudinal a cada contacto com o material e a marca deixada no mesmo ser mais discreta (Figura 37).

Prosseguiram-se os testes utilizando esse sonotrodo (testes onde se soldou apenas de um lado da junção das peças a unir e testes onde se soldou em ambos os lados).

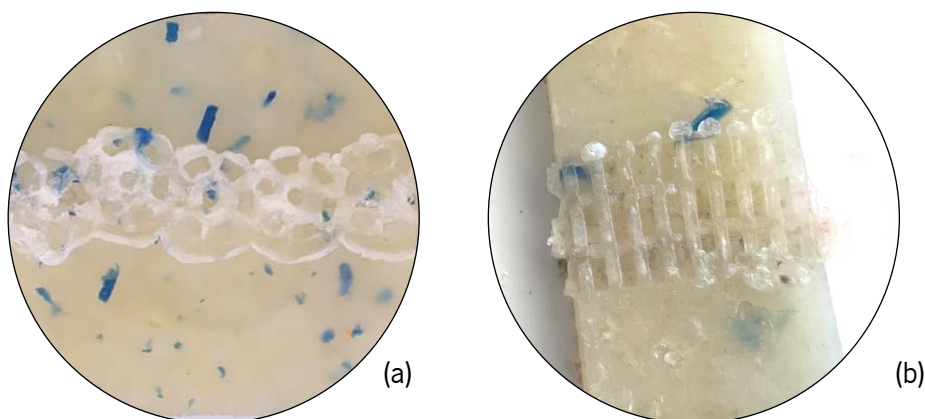


Figura 37 - Soldadura realizada com: a) sonotrodo circular; b) sonotrodo retangular

Verificou-se que, por vezes, a soldadura num só lado não garantia resistência suficiente a pequenos esforços manuais, visto que o lado onde não se aplicou a solda se separava facilmente (Figura 38). Isto pode dever-se não só a falhas no processo de soldadura (tais como mau dimensionamento dos parâmetros) como também à “elevada” espessura das placas (3 mm). Assim sendo, concluiu-se que, para uma soldadura de placas de 3 mm bem-sucedida, seria necessário soldar-se em ambos os lados das mesmas.

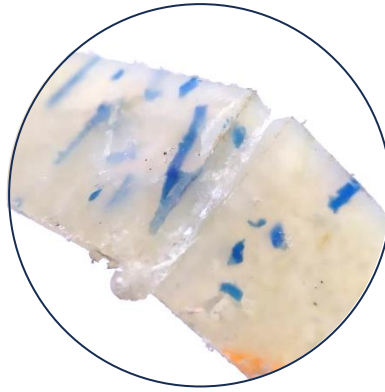


Figura 38 – Soldadura 1 lado após pequeno esforço mecânico manual

Por fim, realizaram-se ensaios mecânicos de tração a fim de comparar a resistência à tração de material não soldado e material soldado em ambos os lados. De referir que foram utilizados provetes de composição tipo 1 no processo de soldadura e que, por essa razão, os resultados do ensaio de tração obtidos nesta fase serão comparados aos obtidos anteriormente relativamente ao material moldado numa só peça com a mesma composição.



Figura 39 – Ensaio de tração soldadura 2 lados

De um modo geral verificou-se nos resultados obtidos concernentes ao material soldado uma redução de todos os valores estudados em relação ao material moldado numa só peça: a tensão máxima registada foi, em média de 13,9 MPa, (inferior aos 17,5 MPa do material em comparação); a deformação máxima atingida, foi, em média, de 13 % (inferior aos 34,8% do material em comparação) e o módulo de elasticidade médio foi de 98,5 MPa (inferior aos 104,4 MPa do material em comparação). Estes dados podem ser observados nos gráficos das Figuras 39, 40 e 41.

Este decréscimo de propriedades pode dever-se não só à descontinuidade do material como também a fatores como a humidade, os aditivos, lubrificantes e características de fusão do material, que desempenharem um papel importante na obtenção de uma soldadura forte.

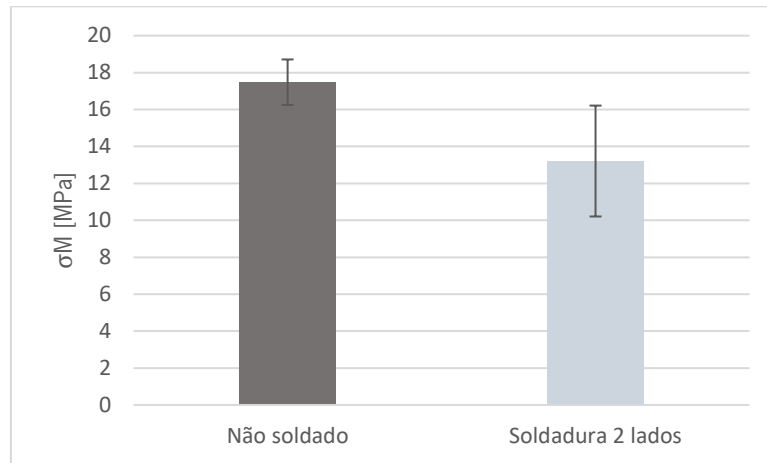


Figura 40 - Resultados de tensão máxima em ensaios de tração material não soldado vs soldadura 2 lados

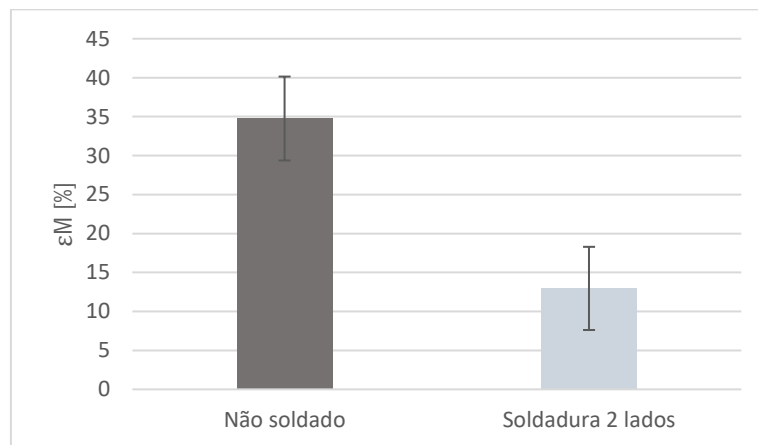


Figura 41 - Resultados de deformação máxima em ensaios de tração material não soldado vs soldadura 2 lados

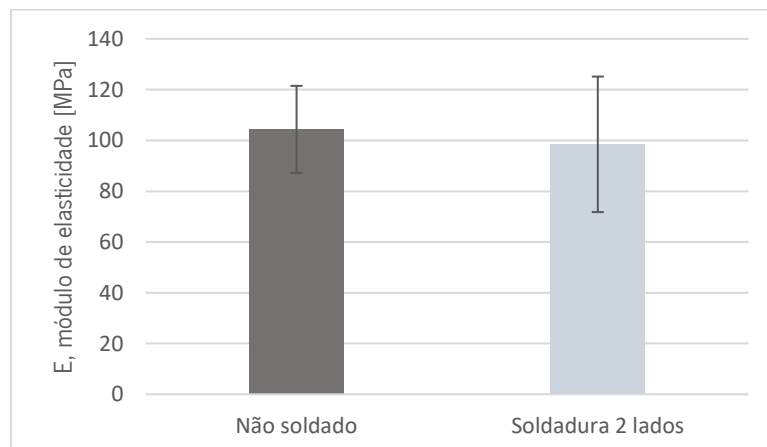


Figura 42 - Resultados Módulo de Elasticidade em ensaios de tração material não soldado vs soldadura 2 lados

Nos gráficos é ainda visível que a dispersão dos valores de tensão máxima e módulo de elasticidade foi bastante superior nos ensaios realizados com os provetes soldados. Considera-se que este aspeto poderá ter que ver com o facto de num processo de soldadura manual ser difícil de controlar e uniformizar parâmetros como a força exercida, que é determinante na execução de uma boa soldadura (forças baixas levam ao deslizamento entre o sonotrodo e o material, causando desgaste e aumento de temperatura do sonotrodo e forças elevadas levam a uma deformação plástica excessiva do material e, conseqüentemente a um pior acabamento) (Lopes, 2022).

5 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

Como previamente exposto, esta dissertação tem como objetivo final a conceção de um produto - a incorporar, futuramente, uma eco-cabana. Este irá conter o material reciclado desenvolvido neste estudo.

O processo de desenvolvimento do produto em questão guiou-se pela metodologia exposta no livro *Product design and development* de Ulrich & Eppinger (2015), um livro que guiou o trabalho a desenvolver em algumas unidades curriculares durante o Mestrado de Engenharia do Produto.

Segundo os autores, o processo genérico de desenvolvimento de produtos é composto por seis fases, que se encontram enumeradas e sequenciadas na Figura 43.

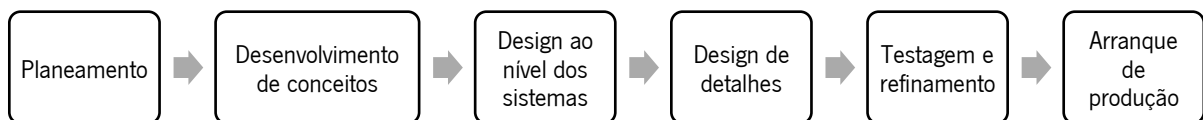


Figura 43 – Processo de desenvolvimento de produtos seguido

No âmbito desta dissertação serão realizadas apenas as cinco primeiras fases do processo acima descrito, uma vez que a sexta fase, a de arranque da produção, não se encontra no espectro de objetivos deste estudo.

De referir ainda que este se trata de uma abordagem genérica que será adaptada, sempre que necessário, de acordo com o contexto e os desafios do projeto específico desta dissertação.

O desenvolvimento do produto para o *showroom* conta com algumas restrições desde início, tendo em conta que anteriormente a esta fase de trabalho já foi desenvolvido um processo específico para fabricar o material e as peças do produto e a conceção do produto é limitada pelas capacidades desse processo.

5.1 Planeamento

Muitas vezes referida como "fase zero", a fase de planeamento antecede a aprovação do projeto e o início do processo de desenvolvimento do produto propriamente dito. Começa com a identificação de oportunidades e resulta na declaração de missão do projeto (*mission statement*).

No contexto do desenvolvimento de produtos, uma oportunidade é uma ideia para um novo produto que pode surgir de uma necessidade recentemente sentida, uma tecnologia recentemente descoberta ou de um encontro entre uma necessidade e uma possível solução. Trata-se, por isso, de uma hipótese sobre a forma como o valor pode ser criado (Ulrich & Eppinger, 2015).

No caso, aquando da análise do projeto exterior e interior da eco-cabana concebida no âmbito do projeto Azores EcoBlue (Figura 44 e 45), foi percecionada uma necessidade que poderia vir a ser sentida pelos utilizadores da mesma: a de separar espaços de trabalho e lazer. Essa necessidade pode ser percebida analisando a imagem da Figura 45, onde pode ver-se a sala de estar/jantar da eco-cabana (que pode ainda funcionar como escritório) assim como a sua ligação direta ao deck exterior onde se insere o tanque da cabana.

Assim, e tendo em conta a escolha da técnica de produção do material reciclado, surgiu a ideia de se desenvolverem painéis que pudessem atuar como um separador de ambientes interior, especialmente na divisão referida, e como sugerido na Figura 46: a) separação sala de estar/sala de jantar e escritório; b) separação sala de estar/deck exterior.

Descartaram-se, nesta fase, oportunidades relacionadas com outro tipo de mobiliário interior que pudesse estar sujeito a esforços mecânicos mais exigentes, visto que não se consegue garantir as mesmas propriedades para todas as peças executadas com o material (dada a heterogeneidade de monofilamentos recolhidos), e oportunidades relativas a produtos de exterior/sujeitos a grande exposição às intempéries (como por exemplo membranas que atuariam como filtros de luz nas janelas/clarabóia da cabana) uma vez que as poliamidas, à semelhança de outros polímeros, quando não aditivadas para que o contrário aconteça, são degradadas pela luz ultravioleta (UV) e possuem uma resistência às condições climáticas relativamente baixa (Ulrich & Eppinger, 2015).



Figura 44 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – exterior (*screenshot* reproduzido de Nieta da Ponte Rocha, 2022)



Figura 45 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – interior (*screenshot* reproduzido de Nieta da Ponte Rocha, 2022)

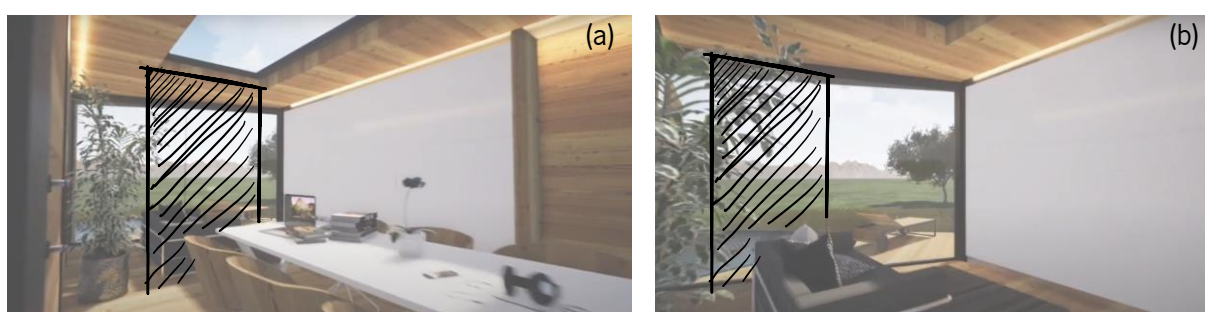


Figura 46 – Modelo eco-cabana Azores EcoBlue – a) separação sala de estar/sala de jantar e escritório; b) separação sala de estar/deck exterior (*screenshots* adaptados de Nieta da Ponte Rocha, 2022)

Após identificada e aprovada a oportunidade, é necessário definir-se mais pormenorizadamente o projeto de forma a deixar claro as restrições e objetivos gerais do mesmo antes de se passar ao desenvolvimento de conceitos. Estes são formalizados numa declaração de missão (*mission statement*) (Ulrich & Eppinger, 2015). Na Tabela 11 encontra-se a declaração de missão relativa ao projeto do separador de ambientes a ser criado.

Tabela 11 – *Mission Statement*: Separador de ambientes

Descrição do Produto	Separador de ambientes produzido com materiais recuperados do mar dos Açores.
Proposta de benefício	-Otimização e adorno do espaço interior da eco-cabana, valorizando o mesmo. -Valorização material de artes de pesca descartadas;
Principais objetivos “empresariais”:	-Acrescer valor ao projeto; -Concluído em 2024.
Mercado principal	Projeto Azores EcoBlue.
Mercado secundário	-Moradores de casas cujos espaços necessitam de ser separados/otimizados; -Showrooms/ lojas.
Pressupostos e restrições	-Inclusão do material reciclado desenvolvido na sua composição; -Dimensões gerais adaptadas às dimensões da sala de estar/jantar da eco-cabana; -Sustentabilidade (programar todo o ciclo de vida).
Partes interessadas	-Projeto Azores EcoBlue; -Produtores; -Hóspedes/utilizadores da eco-cabana; -Mercado secundário;

5.2 Desenvolvimento de conceitos

Na fase de desenvolvimento de conceitos, são identificadas as necessidades do mercado-alvo, a fim de gerar vários conceitos de produtos que proponham solução às mesmas. Um ou mais conceitos são posteriormente selecionados para serem desenvolvidos com mais pormenor e testados (Ulrich & Eppinger, 2015). Esta fase engloba várias etapas de trabalho, nomeadamente as que se seguem.

5.2.1 Identificação das necessidades dos clientes

O objetivo desta atividade é compreender, hierarquizar e ponderar a importância das necessidades dos clientes.

No caso, a oportunidade de se desenvolver o Separador de Ambientes surgiu de um contacto direto com o cliente, a empresa Nieta Atelier, responsável pela conceção do *showroom*. Assim, as restantes necessidades foram facilmente identificadas uma vez que não se teve de aferir as mesmas junto de um conjunto heterogêneo de eventuais consumidores, mas sim junto da principal parte

interessada, permitindo uma maior personalização da abordagem de identificação das suas necessidades.

O resultado da fase de recolha de dados relativos às necessidades dos clientes é um conjunto de dados em bruto, normalmente sob a forma de depoimentos dos mesmos. Na Tabela 12 pode ver-se o modelo utilizado para organizar estes dados em bruto. A primeira coluna corresponde à pergunta ou estímulo utilizado para suscitar os dados do cliente; a segunda coluna agrupa as declarações literais feitas pelo cliente; e, por fim, a terceira coluna contém as necessidades do cliente implícitas nos dados brutos.

Tabela 12 – Modelo levantamento de necessidades dos clientes

Pergunta/estímulo	Declarações	Necessidade Interpretada
Aspetos a incluir	Harmonia com o espaço/ambiente	O separador de ambientes adequa-se ao espaço em que se insere.
	Ser prático (por exemplo, dar para mudar de sítio)	O separador de ambientes pode ser movido.
Aspetos a excluir	Não pode sacrificar a amplitude do espaço	O separador divide os ambientes sem prejudicar a sua amplitude.
	Não bloquear a passagem dos hóspedes entre ambientes;	O separador permite a livre circulação dos hóspedes entre ambientes.
	Não pode cair facilmente	O separador é estável e seguro.

Considerou-se que, numa escala de 1 a 5, onde 1 - atributo indesejável e 5 - atributo crítico, todos os atributos interpretados têm importância máxima na conceção do produto. Esta informação encontra-se resumida na Tabela 13.

Tabela 13 – Importância de cada necessidade identificada

No.	Necessidade	Importância
1	O separador de ambientes adequa-se ao espaço em que se insere.	5
2	O separador de ambientes pode ser movido.	5
3	O separador divide os ambientes sem prejudicar a sua amplitude.	5
4	O separador permite a livre circulação dos hóspedes entre ambientes;	5
5	O separador é estável e seguro.	5

5.2.2 Estabelecimento de especificações-alvo

Após identificar as necessidades do cliente, importa definir as especificações alvo do produto. Isto é, traduzir as necessidades do cliente em termos técnicos.

As especificações fornecem uma descrição, em pormenor preciso e mensurável, do que o produto tem de fazer. Cada especificação consiste numa métrica e um valor (Ulrich & Eppinger, 2015).

Para gerar a lista de métricas para o separador de ambientes a ser criado, contemplou-se cada necessidade e considerou-se qual a característica precisa do produto que poderia refletir o grau em que essa necessidade é satisfeita. Na Tabela 14 encontram-se as métricas identificadas e as respetivas ligações às necessidades.

Algumas necessidades não puderam ser traduzidas em métricas quantificáveis e, por essa razão, essas métricas não apresentam unidades de medida associadas.

Tabela 14 - Métricas

Métrica Nº.	Necessidade Nº.	Métrica	Unidades
1	1,2,3,4,5	Dimensões	cm
2	1,3,4,5	Geometrias	-
3	2,5	Peso	kg
4	1,3	Cores	-
5	3	Aberturas/Transparência dos materiais	-
6	2,4,5	Rodas	-

De seguida, e mais uma vez, segundo Ulrich & Eppinger (2015), para facilitar o processo de definição dos valores-alvo das métricas, é importante recolher alguma informação de *benchmarking* da concorrência, visto que é uma via para se perceber de que forma as necessidades dos clientes estão a ser respondidas do ponto de vista técnico até ao momento, e uma forma de garantir competitividade.

Uma vez que o produto a ser desenvolvido será composto por um material concebido a partir dos resíduos marinhos recolhidos pelo projeto cliente, considera-se que, no mercado, não existe um produto que represente concorrência direta ao mesmo. No entanto, considerou-se importante conhecer os valores das métricas de produtos com funções e subfunções semelhantes às pretendidas, isto é, produtos que têm como proposta a resolução de necessidades semelhantes às identificadas.

5.2.2.1 Métricas *benchmarking*

Até aos dias de hoje, a ideia de planta livre, propagada por figuras como Le Corbusier, Mies van der Rohe e Walter Gropius, permanece relevante no design de casas. No entanto, o dia-a-dia da vida contemporânea requer, em diversas circunstâncias, formas de isolamento de espaços, quer seja este estético, funcional, visual ou auditivo (*How to Master the Act of Separation in Open-Plan Spaces*, s.d.)

Desta forma, os separadores de ambientes emergem como produtos relevantes. Estes permitem transformar um espaço de forma reversível, sem implicar a alteração permanente da planta através de uma construção, levando a que uma das razões benéficas para optar por separadores de ambientes seja o baixo custo associado à transformação.

Existem diversas opções para dividir um espaço: biombos, cortinas, estantes, paredes de vidro, “paredes” divisórias, e por isso, opções móveis, fixas, híbridas, etc. Cada uma destas opções oferece diferentes benefícios e, por isso, a escolha entre elas deve ser feita de acordo com as necessidades concretas do espaço e do cliente.

Como exposto anteriormente, nesta fase considerou-se pertinente conhecer os valores das métricas de produtos da concorrência que têm como proposta a resolução de necessidades semelhantes às identificadas. Assim sendo, selecionou-se para estudo os três produtos que serão descritos de seguida.

Primeiramente, o biombo RISÖR (Figura 47), uma divisória que possibilita a criação de uma separação multifuncional, sem obstruir a passagem de luz. Este é um produto prático, fácil de dobrar e arrumar e é o separador de ambientes mais vendido pelo IKEA (*RISÖR Biombo, Branco/Preto, 216x185 Cm - IKEA*, s.d.).



Figura 47 - Biombo RISÖR: a) produto no contexto de utilização; b) pormenor do produto (reproduzidas de RISÖR Biombo, Branco/Preto, 216x185 Cm - IKEA, s.d.)

Seguiu-se o divisor de ambientes independente Facet, cujas formas geométricas de diamante podem ser giradas independentemente, permitindo a escolha entre oclusão ou transparência entre espaços (Figura 48a).

Este produto encontra-se disponível numa ampla variedade de tamanhos e cores. No que diz respeito à sua estabilidade, esta é assegurada por uma estrutura de alumínio robusta feita de seções triangulares (Figura 48b).

Este separador é ideal para diversos ambientes: casas, espaços comerciais/públicos, hotéis, etc (Bloomming, s.d.).



Figura 48 – Facet: a) formas de diamante giradas; b) estrutura de alumínio feita de seções triangulares

(reproduzidas de Bloomming, s.d.).

Por fim, foram selecionados para estudo, os separadores de ambientes Stick. Estes são divisórias modulares que podem ser organizadas conforme necessário e de acordo com o que o espaço permite. Os seus elementos verticais são inspirados por elementos da natureza e criam uma divisão ótica enquanto mantêm um fluxo aberto entre espaços (Figura 49).

Existem quatro comprimentos e cores de hastes disponíveis e quatro formatos de base (Figura 49b), que permitem criar vários tipos de composição. Estas existem ainda com iluminação LED embutida (Figura 49c) e em diferentes materiais, de acordo com o ambiente em que serão inseridas (interior ou exterior).

Para uma maior estabilidade, principalmente em ambientes externos, onde o produto poderá estar sujeito à força do vento, é possível adicionar peso extra nas bases (*Sticks*, s.d.).



Figura 49 – Sticks: a) produto em contexto de utilização; b) diferentes formatos de base; c) base com iluminação LED (reproduzidas de *Sticks*, s.d.)

Na Tabela 15, são apresentados os valores das métricas destes produtos.

Tabela 15 – Métricas de produtos *benchmarking*

Métrica	Unidades	RISÖR	Facet	Sticks
Dimensões	cm	216 x 185 x 3	Comprimentos disponíveis: 102; 136; 170; 204; 238 Alturas disponíveis: 160; 180; 200; 220; 240; 260 Largura: 19	Bases disponíveis: Standard (60 x 30); Média (50 x 25); Quadrada (30 x 30); Curvatura acentuada (65 x 33); Curvatura suave (63 x 32) Alturas disponíveis: 120/150/180 /210
Geometrias	-	Retângulos	Diamantes	Hastes
Peso	kg	15,90 (aprox.)	Variável de acordo com dimensões (máx. 47)	Variável de acordo com dimensões (máx. 20,5)
Cores	-	Preto e branco	Castanho; Dijon; grafite; azul-claro; cinzento-pérola e branco.	Hastes disponíveis: preto, branco, verde e madeira. Luzes: branco (frio/quente)
Aberturas/ Transp. dos materiais	-	Sim	Sim	Sim
Rodas	-	Não	Não	Não

Principalmente em relação às métricas não-quantificáveis, a análise dos produtos semelhantes foi bastante frutífera, no sentido em que se pôde retirar algumas conclusões: no que diz respeito às formas que compõem os separadores, existe uma grande aposta em formas geométricas; concernente às cores, pôde perceber-se que a tendência passa por oferecer possibilidade de escolha entre uma gama

de cores ao cliente. Quando tal não se verifica, as cores selecionadas são de cores neutras, algo que reforça a importância do requisito “O separador de ambientes adequa-se ao espaço em que se insere.”

Para além disso, constatou-se que, para permitir a passagem de luz entre ambientes, de forma a não comprometer a sua amplitude, todos eles possuem alguma transparência nos seus materiais ou então aberturas/espacos negativos. Contudo, concluiu-se que no que toca ao controlo da quantidade de luz que transita entre espacos, nem sempre essa é uma função associada a estes produtos, algo que pode ser visto como uma oportunidade de inovação.

Por fim, verificou-se que, apesar de numa primeira abordagem se poder pensar que a mobilidade do produto pode depender da existência rodas, nenhum deles foi concebido com esse componente.

Assim, esta fase de recolha de dados relativos a outros produtos foi importante para encontrar soluções existentes tanto para a necessidade geral (separar espaco) quanto para as subnecessidades identificadas previamente. Desta forma, percebeu-se quais os subproblemas críticos para os quais ainda não existem muitas soluções prévias e que irão exigir mais esforço na fase de desenvolvimento de conceitos e quais as soluções convencionais a serem combinadas com estas soluções inovadoras.

5.2.3 Geração de conceitos

Nesta fase são desenvolvidos conceitos de produtos que possam responder às necessidades dos clientes. A geração de conceitos engloba uma combinação de pesquisa externa, com conhecimentos e criatividade internos.

O resultado desta atividade é normalmente um conjunto de conceitos, cada um representado por um esboço e um breve texto descritivo (Ulrich & Eppinger, 2015).

No que diz respeito à pesquisa externa, ao longo da fase de desenvolvimento de produtos continuou-se o processo de estudo de produtos existentes com funcionalidades semelhantes às do produto em desenvolvimento, iniciado anteriormente.

Em relação à parte interna, começou por se realizar um *brainstorming* com aspetos a explorar, adicionalmente, na criação de conceitos. Estas dizem respeito não só à parte estética do produto como também à sustentabilidade do mesmo e à exploração do potencial do material desenvolvido para incorporar o produto (Figura 50).

De seguida, foram desenvolvidos conceitos de produtos a partir da junção desses exercícios. Estes encontram-se ilustrados nos esboços das Figuras 51 a 62.

Importa referir que se considerou pertinente explorar a passagem de luz quer de forma direta (orifícios), filtrada (através do material), controlada ou não controlada, em todos os conceitos desenvolvidos. Sendo um separador de ambientes móvel, por si só, uma alternativa sustentável à construção de divisórias permanentes (visto permitir a alteração do *layout* de espaços de forma simples e rápida, sem que seja necessário recorrer a obras construtivas/destrutivas), não faria sentido que este bloqueasse a passagem de luz entre ambientes, fazendo com que fosse necessário recorrer a fontes extra de iluminação, possivelmente consumidoras de energia, antes do fim do dia.

No entanto, essas fontes de luz artificial no período noturno acabarão por ser inevitáveis na iluminação dos espaços interiores. Desta forma, considerou-se que poderia ser interessante explorar a incorporação de luz no produto, atribuindo-lhe, assim, alguma multifuncionalidade, algo que pode ser visto também como uma estratégia que visa alcançar a sustentabilidade: se um mesmo produto for capaz de desempenhar mais do que uma função, pode evitar-se a aquisição de outros para o mesmo efeito.

Adicionalmente, e ainda relativamente ao tópico da sustentabilidade, para além da relação mobilidade-sustentabilidade acima clarificada, considera-se que atribuir esta característica ao produto é ainda uma via para garantir o prolongamento do tempo de vida útil do mesmo: o material reciclado que fará parte da sua composição não se encontra aditivado no sentido de aumentar a sua resistência à exposição solar, logo, torna-se importante reduzir de alguma forma os períodos em que este estará submetido a tal. Assim, ao ser móvel, o produto permite ao utilizador utilizá-lo apenas quando necessário, evitando que este seja exposto por longos períodos ao sol desnecessariamente. Esses períodos poderão ainda ser atenuados dado o facto de as janelas e a claraboia possuírem uma tela *Polyscreen* (sistema de oclusão).

Por fim, uma das preocupações ao desenvolver os conceitos que se seguem foi a de considerar, desde logo, o fim de vida dos mesmos, promovendo uma fácil desmontagem e separabilidade dos seus componentes.

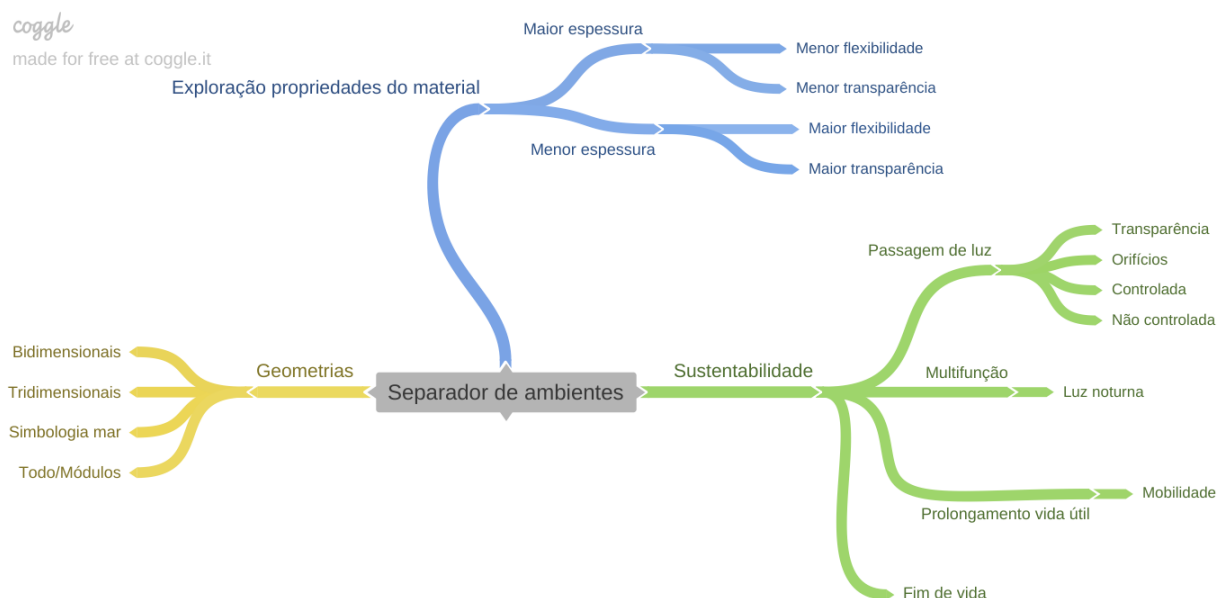


Figura 50 - *Brainstorming* com aspetos a explorar na criação de conceitos

Conceito nº1

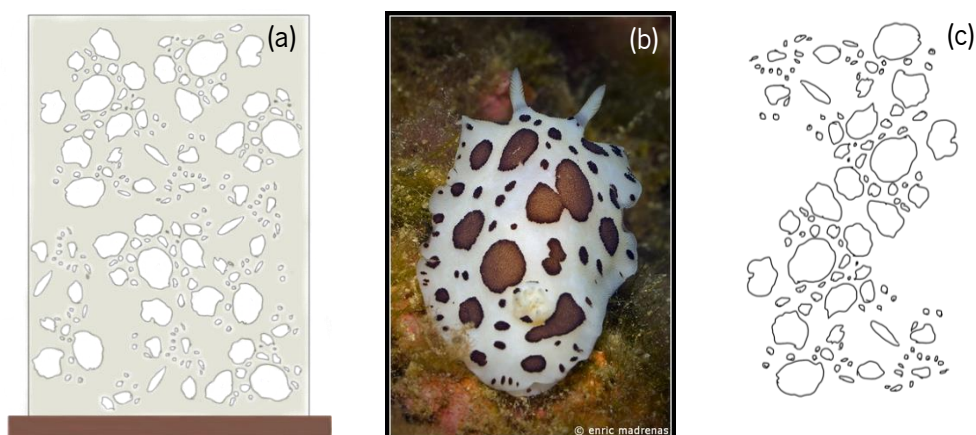


Figura 51 – Conceito nº1: a) Esboço do conceito; b) espécie – inspiração (reproduzida de Peltodoris Atromaculata, 2023);
c) esboço mimetização manchas da espécie – inspiração

O primeiro conceito desenvolvido trata-se de um separador composto apenas por dois componentes: uma base (de madeira) e um painel com orifícios cujo formato tenta mimetizar as manchas da espécie *Nudibrânquios Peltodoris atromaculata*, espécie avistada na costa açoreana (Peltodoris Atromaculata, 2023). Conjuga, por isso, a exploração de geometrias mais bidimensionais, relacionadas com o contexto marinho, com a passagem direta de luz entre ambientes através de orifícios. Tem ainda como pressuposto a exploração do material reciclado numa maior espessura, que lhe assegura uma

maior rigidez, de forma a garantir a estabilidade do painel sem que seja necessário recorrer a uma estrutura envolvente.

Considera-se que este separador poderia contribuir para a criação de jogos de luz e sombra interessantes. Adicionalmente, poderia ser incorporada luz artificial na base de madeira.

Conceito nº2



Figura 52 – Conceito nº2: a) Esboço do conceito; b) Espécie – inspiração (reproduzida de Spencer Collection, The New York Public Library, 1849-11 - 1850-06); c) Esboço mimetização manchas da espécie – inspiração

O segundo conceito consiste numa variação do primeiro, no qual apenas se alterou a espécie que serviu de inspiração para a criação dos orifícios. Tal como visível na Figura 52, neste conceito explorou-se o potencial da passagem de luz através dos contornos da espécie *Dictyota dichotoma*, que pode também ser encontrada em águas açorianas (Parques Naturais Dos Açores, s.d.).

Conceito nº3

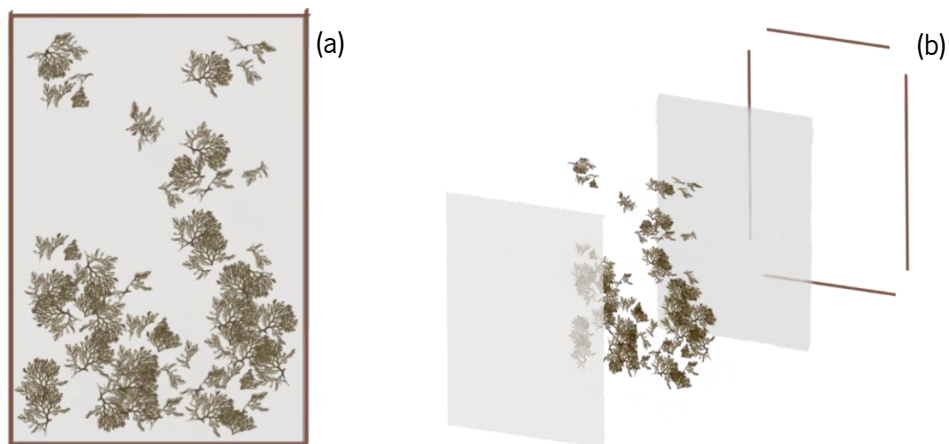


Figura 53 – Conceito nº3: a) Esboço do conceito – vista frontal; b) Esboço do conceito – vista explodida

O terceiro conceito (Figura 53) trata-se de um separador composto por duas camadas de material reciclado, uma camada de *Rugulopteryx okamurae* (alga invasora) colocada entre as mesmas - e uma estrutura envolvente.

Este conjuga a exploração de passagem de luz através da transparência do material (que seria produzido com espessura reduzida para esse desempenho) com a tentativa de incorporar as algas invasoras das águas dos Açores no produto de uma forma diferente da explorada anteriormente (incorporação das mesmas na composição do material reciclado). Isto é, pretendia-se que no fim de vida do produto, as suas partes pudessem ser tratadas independentemente sem condicionarem a viabilidade das restantes incorporarem um novo ciclo de vida.

Considera-se que a incorporação das *Rugulopteryx okamurae* desta forma no produto poderia também contribuir para a criação de jogos de luz e sombra nos ambientes.

Conceito nº4

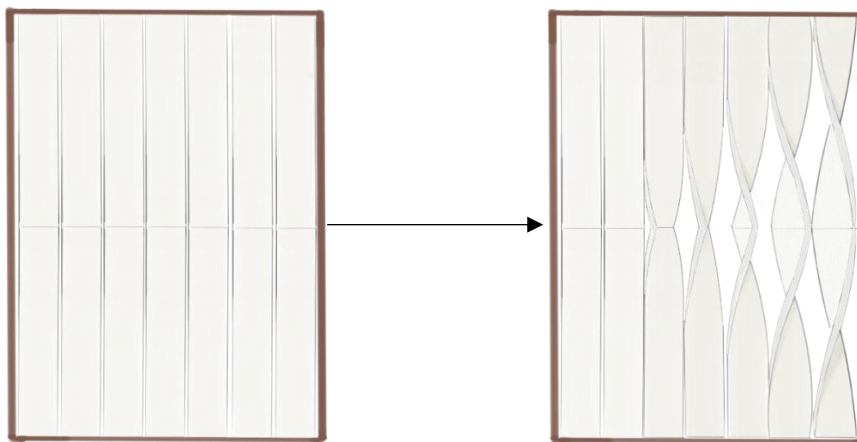


Figura 54 – Conceito nº4: Esboço

O quarto conceito consiste num separador que tem como principal ideia-base a possibilidade de o utilizador controlar a quantidade de luz que transita entre ambientes. Este está pensado para ser composto por paralelepípedos produzidos com o material reciclado criado, alinhados e unidos verticalmente dois a dois e repetidos horizontalmente.

O funcionamento deste produto passaria pela criação de um sistema que permitisse ao utilizador rodar os paralelepípedos na zona central, provocando a torção dos mesmos nessa área, enquanto as restantes extremidades ficariam fixas à estrutura. Tal como visível na Figura 54, pretendia-se que o utilizador pudesse rodar as peças, tirando partido da flexibilidade do material, e mantê-las posicionadas em diferentes ângulos, de acordo com a quantidade de luz que pretendesse obter.

Conceito nº5

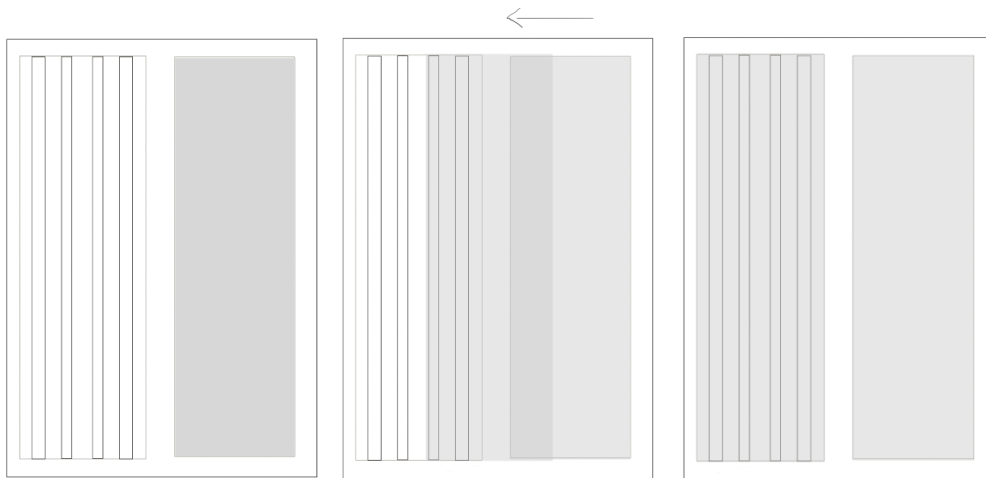


Figura 55 – Conceito nº5 : Esboço

O quinto conceito insere-se na mesma categoria do conceito anterior: um separador que possibilita ao utilizador controlar a quantidade de luz que transita entre ambientes. No entanto, possui um sistema diferente para cumprir essa função:

De um lado existe um conjunto de “barras” que proporciona a sensação de separação de espaços sem obstruir totalmente o campo de visão e consequentemente, a passagem de direta de luz entre ambientes. Este seria composto pelo material reciclado produzido com uma maior espessura (entre 5 e 10 mm). Do outro, encontram-se duas “folhas” de material sobrepostas, isto é, duas camadas de material com espessura entre 1 e 2 mm, que “filtram” ligeiramente a passagem de luz.

Optou-se pela criação de duas camadas pois, assim como indicam a Figura 55, idealizou-se que uma delas pudesse ser deslocada horizontalmente de forma que o utilizador pudesse diminuir a visibilidade e quantidade de luz vinda do lado esquerdo do separador caso assim pretendesse/conforme as necessidades do dia-a-dia.

Conceito nº6

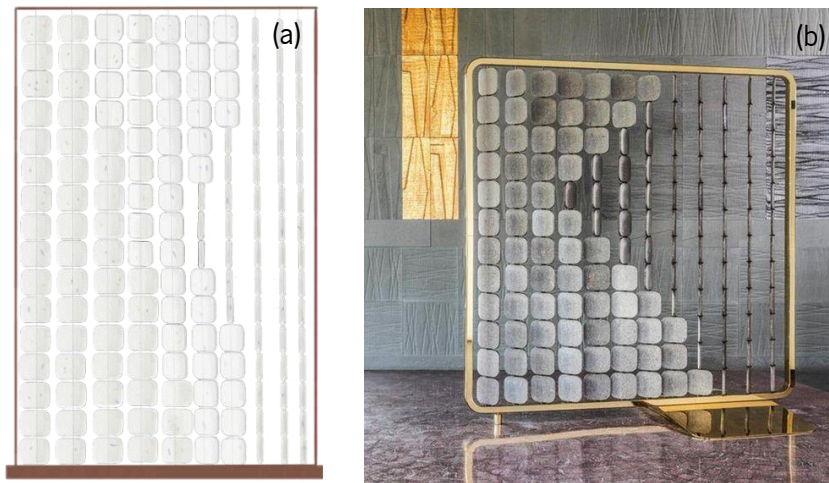


Figura 56 – Conceito nº6: a) Esboço do conceito; b) produto-inspiração (reproduzido de Dg, 2017)

O sexto conceito (Figura 56a) consiste numa adaptação de uma solução já existente (*'stipple screen'* de giles miller - Figura 56b).

Nesta, existem módulos que se repetem ao longo de eixos verticais e que podem ser rodados em torno dos mesmos. O objetivo é, mais uma vez, que o utilizador possa manipular partes do separador conforme pretender, obtendo mais/menos visibilidade e passagem de luz entre ambientes.

Este é um conceito que se considera ser desafiante na fase produtiva dos seus módulos visto que é necessário que os mesmos contenham uma abertura que os permita ser inseridos nos suportes verticais. Como tal, decidiu-se, já nesta fase, idealizar-se de que forma a produção destes módulos seria possível.

O processo idealizado encontra-se representado na Figura 57. Este poderia ser iniciado seguindo o método experimental utilizado para a produção de placas simples (colocação do espaçador sobre uma placa de base revestida com folha de Teflon – passo 1). De seguida, após colocação de metade da massa de material necessária para o preenchimento do molde, seria introduzido um varão metálico no centro do espaçador, de forma a criar um espaço negativo após a sua remoção quando terminado o processo de moldação e arrefecimento (passo 2). Por fim, seria colocada a restante massa (passo 3).

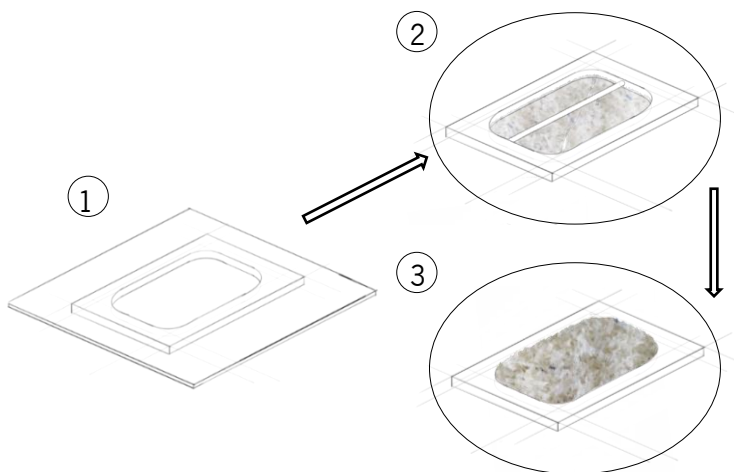


Figura 57 – Processo idealizado para produção dos módulos

Conceito nº7

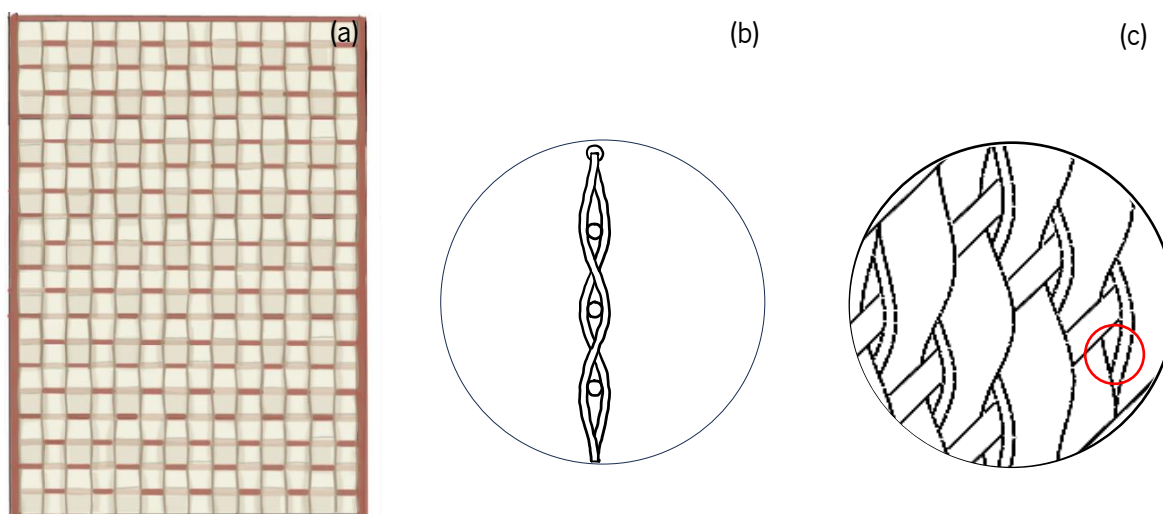


Figura 58 – Conceito nº7: a) Esboço do conceito – vista frontal; b) Esboço do conceito – vista lateral; c) Via de passagem luminosa

O sétimo conceito (Figura 58) procura encontrar uma solução que faça uso da flexibilidade do material conseguida quando este é produzido em espessuras e geometrias que a favoreçam.

É um separador composto por uma estrutura com varões de madeira onde as “folhas” de material reciclado serão “entrançadas”, de uma forma semelhante ao que acontece nas técnicas têxtil de tecelagem, sendo que neste caso os varões de madeira se tratam da trama e as “folhas” de material reciclado se tratam da teia.

Para além de existir passagem de luz através do material reciclado, acredita-se que os espaços consequentes da curvatura do mesmo - como o que se encontra assinalado a vermelho na Figura 58c - seriam uma via de passagem luminosa.

Conceito nº8

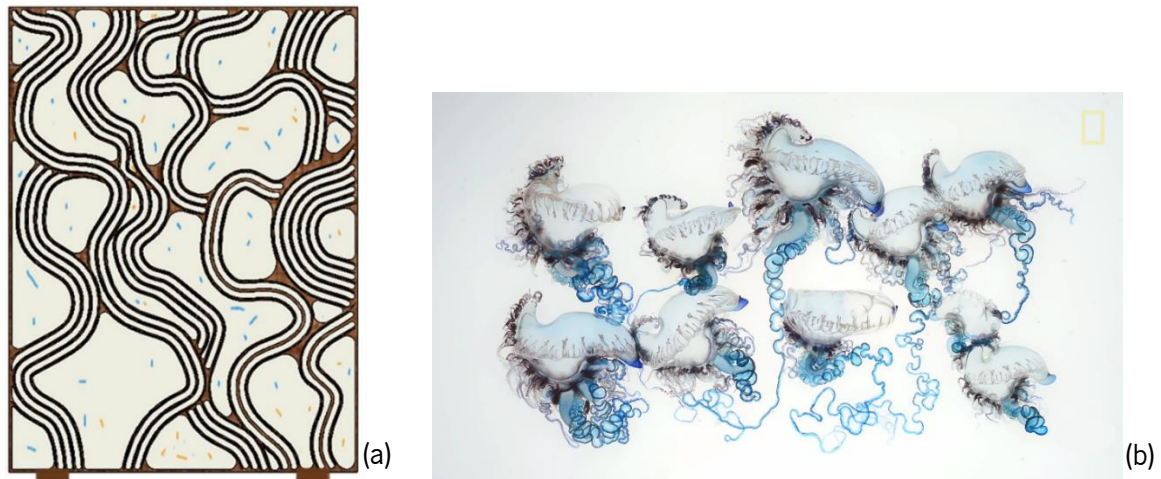


Figura 59 - Conceito nº8: a) Esboço do conceito; b) Espécie – inspiração (reproduzida de National Geographic, 2014)

O oitavo conceito (Figura 59a) surge no âmbito de tirar-se proveito, mais uma vez, das diferentes vertentes do material.

Baseia-se numa estrutura de madeira onde se encontram recortadas formas orgânicas inspiradas na curvatura dos tentáculos das Caravelas Portuguesas, de nome científico *Physalia physalis* (Figura 59b), espécie que pode ser encontrada no mar dos Açores (Viva, s.d.) e que, nos últimos anos tem dado à costa, em grande número, em várias praias do arquipélago, especialmente quando se aproxima o Verão (PÚBLICO, 2020).

No caso, para a criação das curvaturas teve-se como referência imagens (como as da Figura 60b) da série "Zoids" captadas por Aaron Ansarov, ex-fotógrafo militar, que fotografou estes seres, ainda vivos, numa mesa de luz caseira e que posteriormente procedeu à sua libertação na natureza onde foram encontrados (Matthews & Matthews, 2017).

A National Geographic (2014) deu destaque à série num vídeo intitulado de "*Stunning Video: The Portuguese Man-of-War Up Close*".

Na estrutura, entre as formas orgânicas que se encontram repetidas existem ranhuras, por onde passariam "folhas" do material reciclado com baixa espessura (cerca de 1 mm). Idealiza-se que, ao serem introduzidas nas ranhuras, estas se adaptariam à curvatura das mesmas. Estes elementos

contribuiriam para acrescentar alguma tridimensionalidade ao produto, tal como pode ser observado na Figura 61b. A sua aparência poderia ainda remeter ao seu pólipó superior, ou pneumatóforo - um saco de ar que mantém o animal a flutuar (Figura 61c).

Nos espaços entre curvas idealizou-se a colocação de placas de material com uma maior espessura. Estas funcionariam como “vitrais” no produto, permitindo a passagem de alguma luz entre ambientes.

Este é um conceito com bastante carga simbólica: as caravelas portuguesas são sifonóforos (animais constituídos por uma colónia de organismos que trabalham em conjunto). Os tentáculos são o seu segundo organismo. Estes estão cobertos de nematocistos cheios de veneno, utilizados para paralisar e matar peixes e outras pequenas criaturas. O contacto com estes tentáculos representa, para os seres humanos, uma sensação extremamente dolorosa. Até mesmo as caravelas portuguesas mortas que dão à costa podem provocar uma picada (National Geographic, 2010).

Apesar destes factos poderem afetar a perspetiva com que se observa estes seres, assim como Aaron Ansarov foi capaz de demonstrar através da sua obra, as caravelas portuguesas são organismos marinhos bastante interessantes esteticamente, graças às suas cores vibrantes, texturas e formas. A sua transparência aliada aos seus tons arroxeados e azulados fazem deste organismo algo único.

De forma semelhante, os filamentos de pesca, quando abandonados no mar, podem constituir uma ameaça para a saúde do oceano. Contudo, quando recuperados e valorizados materialmente, podem ainda representar algum valor funcional e estético.

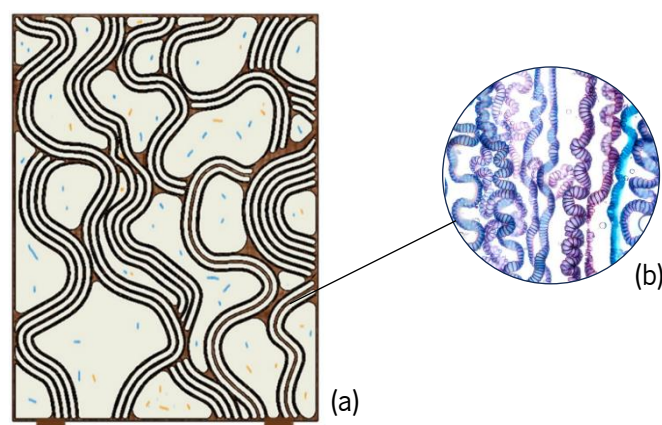


Figura 60 - Conceito nº8 : Explicação curvaturas. a) Esboço do conceito; b) Fotografia da série "Zooids" captadas por Aaron Ansarov (adaptada de Matthews, 2017)

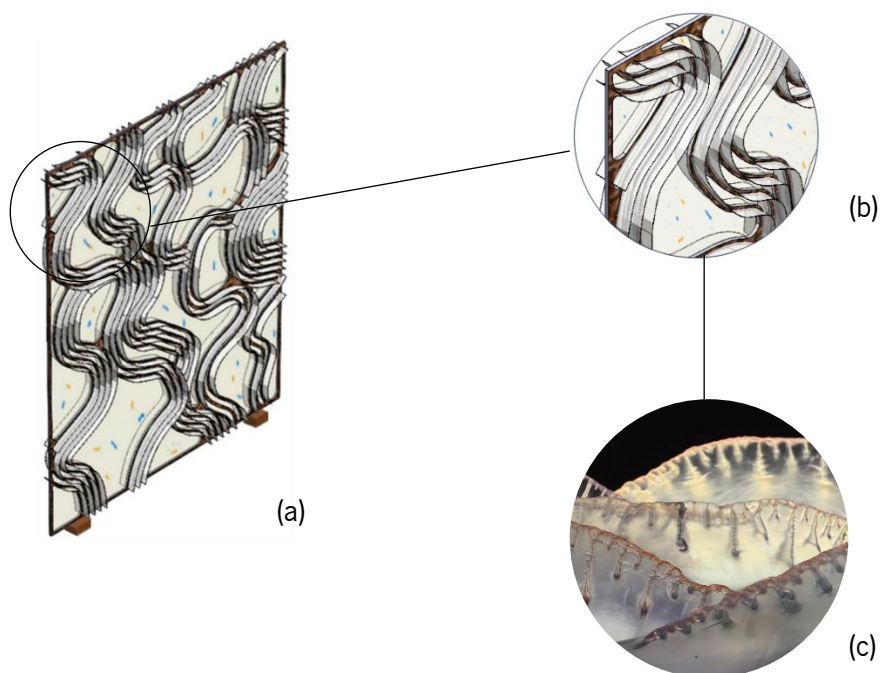


Figura 61 – Conceito n°8: a) Esboço do conceito – vista isométrica; b) pormenor “folhas” que acrescentam tridimensionalidade ao produto; c) pneumatóforo da espécie *Physalia physalis* (adaptada de National Geographic, 2014)

Conceito n°9



Figura 62 – Conceito n°9: Esboço

Por fim, no nono e último conceito explorou-se outra alternativa para a atribuição de alguma tridimensionalidade acrescida ao produto, já explorada em alguns produtos no mercado. Idealizou-se um

separador composto por um conjunto de elementos verticais criados a partir do corte, seguindo formas orgânicas, das placas de material reciclado, que, conjuntamente formam ondulações que remetem, simbolicamente, ao ambiente marinho.

Este conjunto de elementos seria suportado por uma estrutura de madeira.

5.2.4 Seleção de conceitos

A seleção de conceitos é a atividade em que os vários conceitos gerados são analisados e eliminados sequencialmente de forma a identificar o conceito mais promissor (Ulrich & Eppinger, 2015).

Existem diversos métodos para seleção de conceitos. Neste caso particular, a seleção foi algo intuitiva. Optou-se por não se recorrer a um método de seleção estruturado uma vez que na fase de geração de conceitos o nível de detalhamento dos mesmos foi baixo e por essa razão, seria difícil realizar uma justa análise comparativa dos conceitos relativamente ao grau de satisfação dos requisitos do cliente.

No entanto, considera-se que o conceito selecionado reúne pontos fortes que o fazem sobressair diante dos demais: por se tratar de um conceito que proporciona a exploração de diferentes potencialidades do material reciclado criado, pela sua relação simbólica com o ambiente marinho e pelo potencial reconhecido relativamente à satisfação das necessidades do cliente, o oitavo conceito foi o selecionado para desenvolvimento no âmbito desta dissertação.

Considera-se que, com o conjunto de atributos e o potencial para melhorias futuras que apresenta, este conceito responde, desde início a alguns dos requisitos do cliente, na medida em que: por se inspirar numa espécie característica do mar dos Açores, adequa-se ao espaço em que se insere - uma cabana construída a partir de resíduos do mar dos Açores - embora de um ponto de vista simbólico; Por contar, em grande percentagem na sua composição, com partes produzidas com o material reciclado criado, de baixa densidade, trata-se de um produto cujo peso não será um problema para a sua mobilidade.

Adicionalmente, considera-se que, pelo facto de se basear em formas orgânicas, este conceito possui, além do seu lado funcional, um carácter decorativo, podendo atuar como um apontamento de natureza no interior da cabana.

Assim sendo, conclui-se que existe ainda margem para aprimoramento do conceito no sentido de alcançar resposta para os requisitos referentes à amplitude dos espaços e à estabilidade do produto.

5.2.5 Teste de conceito

Após selecionar o conceito a desenvolver, é necessário testá-lo de forma a averiguar se as necessidades do cliente foram, de facto, satisfeitas e identificar quaisquer lacunas que devam ser corrigidas durante o desenvolvimento posterior. O teste de conceitos está, por isso, estreitamente relacionado com a criação de protótipos (Ulrich & Eppinger, 2015).

Nesta fase de trabalho desenvolveu-se, então, um pequeno protótipo que serviu como “prova de conceito”. Isto é, permitiu avaliar se o oitavo conceito seria viável ou se necessitaria de ser modificado para atingir um resultado que fosse satisfatório. Com este pequeno protótipo pretendeu-se ainda testar se o material reciclado teria o desempenho pretendido em ambas as funções que exercerá (“folha” e “vitral”) e se as dimensões de algumas partes da estrutura de madeira, idealizadas, de grosso modo, na fase de geração de conceitos, necessitariam de ser ajustadas.

5.2.5.1. Materiais e dimensões

Definiu-se que a espessura da estrutura de madeira seria de 10 mm (obtida a partir da junção de duas placas de contraplacado de 5 mm de espessura, de forma que o seu corte fosse possível executar na máquina laser do Instituto de Design de Guimarães - IDEGUI). De seguida, estabeleceu-se que cada forma orgânica que se encontra repetida teria uma largura de 11 mm, sendo que no seu centro seria executada uma ranhura para passagem das “folhas de material”, moldadas com cerca de 1 mm de espessura. Por fim, determinou-se que a largura dos espaços negativos entre estas formas, onde serão colocadas placas de material reciclado de 3 mm de espessura, seria de 20 mm e definiu-se que, neste teste de conceito, estas seriam encaixadas à pressão nesses espaços negativos, sendo que posteriormente seria essencial elaborar uma solução aprimorada para a colocação e fixação das mesmas no produto.

Foi mantida uma margem de 10 mm em relação às extremidades das placas e procurou-se criar ângulos entre a mesma e as formas orgânicas que proporcionassem uma área de contacto entre esses elementos suficiente para assegurar resistência no suporte das formas. Evitaram-se, assim, os ângulos retos.

Para a concretização deste teste adquiriram-se duas placas de contraplacado de 600 x 300 x 5 mm (Figura 63a) e moldou-se uma placa de 200x200x3 mm e outra de 250x250x1 mm. Os cortes realizados não foram necessariamente cortes idênticos aos do conceito desenvolvido, tratam-se de uma adaptação dos mesmos à área das placas adquiridas. Na Figura 63b pode ver-se, em pormenor, uma das regiões do pequeno protótipo realizado após colocação do material moldado com 3 mm de espessura e com 1 mm de espessura nos devidos locais destinados.

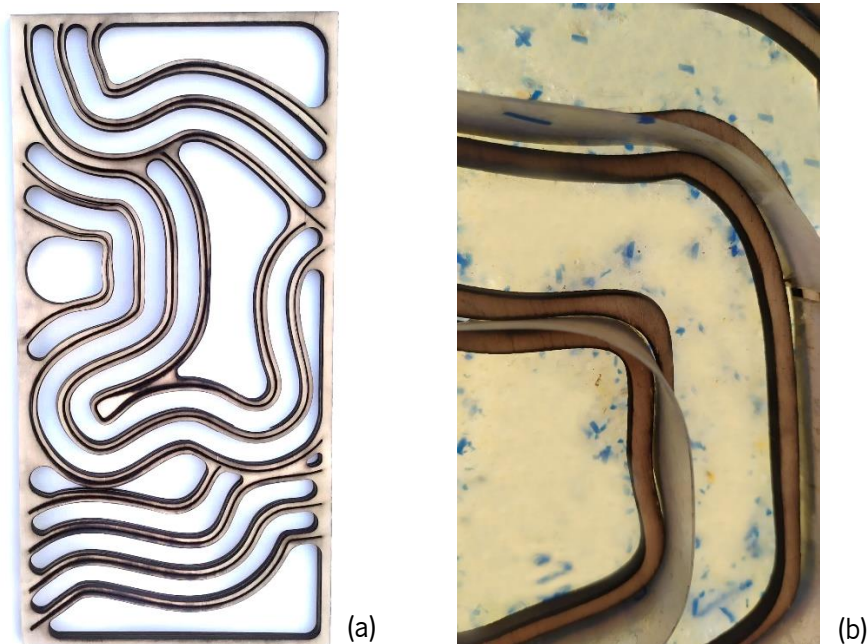


Figura 63: Protótipo prova de conceito: a) placas de contraplacado com os cortes realizados; b) pormenor de região após colocação dos restantes materiais

5.2.5.2. Problemas encontrados e soluções consequentes

Após análise do resultado obtido, pôde concluir-se que existiam vários aprimoramentos a realizar. Apesar de o material reciclado moldado na espessura de 1 mm se comportar como esperado (boa flexibilidade que o permitiu adaptar-se aos variados ângulos das formas orgânicas criadas) o material reciclado moldado com 3 mm de espessura não permitiu passagem de luz suficiente para iluminar, de forma satisfatória, as “folhas de material”, criando alguma sombra do lado oposto ao da fonte de luz (como é visível na Figura 63b).

Reduzir a espessura das placas dos “vitrais” poderia resolver o problema, no entanto, identificou-se aqui uma oportunidade de melhorar também a questão relacionada à amplitude do espaço, que poderia estar a ser comprometida dada a ausência de espaços negativos no produto, que permitissem alguma visibilidade entre ambientes. Nesse sentido, decidiu-se que ao invés de nos espaços negativos entre as formas orgânicas que se repetem serem colocadas placas de material reciclado, esses espaços passariam a estar vazios. Contudo, de forma a que a visibilidade entre ambientes não fosse excessiva, a largura desses espaços seria diminuída para 15 mm. De ressaltar que esta alteração apenas se verificará nos espaços entre as formas orgânicas que se repetem, sendo que nos restantes espaços negativos se irão manter os “vitrais”.

Ademais, nesta fase foi possível identificar uma potencial solução para o método de colocação e fixação desses mesmos “vitrais” à estrutura: assim como se sucedeu na concretização do teste de conceito, construir a estrutura através da junção de duas metades e subtrair, em cada uma delas, metade da espessura das “placas-vitral num espaço de 2,5 mm relativamente às arestas dos espaços negativos a preencher. Esta alteração implica não só o aumento da largura das formas orgânicas como uma ainda maior atenção aos ângulos entre elementos, visto que a subtração de espessura terá de ser realizada com recurso a uma fresa CNC que, dada a sua geometria, não executa cortes com ângulos retos.

Adicionalmente, percebeu-se que poderia ser vantajosa, quer funcional como esteticamente, a adição de um caixilho em torno da estrutura. Funcionalmente, este elemento é uma via para o aumento da área de contacto entre a estrutura e os pés de suporte, garantindo mais estabilidade do produto. Esteticamente, oferece mais robustez aparente ao produto e um melhor acabamento visual.

Por fim, esta última modificação, por representar aumento do peso do produto, levou a que se recuperasse a ideia de incorporar rodas no separador de ambientes para facilitar a sua mobilidade. Contudo, para garantir que a estabilidade do separador não fosse comprometida, os pés de suporte mantiveram-se e foram modificados, de forma a poderem incorporar as rodas “no seu interior”, sem riscar o chão aquando das deslocações do produto, sendo que anteriormente tinham sido idealizados como simples retângulos.

Após idealização de todas as modificações acima mencionadas, desenvolveu-se uma nova representação visual do produto, visível na Figura 64 e 65.

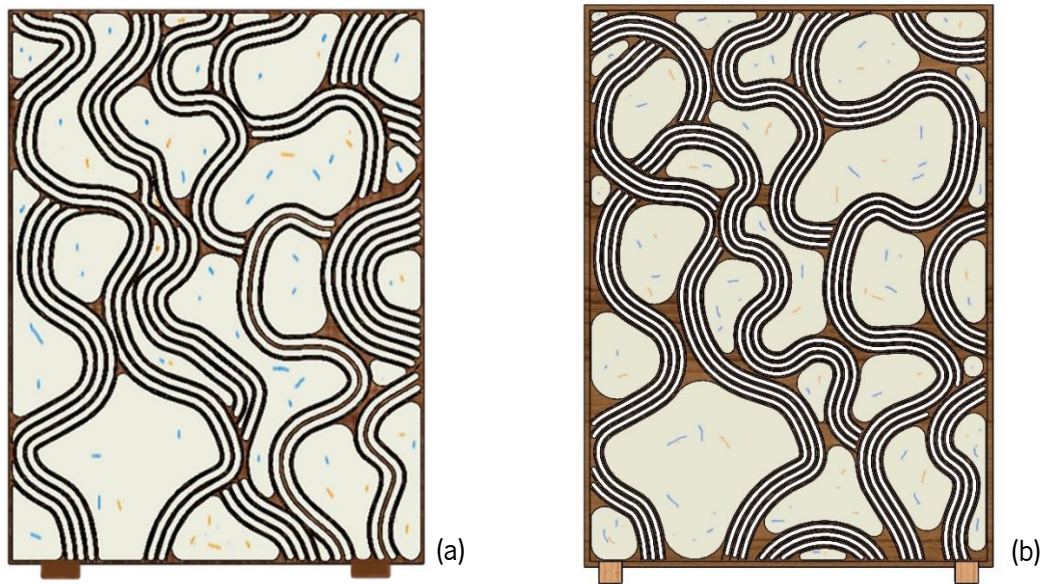


Figura 64 – Representação visual do produto: a) sem modificações; b) com modificações

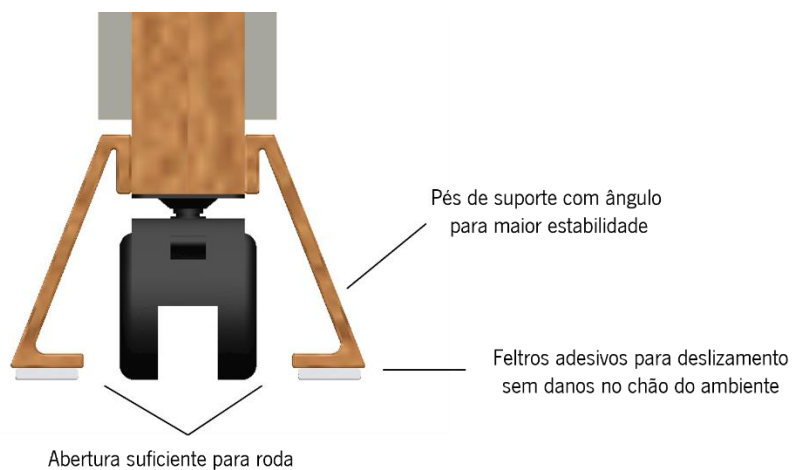


Figura 65 – Representação visual do produto: pormenor sistema de suporte e mobilidade

Pode, então, concluir-se que o produto passará a ser composto por seis principais componentes: pés; rodas; caixilho; estrutura; “vitrais” e “folhas” (Figura 66).

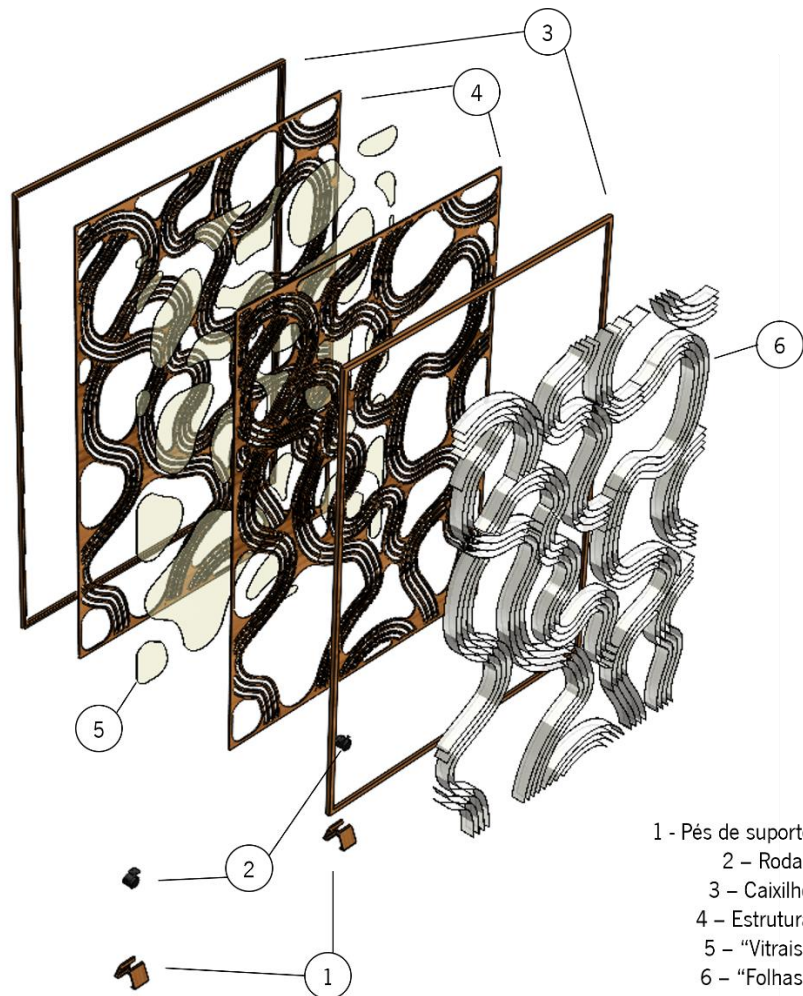


Figura 66 – Vista explodida do produto e identificação dos principais componentes

5.3 Design ao nível do sistema

A fase de Design ao nível do sistema inclui a definição da arquitetura do produto e a decomposição do produto em subsistemas e componentes.

A arquitetura do produto trata da organização dos elementos funcionais do produto em blocos físicos e das suas interações (Ulrich & Eppinger, 2015).

Considera-se que existem dois grandes blocos no separador a ser desenvolvido: um responsável pela estabilidade, segurança e mobilidade do separador e outro que assegura a adequação do produto ao espaço e que a amplitude do mesmo e a livre circulação não é comprometida. Esta informação e a que diz respeito às relações que existem entre os principais componentes do produto, pode ser analisada na Figura 67. Como pode ver-se na figura, o componente "estrutura" relaciona-se diretamente com três

outros componentes, sendo, por isso, o componente que mais será condicionado pelas especificações dos restantes.

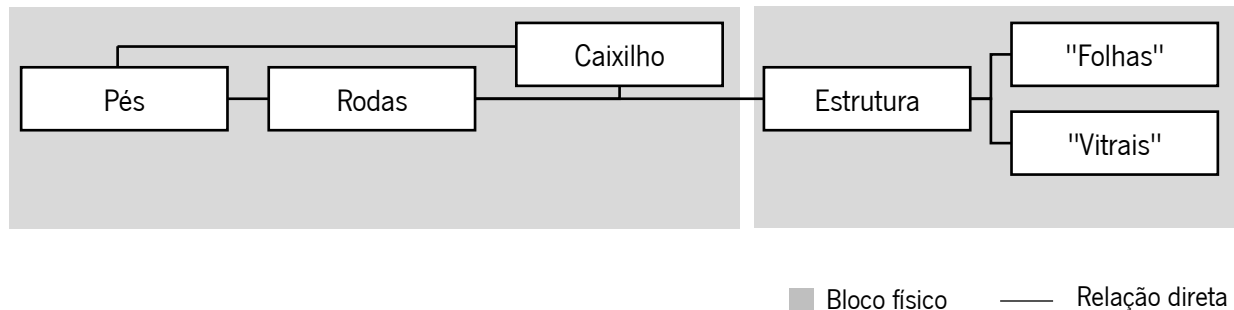


Figura 67 – Arquitetura do produto: identificação de blocos físicos e relações entre componentes

5.4 Design de detalhes

A fase de projeto de pormenor inclui a especificação completa da geometria, materiais e tolerâncias de todas as peças únicas do produto e a identificação de todas as peças padrão a serem compradas aos fornecedores. Para além disso, nesta fase definem-se os planos de processo para o fabrico e montagem do produto (Ulrich & Eppinger, 2015).

Primeiramente, começou por identificar-se as peças únicas e as peças padrão, de forma a perceber-se para quais componentes seria necessário definir pormenores e para quais seria necessário encontrar fornecedor. Esta distinção entre elementos do separador encontra-se representada nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Peças únicas

Pés de suporte
Caixilho (composto por duas partes iguais)
Estrutura (composta por duas partes espelhadas)
"Vitrais"
"Folhas"

Tabela 17 – Peças padrão

Rodas
Parafusos para fixação das rodas
Parafusos para fixação pés
Parafusos para fixação caixilho
Feltro adesivo

Previamente ao detalhamento de cada peça única, e à determinação das peças padrão específicas a adquirir, foi essencial definir concretamente as dimensões gerais do produto.

Estabeleceram-se como referência as dimensões da metade fixa da janela representada na Figura 68, que permite acesso ao deck exterior: tendo em conta que se pretende que seja um produto móvel, que possa ser utilizado em mais do que um local (ex: entre a mesa e o sofá da sala; entre a sala e o deck exterior), e que permita a livre circulação dos hóspedes entre ambientes, considerou-se que o comprimento e altura do separador deveriam ser definidos de acordo com as dimensões da metade fixa da janela que permite a passagem da sala para o deck com o tanque.

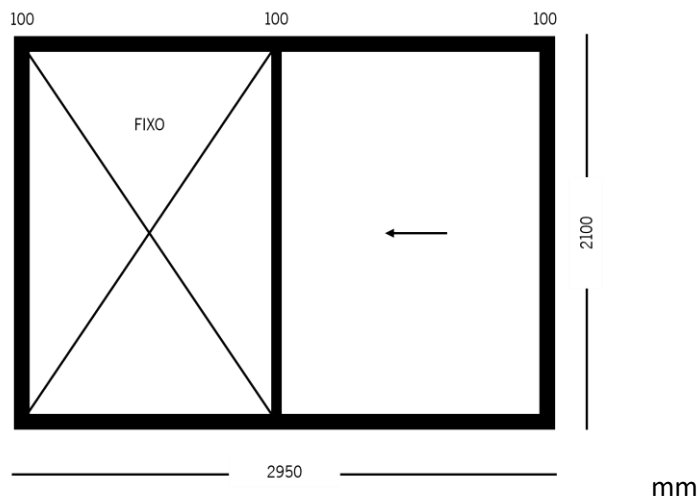


Figura 68 – Dimensões janela sala - deck exterior

Tendo essas dimensões (2100 x 1475 mm) como base, e de forma que o separador ocupasse a área necessária para cumprir as suas funções sem interferir com o bom funcionamento da janela, decidiu-se que as dimensões gerais do produto, relativamente à sua altura e largura seriam de 2034 x 1430 mm.

Sendo o caixilho o componente que delimita a largura do separador de ambientes, a sua largura foi diretamente definida. No entanto, a sua altura é condicionada pela altura das rodas de suporte (Se x = altura rodas, então altura do caixilho = $2033,5 - x$ mm).

Assim sendo, foi importante selecionar, desde logo, quais seriam as rodas a adquirir. Optou-se por eleger rodas giratórias com bloqueio (isto é, com eixo de 360° e travão), de forma que o separador pudesse ser movido, mas também estabilizado. Apesar dos pés de suporte não permitirem a rotação completa das rodas, considerou-se que ter parte desse movimento seria útil para deslocar o produto mais facilmente.

Teve-se ainda em consideração o peso máximo suportado pelas mesmas para seleção do modelo a utilizar. O modelo selecionado foi então “Roda com travão Standers 360° 50mm 40kg Nylon preto”, vendido e expedido pelo Leroy Merlin (selecionaram-se umas rodas que suportam um peso um pouco acima do estimado para o produto para garantir um fator de segurança acima de 1).

Visto que estas têm uma altura total de 62,5 mm, a altura do caixilho ficou definida como 1971 mm.

Para além de afetarem a altura do caixilho, as rodas tiveram ainda influência na definição da espessura do mesmo. Pretendia-se maximizar a área de contacto entre esses componentes e, por essa razão, estabeleceu-se que o caixilho teria uma espessura total de 38 mm – equivalente à largura da placa de acoplamento das rodas. Esta será conseguida pela junção de duas peças idênticas com 19 mm de espessura.

Para a instalação das rodas no produto são necessários, segundo indicação do fornecedor (Leroy Merlin), os “Parafusos Standers redondo PZ cromado $\varnothing 4 \times 16$ mm”.

Posto isto, decidiu-se que o caixilho teria uma margem de 20 mm de altura, para uma segura instalação das rodas.

Para finalizar a especificação completa da geometria do caixilho foi necessário estabelecer, ainda, a espessura dos componentes “estrutura 1” e “estrutura 2”, visto que este terá de possuir um desnível, em cada uma das duas partes, para possibilitar o encaixe das mesmas.

Considerando as dimensões até então estabelecidas e os processos produtivos a que o caixilho e a estrutura terão de ser submetidos (usinagem CNC e furação para encaixe de parafusos), a escolha do material constituinte para os mesmos recaiu sobre o MDF, um material bastante utilizado na

fabricação de mobiliário, com superfície macia e homogênea, facilmente trabalhado, com boa estabilidade dimensional, e, geralmente, mais acessível e sustentável do que outras alternativas sendo um ótimo substituto da madeira maciça (MDF, s.d.).

Analisaram-se as espessuras de MDF disponíveis em vários fornecedores e, tendo em conta a oferta, considerou-se que uma espessura de 6 mm para cada uma das partes da estrutura seria satisfatória, visto que para encaixe dos “vitrais”, de 3 mm de espessura, é necessário criar desníveis de 1,6 mm de altura (dando margem para alguma irregularidade na espessura das placas de material reciclado moldadas) e 2,5 mm de largura na face que ficará voltada para o interior do separador (de forma a ficarem frente-a-frente e possibilitarem o encaixe dos elementos necessários).

Desta forma, cada parte do caixilho terá um desnível de 6 mm, num espaço de 10 mm afastado das extremidades, para encaixe de uma parte da estrutura.

Por fim, uma das partes do caixilho terá de conter 16 furações (cinco ao longo da altura de cada viga vertical e três ao longo de cada viga horizontal) para colocação de parafusos que serão responsáveis por uni-la à sua metade e, conseqüentemente, manter quer as peças da estrutura, quer os “vitrais” e as “folhas” no devido lugar. Ambas as partes do caixilho precisarão de conter quatro outras furações para passagem dos parafusos que irão unir o caixilho aos pés de suporte (estes serão colocados pelo interior do caixilho de forma a não ficarem visíveis nos pés de suporte).

Acerca dos pés de suporte, também estes têm as suas dimensões condicionadas pelas dimensões das rodas: a sua altura total equivale à soma da margem de 20 mm de altura do caixilho com a altura das rodas, sendo que é depois subtraída a esta cota a espessura do feltro adesivo que será colado aos pés de suporte para que estes, aquando da movimentação do Separador de Ambientes proporcionada pelas rodas, não risquem o chão; a sua largura está pensada para encobrir totalmente a roda quando o Separador é visto de frente. A sua geometria está projetada para que permita algum movimento giratório das rodas.

Passando agora para o detalhamento das peças “estrutura 1” e “estrutura 2”, nesta fase restava apenas estabelecer as dimensões dos cortes para possibilitar o encaixe das “folhas” nas mesmas.

Como previamente mencionado, era necessário aumentar a largura das formas orgânicas que teriam a meio uma ranhura para passagem das “folhas” – ranhura essa que deverá ter 1,5 mm de largura (considerando irregularidades de espessura na produção das placas de 1 mm de espessura). Estas passaram a deter 15 mm de largura, ao invés de 11 mm.

Todos os cortes realizados nestas peças serão executados respeitando uma margem de 15 mm em relação à extremidade da placa de MDF.

Por fim, tanto os “vitrais”, como as “folhas” serão produzidas de acordo com as dimensões resultantes do passo anterior (cortes das formas orgânicas), sendo que os “vitrais” possuirão cerca de 3 mm de espessura e as “folhas” cerca 1 mm de espessura.

No Anexo 3 podem ver-se os desenhos técnicos que dizem respeito às dimensões gerais do separador montado, do caixilho e da estrutura, sendo que no caso do caixilho e da estrutura apenas se representou uma das partes dos mesmos, visto a outra parte ser idêntica (desconsiderando as furações para parafusos) ou espelhada, respetivamente).

Quanto às cotas que foram inscritas nos desenhos usando apenas os seus valores nominais, estas estão sujeitas a um toleranciamento geral, expresso na legenda do desenho.

No Anexo 4, por sua vez, podem obter-se informações mais detalhadas relativamente às peças normalizadas (dimensões, unidades por produto e fornecedores).

Por fim, no Anexo 5 encontram-se os planos de processo para o fabrico das peças únicas do produto e montagem do mesmo.

Considerando toda a informação supramencionada, tem-se que as especificações finais do Separador de Ambientes são as indicadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Especificações finais Separador de Ambientes

Dimensões gerais	1430 x 2033,5 x 120 mm
Geometrias	Orgânicas
Peso	20 kg (aproximadamente estimado com recurso ao comando “mass” do Solidworks)
Cores	Castanho, “branco”, azul, laranja, preto
Aberturas/ Transparência dos materiais	Sim
Rodas	Sim
Materiais	Material reciclado, MDF, Nylon, Aço inoxidável, Feltro adesivo

5.5 Produto em contexto de utilização – imagens virtuais

A fim de se poder comunicar de uma melhor forma alguma da informação supramencionada relativa ao produto, recorreu-se a um software de modelação 3D e a ferramentas de renderização para criar representações realistas do produto e da sua relação com o espaço a que se destina. De referir que o espaço modelado se trata apenas de uma versão adaptada de um ambiente da eco-cabana projetada pelo Nieta Atelier. Esta versão adaptada é baseada nas imagens do vídeo de Youtube de cariz público “*MODELO AZORES ECOBLUE BY NIETA ATELIER*”.

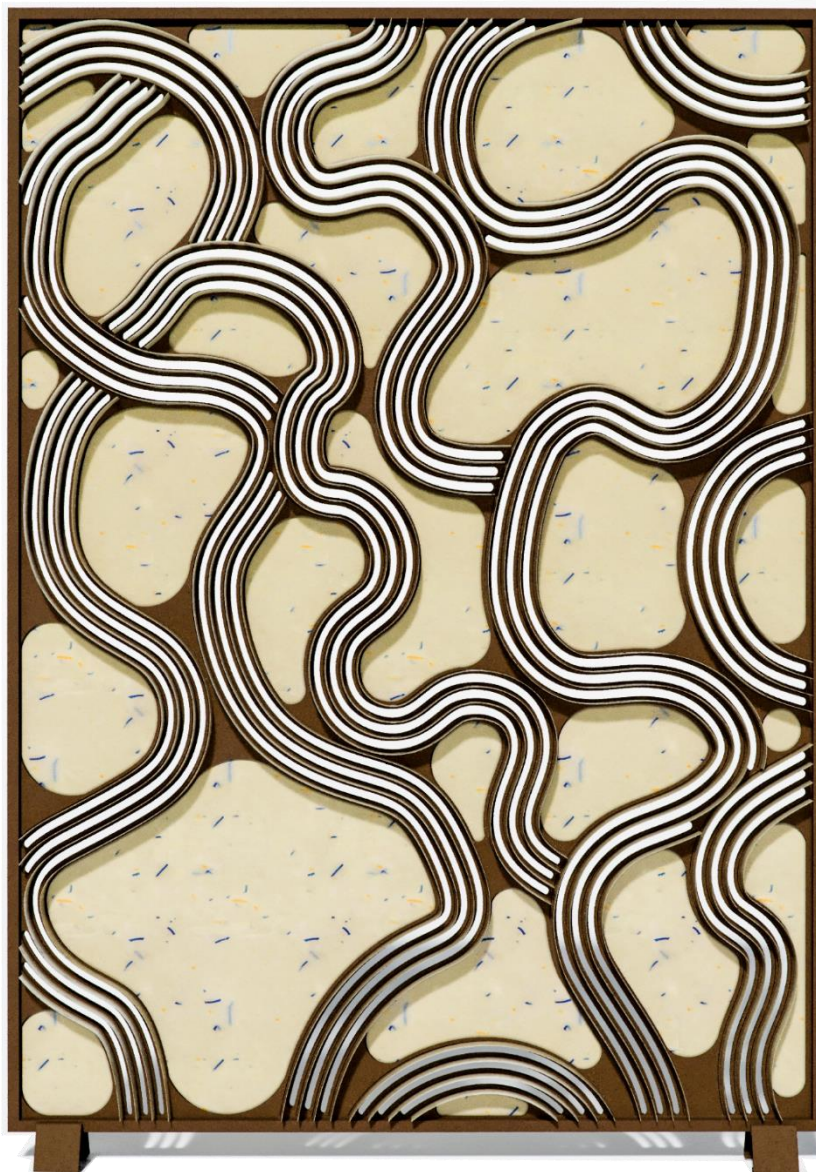


Figura 69 – Separador de Ambientes: Vista frontal



Figura 70 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 1 (vista lateral)



Figura 71 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 1 (vista sala estar para sala jantar/escritório)



Figura 72 – Separador de Ambientes: Opção de posicionamento 2 (vista sala estar para exterior)



Figura 73 – Separador de Ambientes: vista de pormenor

5.6 Testagem e refinamento – protótipo físico

A última etapa do trabalho desenvolvido nesta dissertação foi a de prototipagem do produto. Dada a janela temporal disponível para a sua execução e os recursos materiais à disposição, o protótipo realizado à sua escala real mas trata-se apenas da representação de uma parte do Separador e não da sua totalidade. A parte seleccionada para prototipagem encontra-se assinalada na Figura 74 e corresponde a 1/3 da altura e largura da estrutura. O Caixilho, as rodas e os pés foram adaptados a esta secção seguindo as mesmas relações existentes no produto verdadeiro.

Nas Figuras 75 a 78 podem ver-se fotografias do protótipo realizado e respetivos pormenores.

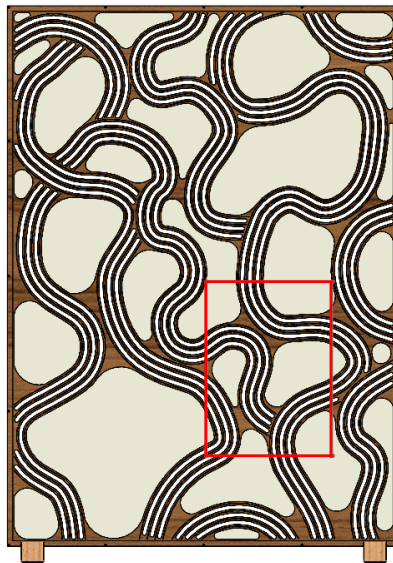


Figura 74 – Parte do Separador seleccionada para prototipagem

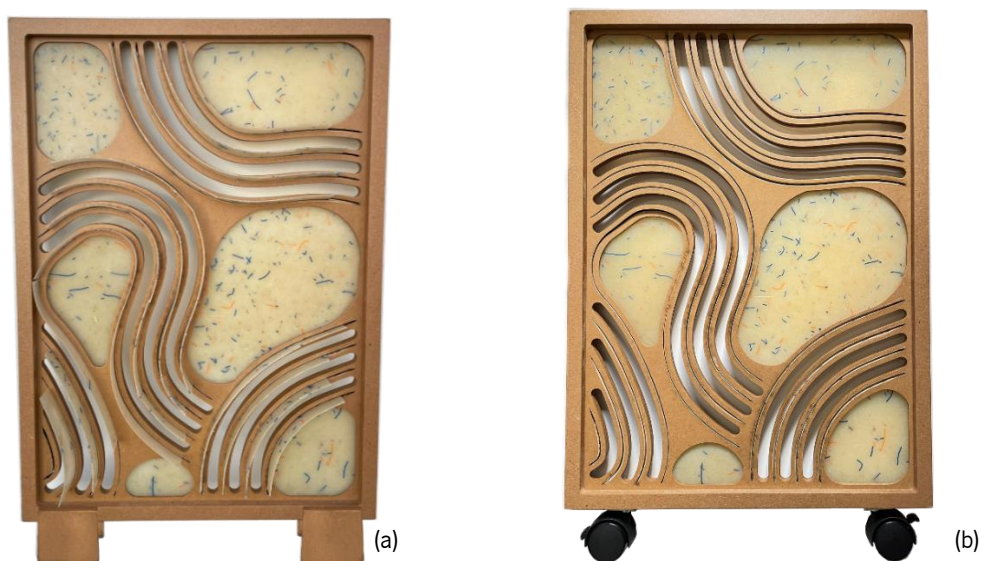


Figura 75 – Protótipo Separador de Ambientes: a) com pés de suporte; b) sem pés de suporte

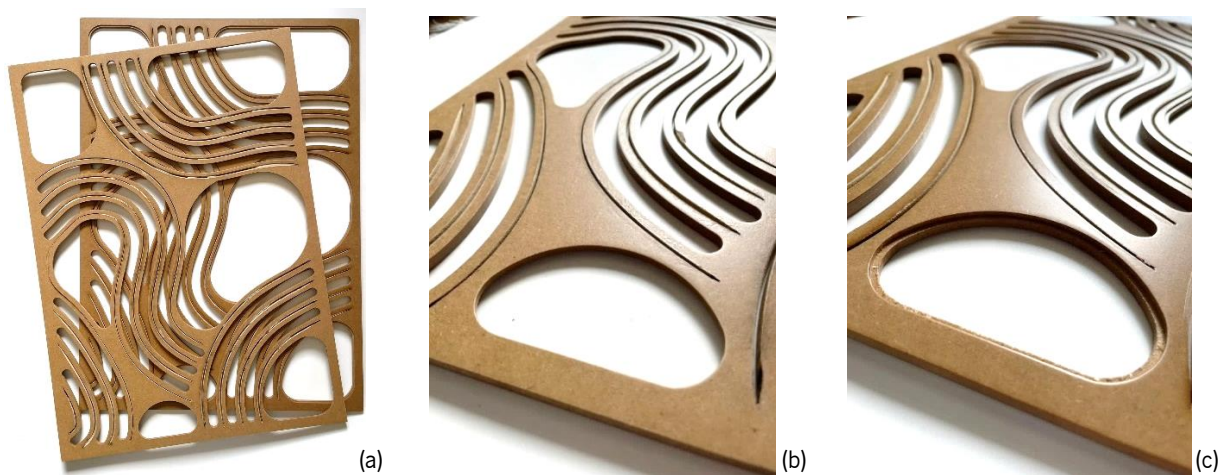


Figura 76 – Estrutura: a) ambas as partes; b) parte 1(desníveis na face oposta); c) parte 2 (desníveis na face frontal)

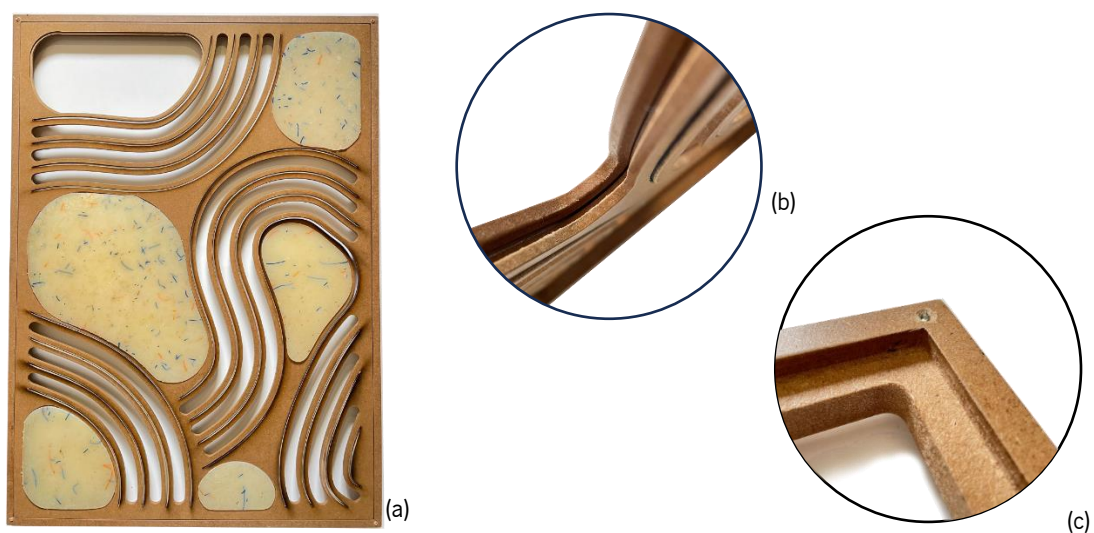


Figura 77 – Montagem: a) Caixilho 1 + Estrutura 1 + “vitrals”; b) Pormenor da junção da Estrutura 1 e Estrutura 2 sem “vitrals” para perceção do espaço criado para encaixe do mesmo; c) Pormenor Caixilho

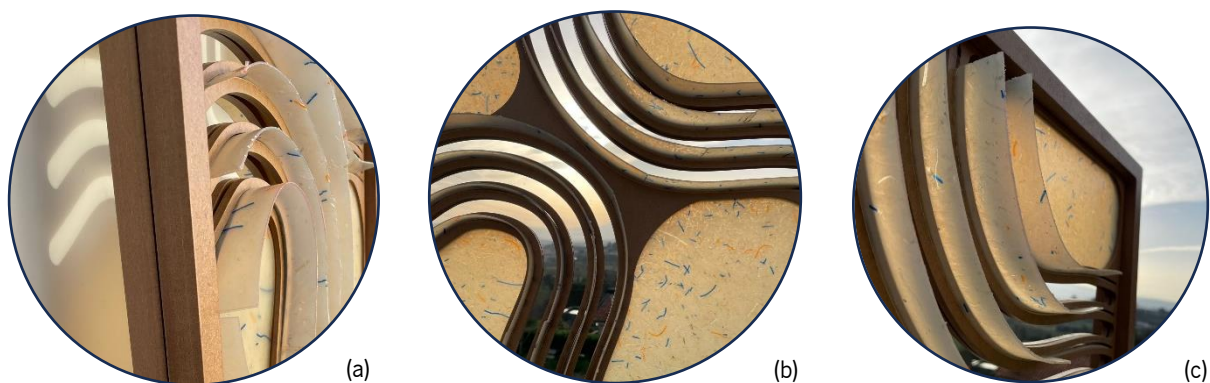


Figura 78 – Pormenores comportamento do produto consoante direção da luz: a) luz frontal; b) contraluz; c) contraluz

De referir que os processos produtivos utilizados para conceção deste protótipo foram os mesmos que se definiram para a produção do produto real à exceção do processo utilizado para executar as ranhuras de 1,5 mm.

Na empresa onde se produziu as partes da Estrutura não existiam fresas de CNC abaixo de 5 mm de diâmetro e, por essa razão, as ranhuras para passagem das “folhas” de material reciclado foram executadas a laser. Desta forma, existiram algumas dificuldades em alinhar perfeitamente os cortes realizados a fresa CNC e os cortes realizados com recurso a máquina laser.

De salientar ainda que aquando da produção do produto para a eco-cabana seria prudente encontrar uma empresa com capacidade para produzir placas de material reciclado com maiores dimensões, visto que alguns dos espaços negativos que se destinam a serem preenchidos por placas de 3 mm possuem uma dimensão maior do que 250 x 250 mm (molde utilizado para produção das placas do protótipo). O mesmo acontece com o comprimento das ranhuras de 1,5 mm.

Por fim, importa referir que com a realização do protótipo pôde perceber-se que talvez fosse necessário seleccionar outro material para o componente “pés de suporte” visto que se considera que estes, na geometria atualmente definida, não teriam resistência mecânica suficiente e nem ofereceriam a estabilidade pretendida ao separador, quando produzido na sua totalidade, se executados em MDF. Aumentar o ângulo de inclinação deste componente poderia também beneficiar a estabilidade.

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Tal como descrito, o trabalho realizado no âmbito desta dissertação foi dividido em duas principais fases distintas: a primeira envolveu o desenvolvimento de um material reciclado a partir dos resíduos recolhidos do mar do Açores (monofilamentos de pesca, mais concretamente) e a segunda foi relativa ao desenvolvimento de um produto (para o showroom do projeto Azores EcoBlue) que integrasse esse mesmo material.

Pretendia-se, portanto, avaliar a viabilidade de desenvolver produtos que promovam a reintrodução de materiais recuperados do ambiente marinho na economia (economia circular).

De um modo geral, concluiu-se que é possível desenvolver, para além das soluções já exploradas por algumas empresas e projetos, produtos inovadores que integrem materiais criados a partir de resíduos como os monofilamentos de pesca perdidos/abandonados no mar, tirando partido das suas melhores propriedades e considerando, simultaneamente, o seu histórico e consequências associadas.

No entanto, aferiu-se que o processo de reciclagem mecânica deste tipo de resíduos não é uma tarefa simples: a fase de preparação do material para um novo ciclo de moldação revelou-se bastante demorada e exigente a nível de mão-de-obra, principalmente devido ao nível de contaminação com elementos orgânicos e inorgânicos das misturas de monofilamentos recolhidas. Ademais, os equipamentos utilizados não foram os mais indicados para o tratamento de materiais como alguns tipos de PA6 modificados para um melhor desempenho mecânico contra tipos de esforços que ocorrem quer no seu contexto de utilização, quer precisamente nas operações de reciclagem mecânica.

Para além disso, outro fator que contribuiu para a complexidade da reciclagem dos resíduos em questão foi a heterogeneidade de temperaturas de fusão das tipologias de monofilamentos presentes na amostra recolhida e estudada (sendo que nem todas as tipologias foram caracterizadas química e termicamente). A temperatura utilizada para a moldação por compressão do material reciclado foi de 225°C e resultou na fusão dos dois tipos de monofilamentos predominantes na amostra. Esta temperatura permitiu a produção de placas que preencheram as cavidades dos moldes utilizados mas onde é notória a não-fusão de algumas porções de material (que acabaram por atribuir um aspeto visual interessante ao material).

No entanto, importa salientar que resíduos como os estudados dão o mote para a conceção de produtos com bastante valor simbólico e decorativo, como é o caso do Separador de Ambientes criado nesta dissertação.

Tendo em conta as dificuldades encontradas ao longo de todo o processo, como trabalho futuro seria pertinente encontrar soluções mais adequadas para o tratamento de materiais como os estudados principalmente no que toca às etapas de redução de dimensão e lavagem.

Para além disso, fazer ensaios de envelhecimento ao material reciclado seria necessário para fazer uma estimativa do tempo de vida útil do produto criado.

Contabilizar os custos associados a todo o processo de reciclagem, desde o momento em que os resíduos são recolhidos do ambiente até à sua integração num produto, seria um importante contributo para o dimensionamento do impacto da poluição marinha e consequentes tentativas de a minimizar.

Por fim, produzir o Separador de Ambientes projetado neste trabalho com as suas dimensões reais, para que possa fazer parte do modelo protótipo de eco-cabana do projeto Azores EcoBlue, seria uma próxima etapa. A utilização de recursos externos à universidade poderá ser necessária (principalmente para a produção de placas de reciclado com maiores dimensões caso não se optasse pela soldadura como forma de aumento de área de material).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anzol - DGRM. (s.d.). <https://www.dgrm.mm.gov.pt/anzol>

Artes e Utensílios de Pesca - DGRM. (s.d.). <https://www.dgrm.mm.gov.pt/artes-e-utensilios-de-pesca>

Azores EcoBlue. (s.d.). <https://ecobluegroup.com/azores-ecoblue/>

Bahrami, M., Abenójar, J., & MartíNez, M. Á. (2021). Comparative Characterization of Hot-Pressed Polyamide 11 and 12: Mechanical, thermal and durability properties. *Polymers*, *13*(20), 3553. <https://doi.org/10.3390/polym13203553>

Baker, S. (2023, December 15). *How does plastic pollution affect marine life?* Fauna & Flora. <https://www.fauna-flora.org/explained/how-does-plastic-pollution-affect-marine-life/>

Basurko, O. C., Gabiña, G., Andrés, M., Rubio, A., Uriarte, A., & Krug, I. (2015). Fishing for floating marine litter in SE Bay of Biscay: Review and feasibility study. *Marine Policy*, *61*, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.07.010>

Bloomming. (s.d.). *Freestanding room dividers Archives.* <https://bloomming.com/en-pt/room-dividers/freestanding-room-dividers>

Brodbeck, L. (2016). Mechanisms to support the recycling/reuse of fishing gear and the prevention of gear becoming lost/abandoned at sea. - Barrier assessment. http://www.circularocean.eu/wp-content/uploads/2017/09/Barrier-assessment_FINAL.pdf

Charter, Martin and Carruthers, Ros (2022) Products from waste fishing nets: accessories, clothing, footwear, home ware and recreation. Project Report. Centre for Sustainable Design (CfSD). <https://research.uca.ac.uk/5734/>

Cerbule, K., Grimaldo, E., Herrmann, B., Larsen, R. B., Brčić, J., & Vollstad, J. (2022). Can biodegradable materials reduce plastic pollution without decreasing catch efficiency in longline fishery? *Marine Pollution Bulletin*, *178*, 113577. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113577>

- Cerbule, K., Herrmann, B., Trumbić, Ž., Petrić, M., Šifner, S. K., Grimaldo, E., Larsen, R. B., & Brčić, J. (2023). Use of biodegradable materials to reduce marine plastic pollution in small scale coastal longline fisheries. *Journal for Nature Conservation*, *74*, 126438.
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126438>
- Chambault, P., Vandeperre, F., Machete, M., Lagoa, J. C., & Pham, C. K. (2018). Distribution and composition of floating macro litter off the Azores archipelago and Madeira (NE Atlantic) using opportunistic surveys. *Marine Environmental Research*, *141*, 225–232.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.09.015>
- Comissão Europeia (2018). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A52018PC0340>
- Dg. (2017, March 2). *trentino collaborates with max lamb at london design fair*. Designboom | Architecture & Design Magazine. <https://www.designboom.com/design/trentino-collaborations-max-lamb-london-design-fair-09-17-2016/>
- Dictyota dichotoma, in the young state; and in fruit*. (n.d.). NYPL Digital Collections.
<https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47d9-4adb-a3d9-e040-e00a18064a99>
- Diogo, H., & Pereira, J. (2013). Recreational boat fishing pressure on fish communities of the shelf and shelf break of Faial and Pico Islands (Azores Archipelago): implications for coastal resource management. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, *43*(4), 267–276.
<https://doi.org/10.3750/aip2013.43.4.02>
- Diogo, H., Pereira, J., Higgins, R., Canha, Â., & Reis, D. (2015). History, effort distribution and landings in an artisanal bottom longline fishery: An empirical study from the North Atlantic Ocean. *Marine Policy*, *51*, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.07.022>

- Dumont, P., Martoia, F., & Orgéas, L. (2023). Compression moulding. In *Elsevier eBooks* (pp. 273–300). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819160-6.00018-4>
- Ferreira, E. (2017). *Avaliação de diferentes condições de temperatura de molde e hidratação no desempenho de compósitos de poliamida 6 com fibra de vidro*. <https://repositorio.ucs.br/handle/11338/3802>
- Fishing methods and gear types* | *Marine Stewardship Council*. (s.d.). MSC International - English. <https://www.msc.org/what-we-are-doing/our-approach/fishing-methods-and-gear-types>
- Galgani, L., Beiras, R., Galgani, F., Panti, C., & Borja, Á. (2019). Editorial: Impacts of Marine Litter. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00208>
- Garforth, A., Salmiaton, A., Hernandez-Martinez, J., & Akah, A. (2004). Feedstock recycling of polymer wastes. *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 8(6), 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2005.04.003>
- Good, T. P., June, J. A., Etnier, M. A., & Broadhurst, G. (2010). Derelict fishing nets in Puget Sound and the Northwest Straits: Patterns and threats to marine fauna. *Marine Pollution Bulletin*, 60(1), 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.09.005>
- He, P., Chopin, F., Suuronen, P., Ferro, R., & Lansley, J. (2021). Classification and illustrated definition of fishing gears. In *FAO eBooks*. <https://doi.org/10.4060/cb4966en>
- He, P. & Lansley, J. (2023). Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear – A framework for conducting a risk assessment for a system on the marking of fishing gear. Suppl 1. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc4084en>
- Hirschberg, V., & Rodrigue, D. (2023). Recycling of polyamides: Processes and conditions. *Journal of Polymer Science*, 61(17), 1937–1958. <https://doi.org/10.1002/pol.20230154>

How to master the Act of Separation in Open-Plan Spaces. (s.d.). Houzz.

<https://www.houzz.com.au/magazine/how-to-master-the-act-of-separation-in-open-plan-spaces-stsetiw-vs~34246729>

Ignatyev, I. A., Thielemans, W., & Beke, B. V. (2014). Recycling of Polymers: a review. *Chemsuschem*, 7(6), 1579–1593. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300898>

Klata, E., Van De Velde, K., & Krucińska, I. (2003b). DSC investigations of polyamide 6 in hybrid GF/PA 6 yarns and composites. *Polymer Testing*, 22(8), 929–937. [https://doi.org/10.1016/s0142-9418\(03\)00043-6](https://doi.org/10.1016/s0142-9418(03)00043-6)

Kohan, M. I. (1995). *Nylon plastics handbook*.

Kozioł, A., Paso, K., & Kuciel, S. (2022). Properties and recyclability of abandoned fishing Net-Based plastic debris. *Catalysts*, 12(9), 948. <https://doi.org/10.3390/catal12090948>

Langley, L. (2021, May 3). Meet the very venomous Portuguese Man-of-War. *Animals*.

<https://www.nationalgeographic.com/animals/article/animals-science-portuguese-man-of-war-venom>

Lavers, J. L., & Bond, A. L. (2018). Exceptional and rapid accumulation of anthropogenic debris on one of the world's most remote and pristine islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(23), 6052–6055.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1619818114>

LIFE IP Azores Natura. (2020, August 12). *Ciência Cidadã - LIFE IP Azores Natura*.

<https://www.lifeazoresnatura.eu/ciencia-cidada/>

Localização geográfica. (s.d.). <http://www.ivar.azores.gov.pt/geologia-acoeres/localizacao-geografica/Paginas/default.aspx>

Long line: Gear: Seafish Fishing Gear Database. (s.d.). Seafish. <https://www.seafish.org/responsible-sourcing/fishing-gear-database/gear/long-line/>

Longline Fisheries - BirdLife South Africa. (2019, January 23). BirdLife South Africa.

<https://www.birdlife.org.za/what-we-do/seabird-conservation/what-we-do/albatross-task-force/longline-fisheries/>

Longlines. (n.d.). MSC International - English. <https://www.msc.org/what-we-are-doing/our-approach/fishing-methods-and-gear-types/longlines>

Lopes, R. M. (2022). Comportamento Mecânico de soldadura por Ultrassons em tecido polimérico. Estudo Geral. <https://hdl.handle.net/10316/103082>

Manger, C. (2020). *Mechanical recycling*. European Bioplastics e.V. <https://www.european-bioplastics.org/mechanical-recycling/>

Marine litter: a global challenge. (n.d.). UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-global-challenge>

Matthews, F. (2017, January 5). Portraits of Live Portuguese Man o' War by Aaron Ansarov. FREEYORK. <https://freeyork.org/photography/portraits-live-portuguese-man-o-war-aaron-ansarov/>

MDF. (s.d.). <https://www.sonaearauco.com/pt/configuration/matrix/sub-categories-list/core-technical-mdf/>

Meneses, R. a. M., Cabrera-Papamija, G., Machuca-Martínez, F., Rodríguez, L. A., Diosa, J., & Mosquera, E. (2022). Plastic recycling and their use as raw material for the synthesis of carbonaceous materials. *Heliyon*, 8(3), e09028. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09028>

Menezes, G., Diogo, H., & Giacomello, E. (2013). Reconstruction of demersal fisheries history on the Condor seamount, Azores archipelago (Northeast Atlantic). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 98, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.02.031>

Moldação por Compressão - Fibrenamics Green. (2017, November 30). Fibrenamics Green.

<https://green.fibrenamics.com/moldacao-por-compressao>

Mondragon, G., Kortaberria, G., Mendiburu, E., González, N., Arbelaz, A., & Peña-Rodríguez, C. (2019).

Thermomechanical recycling of polyamide 6 from fishing nets waste. *Journal of Applied*

Polymer Science, 137(10), 48442. <https://doi.org/10.1002/app.48442>

Monofilament Fishing Line - Why use monofilament - Berkley® Fishing US. (s.d.). [https://www.berkley-](https://www.berkley-fishing.com/berkley-ae-why-use-monofilament)

[fishing.com/berkley-ae-why-use-monofilament](https://www.berkley-fishing.com/berkley-ae-why-use-monofilament)

Monofilaments. (s.d.).

https://chemicals.basf.com/global/en/Monomers/polyamide_intermediates/polyamide_for_e

[xtrusions/monofilaments.html#accordion_v2-07f996ede2-item-237f9256f9](https://chemicals.basf.com/global/en/Monomers/polyamide_intermediates/polyamide_for_extrusions/monofilaments.html#accordion_v2-07f996ede2-item-237f9256f9)

Monteiro, R. C. P., Sul, J. a. I. D., & Costa, M. F. (2018). Plastic pollution in islands of the Atlantic

Ocean. *Environmental Pollution*, 238, 103–110.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.096>

National Geographic. (2010, November 11). Portuguese Man-of-War | National Geographic. Animals.

<https://www.nationalgeographic.com/animals/invertebrates/facts/portuguese-man-of-war>

National Geographic. (2014, August 22). *Stunning video: The Portuguese Man-of-War up close* /

National Geographic [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zPdkxdu9rfs>

Nieta da Ponte Rocha. (2022, August 28). *MODELO AZORES ECOBLUE BY NIETA ATELIER* [Video].

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=UhdKEU6QeW0>

Ocean Conservancy (2011). Tracking Trash—25 Years of Action for the Ocean.

<https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/2011-Ocean-Conservancy-ICC->

[Report.pdf](https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/2011-Ocean-Conservancy-ICC-Report.pdf)

OSPAR Commission (2020). OSPAR scoping study on best practices for the design and recycling of fishing gear as a means to reduce the quantities of *fishing* gear found as marine litter in the North-East Atlantic. London, UK, OSPAR Commission, 128pp.

<http://dx.doi.org/10.25607/OBP-905>

Parques Naturais dos Açores. (n.d.).

<https://parquesnaturais.azores.gov.pt/en/guia/categoria/2/item/17>

Peltodoris atromaculata. (2023, May 23). OPK Opisthobranchius.

<https://opisthobranchius.info/en/guia/nudibranchia/doridina/doridoidei/doridoidea/peltodoris-atromaculata/>

Pham, C. K., Gomes-Pereira, J. N., Isidro, E., Santos, R. S., & Morato, T. (2013). Abundance of litter on Condor seamount (Azores, Portugal, Northeast Atlantic). *Deep-sea Research Part II-topical Studies in Oceanography*, *98*, 204–208. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.01.011>

Pham CK, Ramirez-Llodra E, Alt CHS, Amaro T, Bergmann M, et al. (2014) Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS ONE* 9(4): e95839. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095839>

Pham, C. K., Pereira, J., Frias, J., Ríos, N., Carriço, R., Juliano, M., & Rodríguez, Y. (2020). Beaches of the Azores archipelago as transitory repositories for small plastic fragments floating in the North-East Atlantic. *Environmental Pollution*, *263*, 114494.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114494>

Pieper, C., Ventura, M. A., Martins, A., & Da Cunha, R. T. (2015). Beach debris in the Azores (NE Atlantic): Faial Island as a first case study. *Marine Pollution Bulletin*, *101*(2), 575–582.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.056>

Polyamide/Nylon (PA): Uses & Properties [Updated 2023]. (s.d.).

<https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyamide-pa-nylon>

- PÚBLICO. (2020, May 20). Fotogaleria. As caravelas portuguesas voltaram a dar à costa nos Açores. *PÚBLICO*. <https://www.publico.pt/2020/05/20/fotogaleria/caravelas-portuguesas-voltaram-dar-costa-401303>
- RISÖR Biombo, branco/preto, 216x185 cm - IKEA*. (n.d.). IKEA. <https://www.ikea.com/pt/pt/p/risoer-biombo-branco-preto-70182191/>
- Rodríguez, Y., & Pham, C. K. (2017). Marine litter on the seafloor of the Faial-Pico Passage, Azores Archipelago. *Marine Pollution Bulletin*, *116*(1–2), 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.018>
- Rodríguez, Y., Ressurreição, A., & Pham, C. K. (2020). Socio-economic impacts of marine litter for remote oceanic islands: The case of the Azores. *Marine Pollution Bulletin*, *160*, 111631. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111631>
- Sala, I., Harrison, C. S., & Caldeira, R. (2016). The role of the Azores Archipelago in capturing and retaining incoming particles. *Journal of Marine Systems*, *154*, 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2015.10.001>
- Santos, R. M. (2018). Análise da evolução recente do setor das pescas nos Açores. [Tese de mestrado]. Universidade dos Açores. 194 p. <http://hdl.handle.net/10400.3/4683>
- Schneider, F. (2020). A Life Cycle Assessment (LCA) on the retrieval and waste management of derelict fishing gear [Doctoral Thesis, University of Bath]. Student thesis: Doctoral Thesis > PhD. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/a-life-cycle-assessment-lca-on-the-retrieval-and-waste-management>
- Schneider, F., Parsons, S., Clift, S. E., Stolte, A., Krüger, M., & McManus, M. (2023). Life cycle assessment (LCA) on waste management options for derelict fishing gear. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *28*(3), 274–290. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02132-y>

Spencer Collection, The New York Public Library. (1849-11 - 1850-06). *Dictyota dichotoma*, in the young state; and in fruit Retrieved from <https://digitalcollections.nypl.org/items/510d47d9-4adb-a3d9-e040-e00a18064a99>

Sticks. (s.d.). <https://www.extremis.com/en/collections/sticks>

Stolte, A., & Schneider, F. (2018). Recycling Options for Derelict Fishing Gear. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://static1.squarespace.com/static/58525fe86a4963931b99a5d1/t/5bed7be54fa51a83926caa21/1542290449080/Recycling_Report_MARELITT_Baltic.pdf

Tonsi, G., Maesani, C., Alini, S., Ortenzi, M. A., & Pirola, C. (2023). Nylon Recycling Processes: a Brief Overview. *Chemical Engineering Transactions*, 100, 727-732. <https://doi.org/10.3303/CET23100122>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2015). *Product design and development*. McGraw-Hill Education.

UNEP, 2009. *Marine Litter: A Global Challenge*. Nairobi: UNEP. 232 pp. <https://www.unep.org/resources/report/marine-litter-global-challenge>

UNEP & FAO (2009). *Abandoned, Lost or otherwise Discarded Fishing Gear*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/13603>

United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1. <https://sdgs.un.org/2030agenda>.

Van Giezen, A., & Wiegman, B. (2020). Spoilt - Ocean Cleanup: Alternative logistics chains to accommodate plastic waste recycling: An economic evaluation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5, 100115. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100115>

Viva, C. (s.d.). *Caravela-portuguesa - Água salgada*. cienciviva.pt. https://www.cienciviva.pt/planeta-agua/index.php?acao=showobj&id_obj=2189

Weißbach, G., Gerke, G., Stolte, A., & Schneider, F. (2021). Material studies for the recycling of abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG). *Waste Management & Research*, 40(7), 1039–1046. <https://doi.org/10.1177/0734242x2111052850>

ANEXO 1 FICHAS TÉCNICAS ULTRAMID® B33 SL E ULTRAMID® C40 L

Product Information	
page 1 of 2	
July 2015	

® = registered trade mark of
BASF SE

Ultramid® B33 SL

Product description

Ultramid® B33 SL is a lubricated polyamide grade of intermediate viscosity. It combines the regular mechanical and barrier performance of PA 6 with improved processing behavior in production of BOPA film and monofilaments. Properties like improved transparency, softness and drawing behavior are targeted.

Specification	Test method	Unit	Value
Relative Viscosity (RV) 1% [m/v] in 96% [m/m] sulfuric acid	According to ISO 307 (calculated by Huggins method)		3.19 - 3.41
Viscosity Number (VN) 0,5% [m/v] in 96% [m/m] sulfuric acid	According to ISO 307	ml/g	187 - 203
Moisture content	According to ISO 15512	% [m/m]	max. 0.06
Extractables	According to ISO 6427- chips not ground/16h	% [m/m]	max. 0.5
Lubricant	BASF method	(mg/kg)	350 - 650
Film grade	BASF method		1 - 3

General properties

	Test method	Unit	Typical value
Melting point	According to ISO 3146	°C	215
Density	According to ISO 1183	g/cm ³	1.12 - 1.15
Bulk density		kg/m ³	780
Pellet size		mm	2 - 2.5
Pellet shape			round
Water absorption, 23°C/50% rh		%	2.6
Water absorption, saturation in water 23°C		%	9.5

Figura 79 – Ficha técnica Ultramid® B33 SL

® = registered trade mark of
BASF SE

Ultramid® C40 L

Product description

Ultramid® C40 L is a lubricated copolyamide 6/66 grade of high viscosity for the production of monofilaments and blown film. Ultramid® C40 L is well suited for the production of high transparency, nonsymmetric blown film with reduced curl. Its very low melting point compared to standard PA 6 is advantageous for coextrusion with temperature sensitive polymers like EVOH.

Specification	Test method	Unit	Value
Relative Viscosity (RV) 1% [m/v] in 96% [m/m] sulfuric acid	According to ISO 307		3.89 - 4.17
Viscosity Number (VN) 0,5% [m/v] in 96% [m/m] sulfuric acid	According to ISO 307 (calculated by Huggins method)	ml/g	240 - 260
Moisture content	According to ISO 15512	% [m/m]	max. 0.06
Extractables	According to ISO 6427- chips not ground/16h	% [m/m]	max. 0.8
Lubricant	BASF method	(mg/kg)	250 - 550
Film grade	BASF method		1 - 3

General properties	Test method	Unit	Typical value
Melting point	According to ISO 3146	°C	188 - 190
Density	According to ISO 1183	g/cm ³	1.12
Bulk density		kg/m ³	780
Pellet size		mm	2 - 2.5
Pellet shape			round
Water absorption, 23°C/50% rh		%	3.2
Water absorption, saturation in water 23°C		%	10.5

Figura 80 – Ficha técnica Ultramid® C40 L

ANEXO 2 CURVAS TENSÃO- DEFORMAÇÃO (ENSAIOS DE TRAÇÃO)

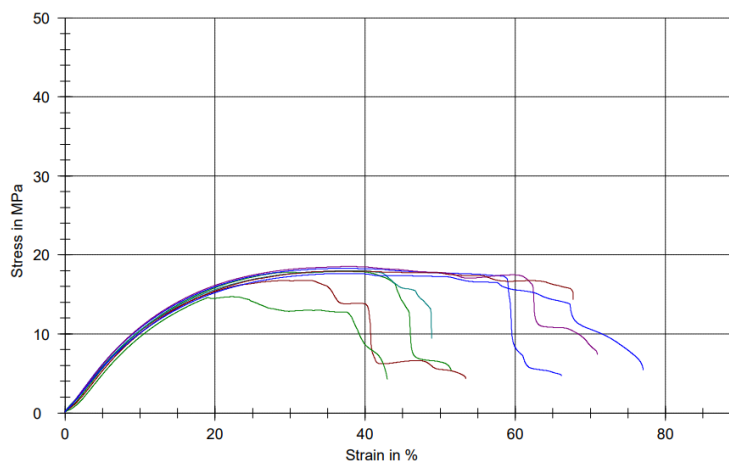


Figura 81 – Curvas tensão- deformação Tipo 1

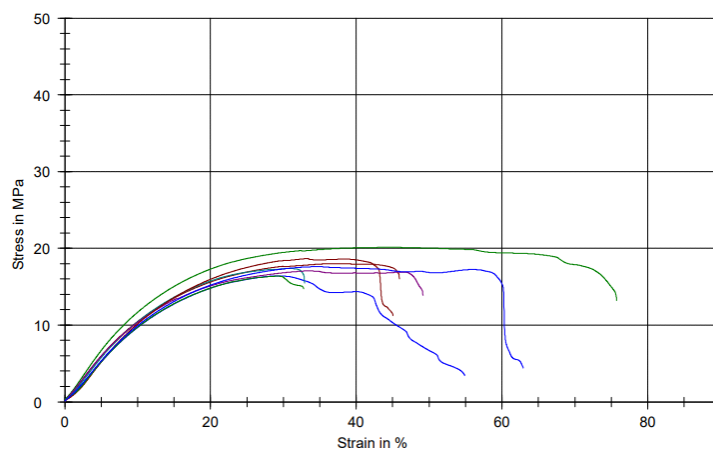


Figura 82 – Curvas tensão - deformação Tipo 2

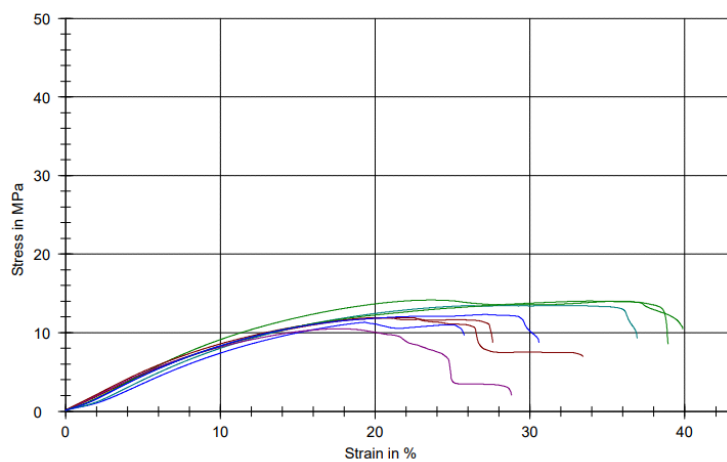


Figura 83 – Curvas tensão - deformação Tipo 3

ANEXO 3 DESENHOS TÉCNICOS

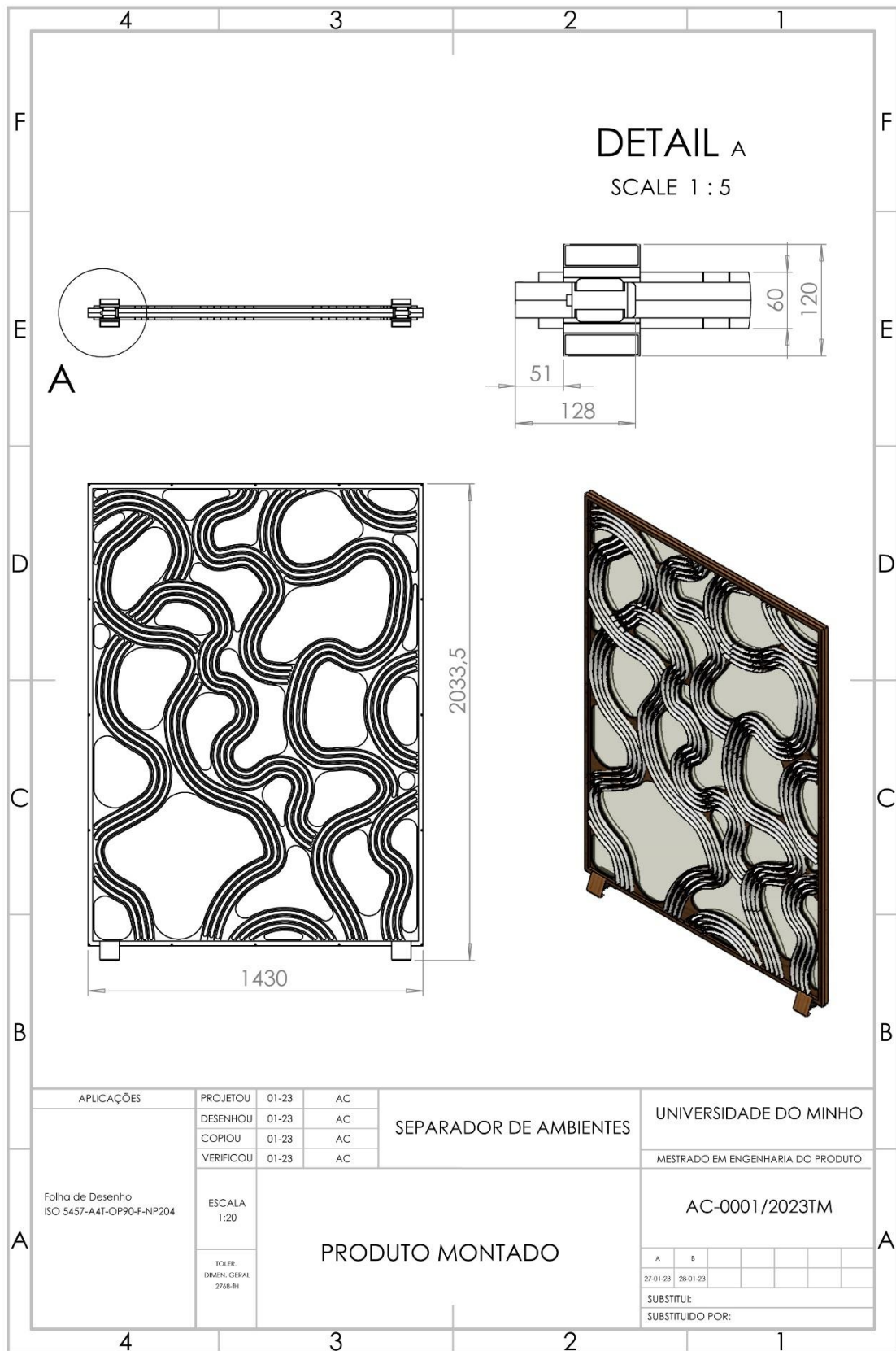


Figura 84 – Desenho Técnico: Produto Montado

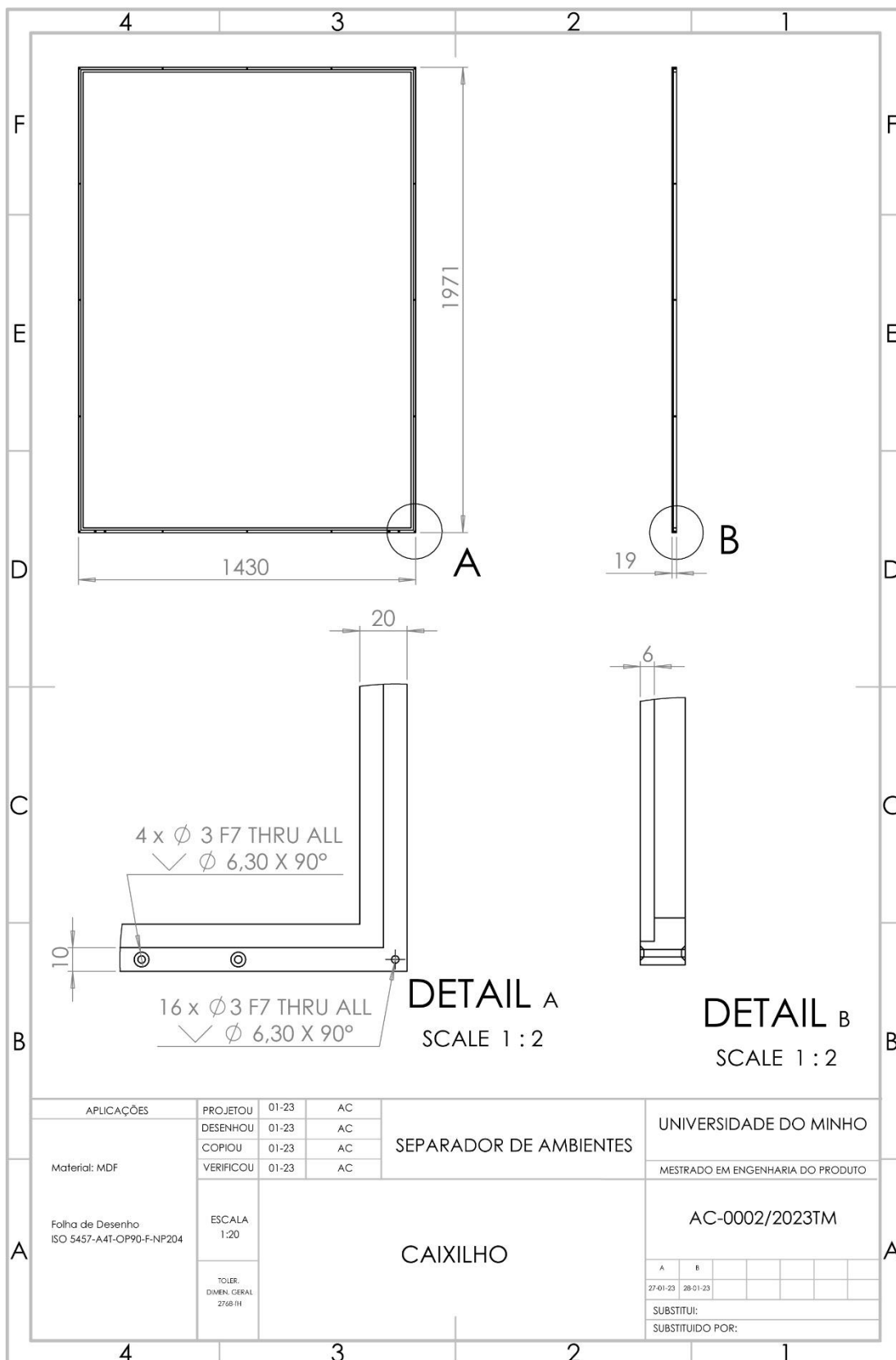


Figura 85 – Desenho Técnico: Caixilho

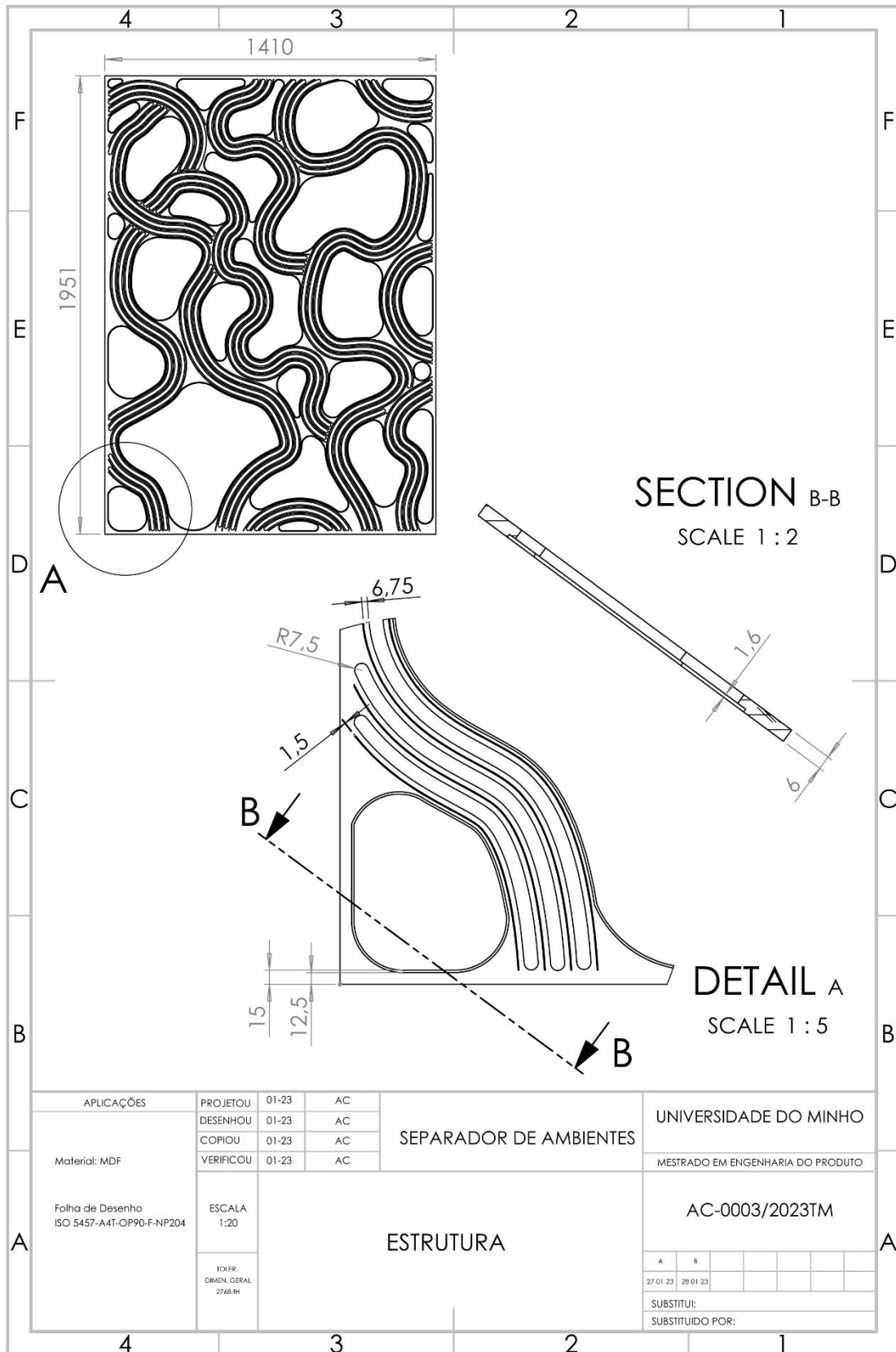


Figura 86 – Desenho Técnico: Estrutura (parte 2)

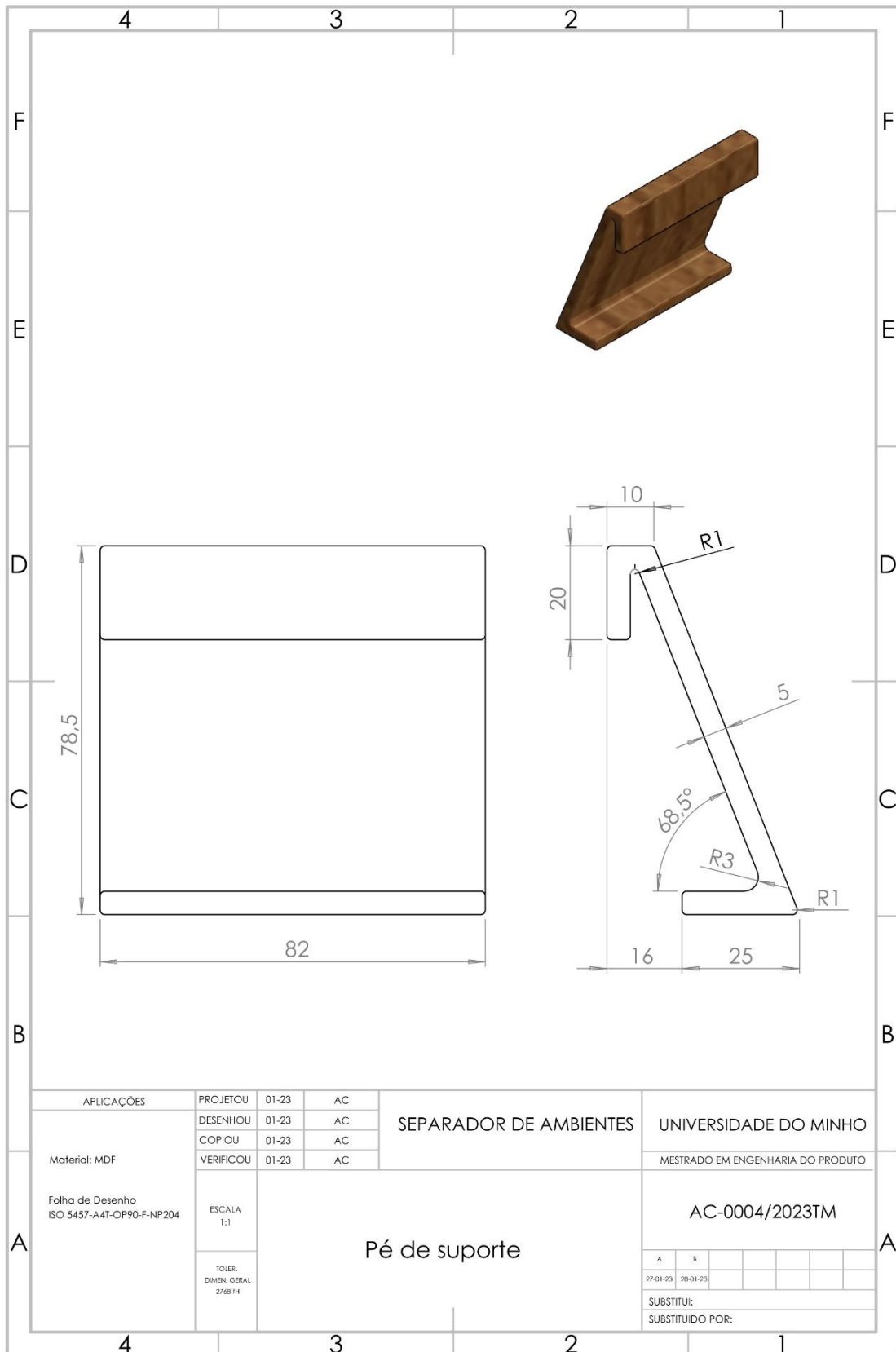


Figura 87 – Desenho Técnico: Pé de suporte

ANEXO 4 INFORMAÇÕES PEÇAS NORMALIZADAS

Tabela 19 – Informações peças padrão

Componente	Peça normalizada	Unidades p/produto	Fornecedor	Link de acesso
Roda	Roda com travão STANDERS 360° 50MM 40KG NYLON PRETO	2	LEROY MERLIN	https://www.leroymerlin.pt/produtos/ferragens/ferragens-para-moveis/rodas-rodizios-e-deslizadores/roda-com-travao-standers-360-50mm-40kg-nylon-preto-82629446.html
Parafusos para fixação das rodas	Parafusos STANDERS REDONDO PZ CROMADO Ø4X16	8	LEROY MERLIN	https://www.leroymerlin.pt/produtos/ferragens/ferragens-de-fixacao/parafusos/35-parafusos-standers-redondo-pz-cromado-4x16-82231896.html?src=clk
Parafusos para fixação pés	Parafusos STANDERS PLANO OVAL PZ CROMADO 3X12	8	LEROY MERLIN	https://www.leroymerlin.pt/produtos/ferragens/ferragens-de-fixacao/parafusos/50-parafusos-standers-plano-oval-pz-cromado-3x12-82231786.html
Parafusos para fixação caixilho	Parafusos STANDERS PLANO OVAL PZ CROMADO 3X30	16	LEROY MERLIN	https://www.leroymerlin.pt/produtos/ferragens/ferragens-de-fixacao/parafusos/40-parafusos-standers-plano-oval-pz-cromado-3x30-82231790.html
Feltro adesivo	Feltro adesivo recortável bege Standers	1 (mas são utilizadas quatro porções)	LEROY MERLIN	https://www.leroymerlin.pt/produtos/ferragens/ferragens-para-moveis/ponteiras-patins-e-feltros/feltro-adesivo-recortavel-200x100-mm-bege-standers-85066279.html?src=clk

ANEXO 5 PLANOS DE PROCESSO DE FABRICO (PEÇAS ÚNICAS) E PLANO DE MONTAGEM DO PRODUTO

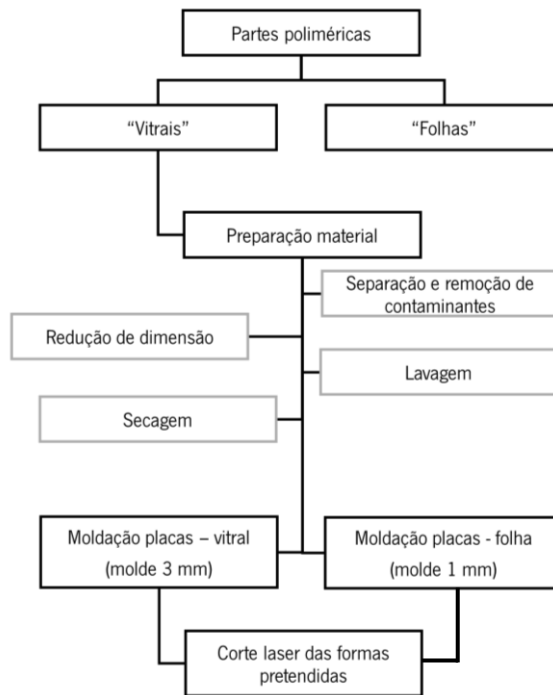


Figura 88 – Plano produção partes poliméricas

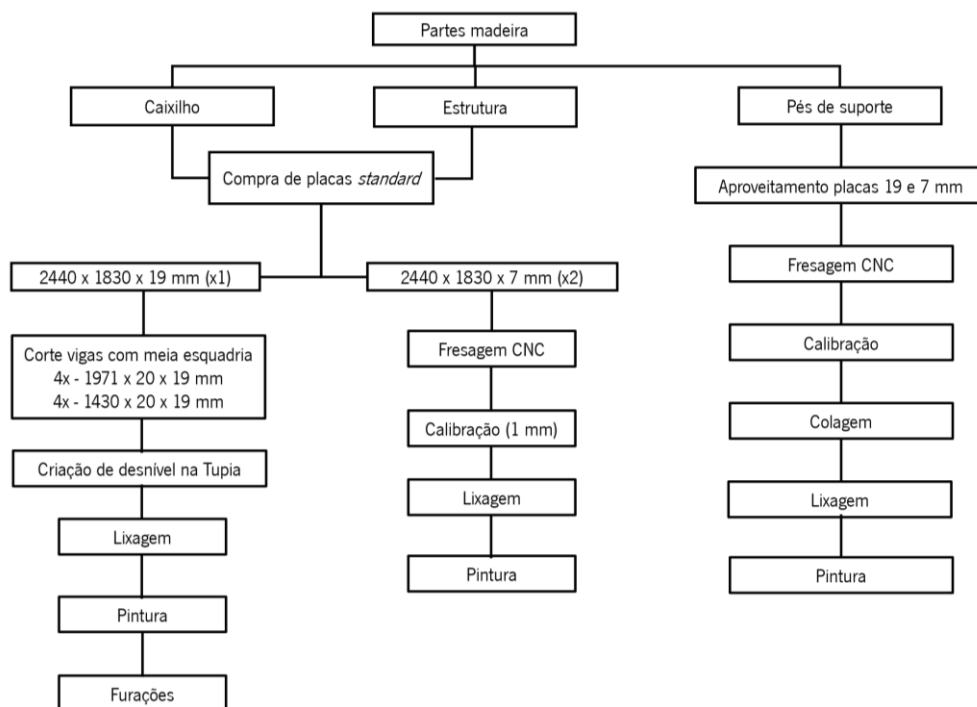


Figura 89 – Plano produção partes de madeira

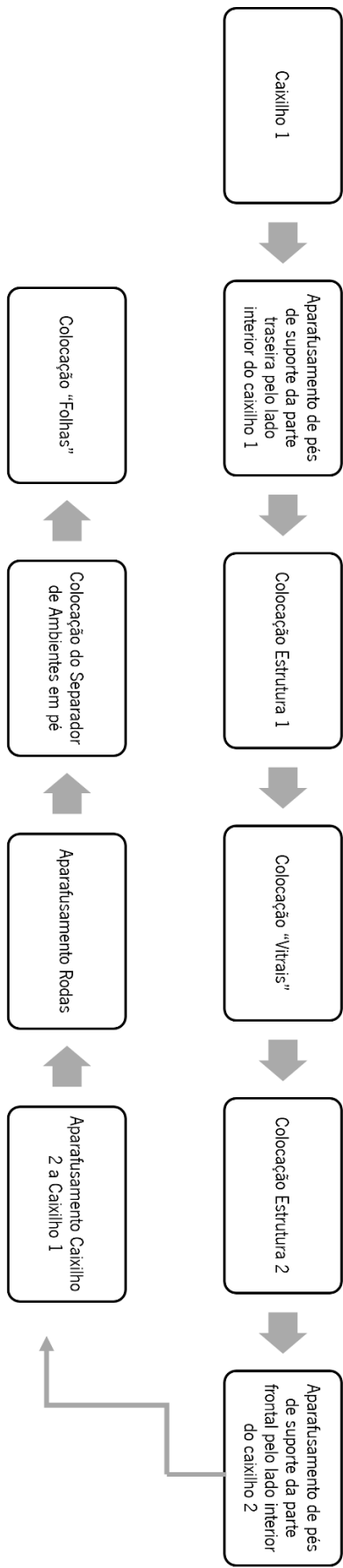


Figura 90 – Plano Montagem Separador de Ambientes