

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente - Tecnologias Ambientais

Cláudia Isabel Carapeto do Carmo Ruivinho

Faro, Fevereiro 2010

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE LENTES
OFTÁLMICAS ORGÂNICAS

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente - Tecnologias Ambientais

Cláudia Isabel Carapeto do Carmo Ruivinho Graça

Orientadora: Prof. Dra. Margarida Ribau Teixeira

Faro, Fevereiro de 2009

AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível porque tive a colaboração de muitas pessoas às quais quero agradecer.

À Prof. Doutora Margarida Ribau Teixeira que, desde o início, me tem orientado e apoiado na prossecução dos objectivos do trabalho. Agradeço também a disponibilidade que demonstrou e a clareza e proactividade com que me inspirou.

À Essilor Portugal, na pessoa do seu Director Geral, Dr. João Lima e, especialmente, ao Eng. Vitor Chaveiro, que tem colaborado comigo sempre que lhe é possível. À Teresa Fialho, por ter sempre um minuto para me ajudar.

À Carl Zeiss Vision, na pessoa do Eng. Francisco Martins e da Eng.^a Diana Farinha pelo interesse e disponibilidade que demonstraram.

À Dra. Isabel Câmara que teve a amabilidade de disponibilizar o seu espaço e colaborar na recolha das lentes para amostra.

À Optivisão, na pessoa do Sr. Eduardo por toda a colaboração prestada.

Ao Sr. Daniel Morais pelas informações e pela disponibilidade demonstrada.

Aos meus pais que sempre me tem apoiado nos meus projectos pessoais.

Ao Nuno pelo carinho e compreensão que, me tem dedicado nos momentos mais importantes.

Ao João e ao Pedro pelo tempo prescindido e pela preocupação demonstrada.

A todos, muito obrigada!

RESUMO

Atendendo a que a crescente produção de resíduos plásticos é um problema real e que carece de soluções efectivas, desenvolveu-se o presente trabalho que tem como objectivos identificar os tipos de polímeros (plásticos) que constituem as lentes oftálmicas orgânicas (LOO), quantificar a produção de resíduos de LOO em Portugal e definir soluções de valorização para esses mesmos resíduos.

Os resíduos de lentes oftálmicas analisados no âmbito da presente dissertação têm a mesma composição que as próprias lentes oftálmicas, pois resultam do seu processo de corte, designado por surfacagem, e dos desperdícios de lentes acabadas que são designadas por lentes de sucata. Desta forma, as características dos resíduos variam em função dos materiais utilizados para a produção das lentes (polímeros termoplásticos ou termofixos) e da sua origem que pode ser industrial banal (RIB), se resultar do processo produtivo, ou resíduo sólido urbano (RSU) se resultar da actividade comercial (lentes de sucata).

A avaliação técnica das soluções de valorização identificadas foi efectuada com base nos conhecimentos existentes sobre o comportamento dos polímeros em causa e nas especificidades de cada etapa do ciclo de vida dos materiais.

A Comparação entre as soluções de valorização e a actual deposição em aterro sanitário foi efectuada tendo em conta os benefícios ambientais e económicos de cada uma.

No final, propõem-se as soluções mais eficientes para os resíduos dos vários tipos de polímeros envolvidos.

Abstract

Organic ophthalmic lenses used for human visual correction are made of thermoplastic or thermo fix polymers. In their lifecycle, from production, sale, utilisation and discard, wastes are generated in all phases. The high purity of this product (and waste) and its commercial value for the industry make valorisation an appealing option. The objectives of the present study were to identify the polymers used in organic ophthalmic lenses, quantify the organic ophthalmic lenses wastes in Portugal, with four million users of corrective lenses, and evaluate the viability of its valorisation. Due to its novelty, the work had to start from collecting data regarding the type and amounts of ophthalmic lenses wastes in optics selling points. The wastes were constituted of lens cuttings and end-of-life lenses. Data collected allowed making estimates of the annual polymer waste production per polymer type, which showed essential for the evaluation of valorisation options, recycling or incineration, and for their preliminary economic evaluation.

ABREVIATURAS

AS – Aterro sanitário

CDR – Combustíveis derivados dos resíduos

INE – Instituto Nacional de Estatística

LO – Lentes Oftálmicas

LOO – Lentes oftálmicas orgânicas

M/A I – Médios/Altos Índices de refração

NPS – Número de pessoas ao serviço

PC- Policarbonato

PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

PIRSUE – Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados

RIB – Resíduos industriais banais

RLO - Resíduos de lentes oftálmicas

RLOO – Resíduos de lentes oftálmicas orgânicas

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

VN – Volume de Negócios

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Enquadramento do problema.....	1
1.2.	Objectivos.....	3
2.	AS LENTES OFTÁLMICAS	4
2.1.	Evolução das lentes oftálmicas.....	4
2.2.	Os materiais	5
2.3.	O ciclo de vida das lentes oftálmicas orgânicas (LOO)	7
2.4.	O fabrico das lentes oftálmicas orgânicas	8
2.5.	O comércio das lentes.....	11
2.6.	O consumo de Lentes	11
3.	OS RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS (RLOO)	12
3.1.	Definição do conceito de resíduo de lentes oftálmicas orgânicas (RLOO).....	12
3.2.	Fluxo de resíduos ao longo do ciclo de vida	12
3.3.	Características dos resíduos de lentes Oftálmicas Orgânicas.....	14
3.3.1.	Origem	14
3.3.2.	Forma.....	15
3.3.3.	Estrutura	16
3.4.	Valorização dos resíduos de Lentes oftálmicas orgânicas	16
3.4.1.	Reciclagem	16
3.4.2.	Valorização energética	20
4.	METODOLOGIA	22
4.1.	Revisão bibliográfica.....	22
4.2.	Recolha de dados	22
4.2.1.	Recolha de dados estatísticos	22
4.2.2.	Recolha de dados relativos aos RLOO industriais	23
4.2.3.	Recolha de dados relativos aos RLOO gerados no comércio (ópticas).....	25
4.2.4.	Determinação da taxa de recuperação de lentes	29
4.2.5.	Visita a ópticas, unidades produtoras de LOO e unidades recicladoras de plásticos	29
4.2.6.	Análise do grau de humidade dos resíduos resultantes do corte de LO (aparas)	31

4.2.7.	Soluções de valorização.....	33
4.3.	Redacção da tese.....	33
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	34
5.1.	Identificação dos produtores de resíduos de LOO em Portugal	34
5.1.1.	Identificação dos fabricantes de lentes oftálmicas que operam em Portugal e sua dimensão	34
5.1.2.	Identificação das empresas comerciantes de lentes oftálmicas (ópticas) existentes em Portugal e sua Dimensão.....	35
5.2.	Quantificação da produção nacional de resíduos de lentes oftálmicas orgânicas (RLOO)	37
5.2.1.	Resultados da amostragem de RLOO (sucatas) produzidos nas ópticas	37
5.2.2.	Determinação da taxa de recuperação de lentes nas lojas de óptica.....	41
5.2.3.	Determinação da quantidade de RLOO gerados pela indústria.....	41
5.2.4.	Determinação da quantidade de RLOO gerados pelo Comércio.....	49
5.3.	Recolha dos Resíduos de LOO	52
5.4.	Definição de soluções de valorização para os RLOO produzidos em Portugal.....	53
5.4.1.	Reciclagem	53
5.4.2.	Valorização energética	58
6.	CONCLUSÕES.....	60
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	ANEXOS	69
	Anexo I	70
	Anexo II – Cartaz	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida das lentes oftálmicas_____	8
Figura 2 – Fases do fabrico de lentes oftálmicas_____	8
Figura 3 - Lente semi-acabada (patela) _____	9
Figura 4 – Lente trabalhada nas duas faces _____	9
Figura 5 – Fluxo de resíduos ao longo do ciclo de vida das LOO em Portugal_____	13
Figura 6 – Aparas de CR-39_____	15
Figura 7 - Aparas de médios e altos índices_____	15
Figura 8 - Aparas de policarbonato _____	15
Figura 9 – Lentes acabadas no fabricante de sucata_____	15
Figura 10 - Lentes usadas de sucata _____	15
Figura 11 – Imagem do reservatório que recebe as aparas resultantes do corte das lentes _____	32

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização do universo de ópticas amostrado _____	26
Quadro 2 – Planos de amostragem _____	27
Quadro 3 – Dimensão dos fabricantes nacionais de LOO _____	34
Quadro 4 – Escalões de dimensão das empresas nacionais de óptica _____	36
Quadro 5 – Localização e dimensão das empresas nacionais de óptica _____	36
Quadro 6 – Resultados da análise das amostras de RLO (sucatas) recolhidas nas ópticas, segundo o plano de amostragens _____	438
Quadro 7 – Percentagem de cada material no universo de LOO amostrado _____	39
Quadro 8 - Resultados da análise da Amostra B (extra plano de amostragens), recolhida na empresa Oculista das Avenidas _____	40
Quadro 9 – Taxa de recuperação de LOO em duas das empresas da amostra _____	41
Quadro 10 – Importações vs exportações de LOO semi-acabadas, em Portugal _____	42
Quadro 11 – Importações vs exportações de LOO acabadas, em Portugal _____	43
Quadro 12 – Quantidade anual de lentes fabricadas em Portugal, por tipo de material	44
Quadro 13 – Quantidade média de resíduo de LOO gerado por lente fabricada _____	45
Quadro 14 – Grau de humidade dos RLOO gerados durante o corte (aparas) _____	46
Quadro 15 – Quantidade anual de resíduos secos de LOO (aparas) gerados pelos fabricantes, em 2008 _____	47
Quadro 16 – Quantidade total de aparas industriais (RLOO) produzidas em Portugal em 2008 _____	48
Quadro 17 – Peso total (em toneladas) das fracções valorizáveis de RLOO produzidos em Portugal, em 2008 _____	51
Quadro 18 – Viabilidade económica da Reciclagem mecânica dos RLOO face à solução alternativa Deposição em aterro sanitário _____	56
Quadro 19 – Viabilidade económica da Valorização energética dos RLOO face à solução alternativa Deposição em aterro sanitário _____	59

Quadro A1 – Localidades das lojas próprias Optivisão_____	70
Quadro A2 – Escalões de dimensão das cadeias de lojas_____	71
Quadro A3 – Escalões de dimensão das empresas fabricantes de lentes oftálmicas____	72
Quadro A4 – Peso médio de uma lente acabada_____	72
Quadro A5 – “Checklist” dos fabricantes de LOO_____	73
Quadro A6 – “Checklist” dos Recicladores_____	74
Quadro A7 – Determinação do grau de humidade dos RLOO gerados durante o corte (aparas)_____	75
Quadro A8 – Cálculo do peso RLOO (aparas) produzidos pela Iola SA, em 2008____	75
Quadro A9 – Valor comercial dos polímeros, em Dezembro de 2008 _____	75
Quadro A10 – Total de RLOO (sucatas) geradas anualmente nas lojas de óptica_____	76
Quadro A11 – Quantidade total de RLOO (aparas) geradas nas lojas de óptica, em Portugal em 2008_____	76

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA

A produção industrial e o comércio de lentes oftálmicas é um negócio muito importante a nível mundial, pelo que se tem investido muito na investigação e desenvolvimento de novas técnicas, produtos e materiais, no sentido de inovar e aproveitar todo o seu potencial.

Na sequência deste desenvolvimento está obviamente o aumento da produção que se deve também ao crescente número de utilizadores de lentes oftálmicas.

Os materiais utilizados, por esta indústria como matéria-prima dos seus produtos são, essencialmente, matérias orgânicas (plásticas), constituídas por polímeros sintéticos.

Sendo estes resíduos materiais plásticos de elevada qualidade e com as mais variadas utilizações, é de considerar a possibilidade do seu reaproveitamento, nomeadamente, numa altura em que, por força das circunstâncias, as políticas ambientais na área dos resíduos foram reforçadas, dando prevalência à valorização dos materiais em detrimento da sua eliminação [1].

A Lei-Quadro dos Resíduos (DL. N.º 178/2006, de 5 de Setembro) assenta precisamente nesse princípio da Valorização estabelecendo, inclusivamente, uma preferência tangencial da reutilização sobre a reciclagem e da reciclagem sobre a recuperação energética [1]. No entanto, nem sempre esta hierarquia estabelecida na gestão de resíduos se revela ser a melhor opção para determinada fileira de resíduos [2].

Num Sistema Integrado de Gestão de Resíduos deverá partir-se de uma visão global de todo o sistema para depois poder analisar cada caso particular e desenhar a melhor solução técnica para este, tendo em conta os interesses financeiros, sociais e ambientais que estão em causa. Uma abordagem deste tipo pode determinar que, num caso específico, a Recuperação Térmica combinada é preferível à Reciclagem combinada com Deposição em Aterro sanitário [2].

Os resíduos de lentes oftálmicas orgânicas (plásticas) podem ser classificados em duas categorias consoante a sua origem. Podem ser Industriais, se forem gerados durante o processo produtivo industrial, ou ser Urbanos, se forem gerados nas lojas de óptica e

recolhidos pelos sistemas municipais. Isto, porque a sua natureza ou composição é semelhante aos resíduos provenientes de habitações e a sua quantidade não ultrapassa os 1100 l/dia [1].

Até à data em que se iniciou o presente trabalho, o destino final destes resíduos foi o aterro sanitário [3] o que faz deles contribuintes diários para os problemas associados à deposição de plásticos, nomeadamente, redução do tempo de vida útil do aterro, dificuldade de compactação dos resíduos depositados, e, prejuízo da decomposição dos materiais biodegradáveis, pela criação de camadas impermeáveis que dificultam a troca de líquidos e gases gerados no processo de degradação da matéria orgânica [2].

Segundo o Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE), aprovado em Janeiro de 2006, a capacidade nacional instalada de processamento de Resíduos Industriais não Perigosos, vulgarmente designados Resíduos Industriais Banais (RIB) era insuficiente e o tempo de vida útil dos aterros sanitários receptores de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) impunha a tomada de medidas importantes e urgentes como, a maximização da recuperação e valorização dos resíduos produzidos e a utilização dos aterros unicamente como recurso final para “resíduos últimos” [4].

Na sequência das considerações e objectivos definidos no PIRSUE foi elaborado em 2007 o “Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos” - PERSU II (Portaria n.º 187/2007 de 12 de Fevereiro) que estabelece, as metas a atingir e as acções a implementar para aumentar a eficiência e eficácia das práticas de gestão de RSU. Entre elas o reforço da reciclagem; o reforço da investigação no domínio da reciclagem e o estabelecimento de critérios de qualidade para os materiais reciclados, para Composto, para Combustíveis Derivados dos Resíduos (CDR) e para Combustíveis Sólidos Recuperados (CSR). No âmbito desta última medida está prevista a criação de um mercado organizado de resíduos [5].

Só na Europa são consumidas em média 30 milhões de toneladas de matérias plásticas por ano [6] e desse total, mais de 20 milhões de toneladas são transformadas em resíduos pelos diversos sectores de actividade [6]. Segundo dados de 2002, a maior fonte de resíduos plásticos são os resíduos sólidos urbanos que contribuem com 66,3% do total. A fracção mais pequena destes resíduos corresponde ao sector agrícola que gera apenas 1,5% do total de resíduos plásticos produzidos na Europa. A indústria automóvel juntamente com a electricidade e electrónica são os sectores individualizados que mais resíduos plásticos produzem, 4,7% e 4,1% respectivamente [6].

Neste contexto torna-se importante definir estratégias que permitam reduzir o grande problema que é a gestão da enorme quantidade de material plástico que é desperdiçado.

Atendendo a que se estima que existam, em Portugal, 4 milhões de portadores de lentes oftálmicas [7], que em média cada portador troca de lentes de 3 em 3 anos [8] e que os maiores produtores europeus de Lentes oftálmicas, têm fabricas em Portugal, parece importante conhecer a quantidade de resíduos produzida por esta actividade e quais os processos de valorização a que estes resíduos podem ser sujeitos. É neste âmbito que se insere a presente dissertação.

1.2. OBJECTIVOS

Considerando o panorama nacional no que diz respeito à produção e comércio de lentes oftálmicas e às políticas de resíduos actualmente em vigor, definiu-se o presente trabalho que tem como objectivos identificar os tipos de polímeros (plásticos) que constituem as lentes oftálmicas orgânicas (LOO), quantificar a produção nacional de resíduos de LOO e definir soluções de valorização para esses mesmos resíduos.

A escolha do tema do presente estudo prendeu-se com os seguintes factos:

- Os resíduos de lentes oftálmicas orgânicas (LOO) serem materiais plásticos que produzem impactes ambientais negativos;
- Os materiais em causa serem polímeros de elevada qualidade e valor comercial;
- As quantidades de resíduos de LOO produzidos anualmente em Portugal justificarem a sua caracterização e quantificação e
- Os resíduos em causa não possuírem praticamente contaminação, serem de fácil separação, armazenamento e transporte.

2. AS LENTES OFTÁLMICAS

2.1. EVOLUÇÃO DAS LENTES OFTÁLMICAS

As primeiras referências escritas à existência de lentes datam de 500 a.C. e encontram-se em documentos do filósofo chinês Confúcio. Estas lentes não tinham potência, ou seja, não eram graduadas, serviam apenas como adereço pessoal [9].

As lentes graduadas desenvolveram-se durante a idade média e eram constituídas por cristais de quartzo ou pedras semi-preciosas fatiadas e polidas de forma a produzir um aumento da visão ao perto [9].

A partir de 1000 d.C. aumentaram os conhecimentos sobre o comportamento do olho humano face à luz captada e desenvolveram-se as lentes de Berilo, também lapidadas e polidas de forma a aumentar a visão de perto. Estas eram utilizadas pelos Monges nos seus trabalhos de biblioteca e distinguiam-se pela sua nitidez e brilho [9].

As primeiras lentes de ver ao perto montadas em aros de ferro, ou seja, os primeiros óculos, foram encontrados na Alemanha, no século XIII. No entanto, o seu fabrico deverá ter tido origem em Itália por volta de 1280. Foi a partir desta altura que as lentes se tornaram conhecidas e populares [9].

A existência de lentes para correção da visão de longe (miopia) surge referenciada no livro de Nicolaus Cusanos “De Berillo” que data do século XV. No século XVIII surgem as lentes bifocais (visão de perto e visão de longe) e no século XIX surgiram, em Inglaterra, as primeiras lentes para astigmatismo [9].

No que diz respeito aos materiais, até há 60 anos atrás existiam apenas lentes minerais, feitas de cristal. Em 1941 foi introduzido o CR-39, como primeiro material orgânico, vulgo plástico, indicado para produção de lentes oftálmicas [10, 11].

Hoje, com o desenvolvimento das matérias orgânicas (plásticas), existem muitos materiais patenteados e comercializados com as mais variadas designações comerciais. No entanto, todos eles são polímeros sintéticos dos quais os mais conhecidos são o CR-39, o Policarbonato, os Médios e Altos índices e dentro destes o Trivex. A evolução destes

materiais tem sido no sentido de serem mais resistentes, mais leves e com melhor qualidade óptica.

2.2. OS MATERIAIS

Actualmente os materiais mais utilizados na produção de lentes oftálmicas são de origem orgânica (plástico) mas existem ainda produtores que fabricam e comercializam lentes em mineral (vidro) pelo seu baixo custo.

O vidro é um material em desuso no fabrico das lentes e com tendência para deixar de ser utilizado com este fim, pelos seus problemas de segurança, pelo seu peso e pelas suas limitações estéticas. Assim, decidiu-se centrar o presente estudo na quantificação e valorização dos resíduos das lentes oftálmicas fabricadas apenas com materiais orgânicos.

O facto da indústria óptica desenvolver muita investigação ao nível dos materiais utilizados como matéria-prima de lentes oftálmicas e do seu negócio envolver muito dinheiro, faz com que as grandes empresas patenteiem essas fórmulas e se torne muito difícil conseguir informação detalhada sobre as mesmas. Neste sentido, a presente dissertação caracteriza os materiais das lentes oftálmicas orgânicas (plásticas) em função da composição química de base dos seus materiais e das suas propriedades físicas, pois independentemente das suas especificidades todos os materiais utilizados pertencem à grande família dos **polímeros sintéticos**, vulgarmente designados por plásticos ou resinas e que se encontram bem estudados na Química Orgânica.

Os polímeros são materiais compostos por macromoléculas que por sua vez são cadeias compostas por uma unidade básica, o mero, repetida “n” vezes. O mero é um composto orgânico básico e o “n” corresponde ao grau de polimerização do polímero [12].

Existem polímeros naturais (seda, celulose, entre outros) e polímeros sintéticos (Policarbonato, Polietileno, Poliuretano, entre outros) [13]. Os polímeros sintéticos são produzidos industrialmente a partir, principalmente, do petróleo e do gás natural, mas existem outras matérias ricas em carbono que podem ser usadas para produzir polímeros [12] é o caso do carvão [2].

Apesar de existirem muitos tipos de polímeros sintéticos e de estarem sempre a ser desenvolvidos outros novos, é possível caracterizar estes materiais pelas das suas

propriedades básicas como é o caso das propriedades mecânicas. Sob esta característica, podem dividir-se os polímeros em Termoplásticos, Termofixos [2], Elastómeros (borrachas) [12] e Fibras [13].

No caso das lentes oftálmicas orgânicas, os polímeros utilizados no seu fabrico são os Termoplásticos e os Termofixos, pelo que será sobre estes que se centrará o presente trabalho.

Os polímeros **Termoplásticos** são os mais utilizados industrialmente e distinguem-se por poderem ser reprocessados várias vezes, através do mesmo ou de outros processos de transformação [15]. Isto é possível porque voltam facilmente à sua forma inicial (fluida), quando aquecidos acima da temperatura de “amolecimento” [11, 13].

Os polímeros **Termofixos** ou Termo-rígidos são materiais em que as suas moléculas estão ligadas entre si em forma de rede dando-lhe uma estrutura pouco flexível e com pouca liberdade [13]. Estes materiais uma vez moldados por um determinado processo de transformação, não podem mais sofrer novos ciclos de processamento, pois não se fundem novamente e, destroem-se se forem reauecidos, o que impede nova moldagem [11, 12, 14].

Designar estes dois tipos de polímeros por Plásticos é uma situação comum em diversos autores. No entanto, este não é um conceito unânime pelo que, neste estudo, é utilizado o termo polímero para designar os materiais em causa, à semelhança do que fazem alguns especialistas, distinguindo-se, pontualmente, os termofixos dos termoplásticos consoante o material que se esteja a tratar, não levantando, assim, quaisquer dúvidas sobre o rigor da sua classificação.

No que diz respeito aos polímeros que constituem as lentes oftálmicas, os mais conhecidos são:

- **CR-39TM**, este é o nome comercial com que ficou registada esta resina inventada pelos Laboratórios Columbia em Ohio, nos EUA. A sua fórmula é de um Di-carbonato Di-alila do Etileno Glicol, o que o coloca na categoria dos polímeros termofixos [21].
- **Policarbonato** é um polímero termoplástico da família dos poliésteres aromáticos [12]. O facto de ser um termoplástico permite-lhe ser remoldado várias vezes através de um processo de aquecimento e arrefecimento [14, 15]. O policarbonato é um polímero de engenharia, com elevadas capacidades técnicas e com várias aplicações. Uma delas é a produção de lentes oftálmicas. As suas características principais são a elevada

resistência ao impacto, a leveza, a transparência e a capacidade de bloqueio do raios UV. [8, 14]

- **Materiais orgânicos de médio/alto índice de refração (Poliuretanos)**, são polímeros pouco específicos quanto aos monómeros que utilizam, pois precisam apenas de ter ligações uretânicas entre as unidades orgânicas para pertencer a este grupo [20]. Os poliuretanos têm como reagentes um diisocianato e um poliálcool (etileno glicol, 1,4 butanodiol, dietileno glicol, entre outros), sendo este último determinante na definição das propriedades do poliuretano resultante. Como matéria constituinte de lentes oftálmicas destaca-se pela sua reduzida espessura, resultante do seu alto índice e pela sua dureza e resistência ao impacto (apesar de inferior ao policarbonato) [20]. Os poliuretanos constituem uma classe de polímeros importantes porque podem originar produtos macios ou duros, elásticos ou rígidos, dependendo das suas condições de síntese [22]. No entanto, os poliuretanos constituintes das lentes oftálmicas orgânicas são poliuretanos termoplásticos (TPU) constituídos, por exemplo, por repetidas unidades uretânicas (--NHCOO--) [18].

O Trivex[®], é um material relativamente recente que entra na categoria dos poliuretanos. Foi desenvolvido especialmente para a indústria de lentes oftálmicas e pode caracterizar-se por ser um pré-polímero de base uretânica [16] que combina as melhores características do Policarbonato com as do CR-39. As suas características mais importantes são, a resistência, a leveza, qualidade óptica (menos aberrações que o policarbonato) e o bloqueio dos raios UV, [8, 14, 16, 17].

Cada um destes materiais apresenta características ópticas diferentes como sejam o índice de refração, o número de Abbe, a espessura e a resistência ao choque [19].

2.3. O CICLO DE VIDA DAS LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS (LOO)

O ciclo de vida das lentes oftálmicas que são acabadas, distribuídas e comercializadas na Europa tem início na indústria petroquímica onde são produzidos os polímeros que estão na base da sua constituição. Os principais produtores de polímeros localizam-se maioritariamente em 2 continentes a Ásia (China, Japão, Tailândia ...) e América (EUA e Brasil). É lá que se produzem os blocos de resina (polímeros) que depois são trabalhados em Portugal e noutros países, dando origem às lentes oftálmicas acabadas que são vendidas nas

ópticas aos portadores de óculos de correcção visual (Figura 1). Depois de usadas pelo portador de óculos as lentes são depositadas nos contentores de resíduos indiferenciados indo parar ao aterro sanitário.

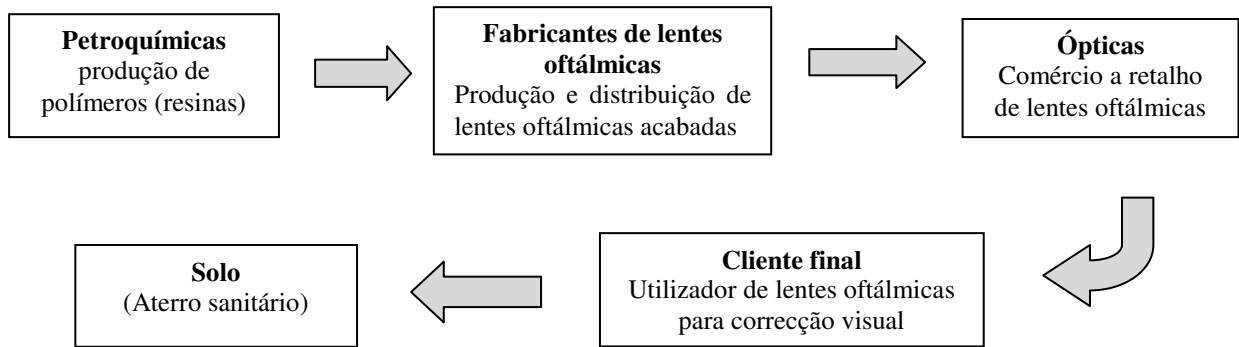


Figura 1 - Ciclo de vida das lentes oftálmicas

2.4. O FABRICO DAS LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS

O processo de fabrico das LOO merece referencia no âmbito da presente tese de dissertação porque permite perceber onde e como são gerados os resíduos que constituem o seu objecto deste estudo.

As LOO resultam de um processo de fabrico que tem quatro fases, conforme apresentado na Figura 2.

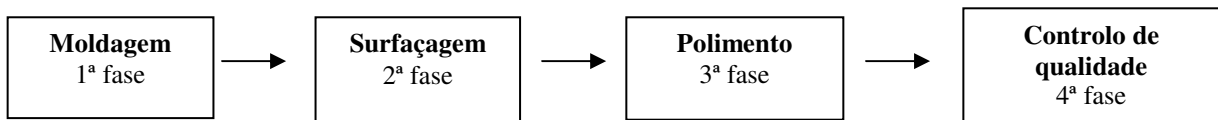


Figura 2 – Fases do fabrico de lentes oftálmicas

A primeira fase designa-se por **moldagem** e diz respeito à produção do bloco de material que servirá de matéria-prima para a fase seguinte. Esta fase tem várias etapas (adição de

componentes, enchimento dos moldes, cura, desmontagem e inspeção) [21] e dela resulta uma patela ou bloco oftálmico que pode, ou não, ter predefinida a forma de uma das suas faces. Os blocos com uma das faces acabada são normalmente designados por semi-acabados ou patelas.

As propriedades químicas e físicas destes blocos, que darão origem às lentes, dependem inteiramente do material que os compõe (CR-39, Policarbonato, Trivex ou Poliuretano).

Por norma, os blocos oftálmicos são produzidos por empresas diferentes das que à posteriori vão acabar o processo de fabrico da lente propriamente dita [3]. A primeira fase do processo (moldagem) está actualmente a cargo de empresas localizadas maioritariamente na Ásia e na América.

A segunda fase do processo de produção do qual resulta a lente acabada corresponde à **surfaçagem**. É nesta fase que entra o bloco de material previamente produzido (patela), (Figura 3). Como uma face já está acabada ela é protegida por uma película adesiva, a outra face vai ser desbastada, para que fique com a curvatura que confere à lente a potência (gradação) desejada (Figura 4) [9].

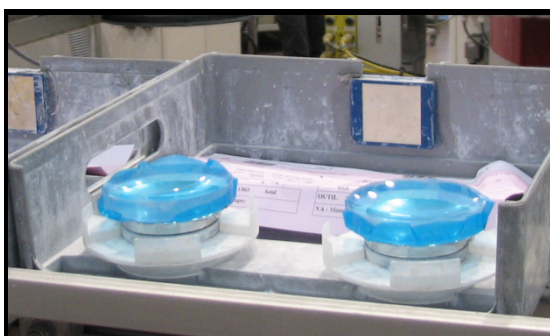


Figura 3 - Lente semi-acabada (patela) (depois do corte)

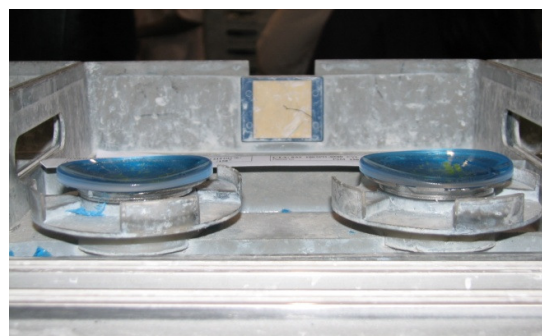


Figura 4– Lente trabalhada nas duas faces

É durante esta etapa que se produzem as aparas de plástico que vão constituir um dos tipos de resíduos de produção (industriais).

O processo de surfaçagem pode ser realizado utilizando duas tecnologias diferentes, a convencional que utiliza blocos semi-acabados, pelo que apenas vai desbastar a face interna do bloco oftálmico e a de última geração (“Free-Form”) que utiliza blocos em que ambas as faces estão por acabar.

A Tecnologia convencional, continua ainda a ser utilizada. O desbaste é efectuado por uma máquina de corte que segue as instruções de um computador que, através de cálculos matemáticos, determinou a curvatura interna certa para conseguir a graduação, o diâmetro e espessura pretendidas. [22]

A tecnologia “Free-Form” ou Surfaçagem digital é a última tecnologia disponível e caracteriza-se por utilizar blocos de plástico sem forma definitiva em nenhuma das faces. A surfaçagem digital combina uma máquina especial geradora de superfícies e um software de computador específico. Juntos, traçam curvas complexas nas duas faces do bloco de plástico produzindo lentes de alta qualidade, especialmente progressivas, pois o desenho da lente é adaptado aos parâmetros visuais do usuário. Esta tecnologia permite assim reduzir 30% as distorções das lentes, aumentar 20% os campos visuais e garantir uma precisão de 0,01 dioptrias em qualquer ponto da lente [23, 24].

No que diz respeito aos resíduos, eles serão idênticos em ambos os processos de fabrico. É nesta segunda fase do processo de fabrico que entram os produtores de lentes existentes na Europa e designadamente em Portugal.

A etapa seguinte no processo de fabrico consiste no **Polimento**, processo pelo qual é aperfeiçoada e polida a face ou as faces da lente adquirindo, estas, o seu brilho característico [22].

Depois de polidas, as lentes passam à fase de verificação, onde são conferidas através de um lensômetro, aparelho que verifica a graduação (medida em dioptrias) e o eixo. A espessura central e a do bordo da lente são também analisadas e as lentes estão prontas para ser submetidas ao **controlo de qualidade** (quarta fase) [22].

Depois de fabricadas, por qualquer um dos processos acima referidos, as lentes podem ser revestidas, na face exterior ou nas duas, por camadas superfinais que se designam habitualmente por “tratamentos”. Estes tratamentos são camadas especiais que são aplicadas, isoladas ou em conjunto, através de banho ou por choque de partículas, sobre a superfície da lente e que têm como objectivo aumentar a sua performance, introduzindo propriedades hidrofóbicas, Anti-reflexo e Anti-risco [24].

A composição dos tratamentos é actualmente uns dos aspectos técnicos que distinguem as marcas de lentes, pelo que cada receita se tornou um tesouro bem guardado. Sabe-se que são utilizados óxidos metálicos em concentrações muito baixas mas todas as fórmulas estão

patenteadas o que torna difícil o acesso a informação detalhada sobre estas camadas especiais. A sua referência neste trabalho deve-se ao facto de poderem interferir nos processos de valorização dos resíduos de LOO acabadas.

2.5. O COMÉRCIO DAS LENTES

O comércio de lentes oftálmicas caracteriza-se por ser a venda a retalho das mesmas ao consumidor final. Esta actividade que está, normalmente, a cargo das ópticas implica sempre o processamento das lentes e a consequente produção de resíduos porque à venda está associada a montagem das lentes nos aros. A montagem das lentes obriga a que as lentes acabadas fornecidas pelos produtores/distribuidores sejam cortadas à medida e forma do aro do cliente. Desse corte resultam *aparas* (resíduos de material) tal como na fase de superfície descrita, acima, no processo de fabrico. Este é, assim, um dos tipos de resíduos de LO associada ao comércio de lentes nas ópticas. O outro tipo de resíduos serão as *lentes de sucata*, ou seja, as lentes inutilizadas nesta fase do ciclo de vida e que resultam de falhas durante a montagem das lentes (quebras ou enganos humanos) e das entregas dos clientes, nomeadamente, quando substituem as lentes usadas por novas e decidem deixar na óptica as antigas.

2.6. O CONSUMO DE LENTES

Entende-se por consumo de lentes a utilização efectiva das mesmas após a sua compra. A este consumo está associada a produção de Resíduos de Lentes Oftálmicas (RLO) porque, como é inevitável, as lentes utilizadas por um portador vão degradar-se, e, mais cedo ou mais tarde, ser inutilizadas (lentes de sucata) tornando-se resíduo sólido urbano.

3. OS RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS (RLOO)

3.1. DEFINIÇÃO DO CONCEITO DE RESÍDUO DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS (RLOO)

No âmbito da presente dissertação, são considerados resíduos de lentes oftálmicas orgânicas (RLOO) as fracções de material polimérico (resina) que vão sendo desperdiçadas ao longo do ciclo de vida das lentes. Assim, pode considerar-se que existem dois tipos de RLOO independentemente da fase do ciclo de vida em que tal acontece e a forma em que se apresentam, lentes ou aparas.

3.2. FLUXO DE RESÍDUOS AO LONGO DO CICLO DE VIDA

Ao longo do seu ciclo de vida, as lentes oftálmicas, sofrem várias transformações desde que são apenas blocos de resina (lentes semi-acabadas) até que são montadas nos óculos do cliente final e depois deitadas para o “lixo” quando já estão inutilizadas. Durante todo este caminho vão sendo gerados resíduos de vários tipos. Os que interessam para o âmbito da presente dissertação são os desperdícios de material das lentes orgânicas (plástico) produzidos em Portugal.

Através da Figura 5 é possível perceber o fluxo dos resíduos que vão sendo gerados ao longo do ciclo de vida das lentes oftálmicas em Portugal.

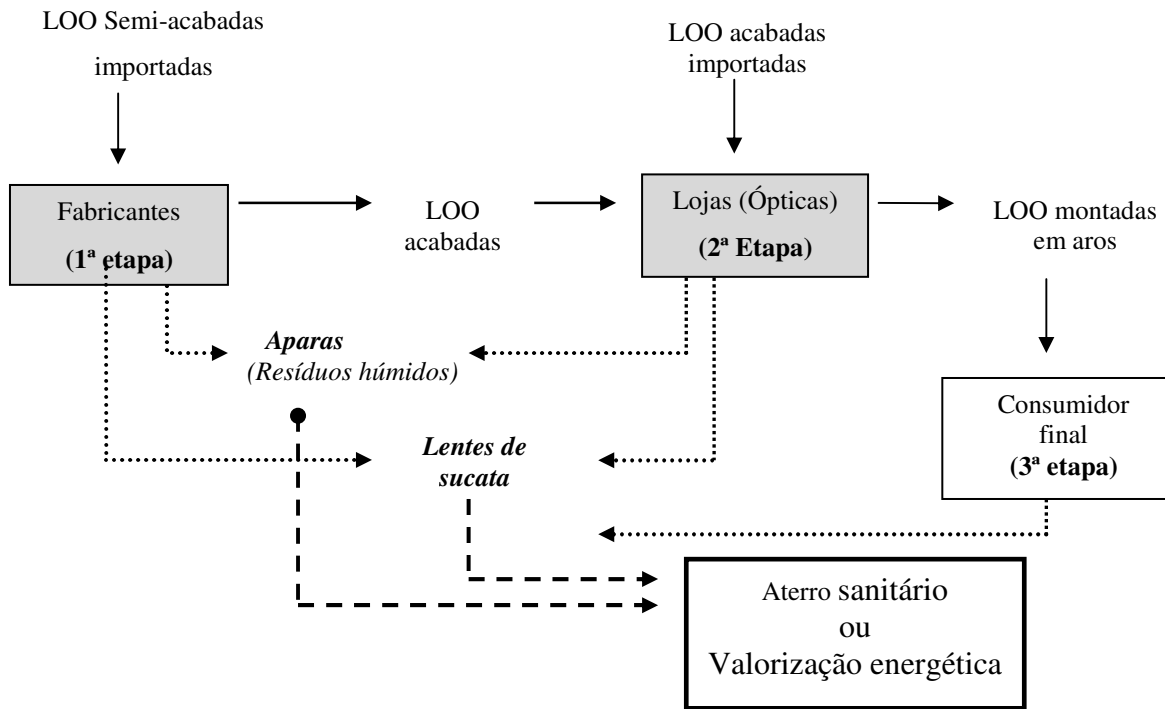


Figura 5 – Fluxo de resíduos ao longo do ciclo de vida das LOO em Portugal

A **primeira etapa** diz respeito à produção das lentes oftálmicas orgânicas por um fabricante numa unidade industrial, tal como descrito no capítulo anterior. Durante este processo são gerados resíduos provenientes do corte do bloco de material a que se chama LOO semi-acabada (patela) - as aparas. Como o processo de corte implica a presença de água, as aparas são resíduos húmidos que depois de conduzidos a um reservatório são sujeitos, em alguns casos, a um tratamento primário no sentido de reduzir a sua quantidade de água, antes de serem conduzidos para destino final.

Ainda nesta etapa, verifica-se também, a existência de desperdícios de material de LOO, seco, que corresponde às lentes que não passam no controlo de qualidade devido a falhas do sistema produtivo. Estes resíduos são armazenados e conduzidos a destino final como os anteriores.

Tendo em conta têm origem numa unidade industrial, ambos os tipos de resíduos gerados nesta etapa são classificados como resíduos industriais banais.

A **segunda etapa** do ciclo de vida representa o processo de comercialização das LOO acabadas. Estas lentes quando são vendidas a um portador (cliente) numa óptica apresentam uma forma esférica e um diâmetro standart suficientemente grande para ser montado num aro convencional. A medida dos diâmetros varia entre os 60 e os 80 mm. Para que a lente encaixe no aro do portador ela tem que ser cortada até ter a forma e a medida desejada. Mais uma vez, vão haver desperdícios de material (aparas) que formam um resíduo húmido tal como no processo produtivo.

Também nesta etapa do fluxo são gerados resíduos de material seco (lentes de sucata). Estes resultam do desperdício de lentes acabadas que são mal cortadas ou partidas durante a sua montagem e dos clientes que deixam as lentes antigas na loja quando compram novas.

Tendo em conta a sua origem, a sua inocuidade e as quantidades produzidas por estabelecimento, estes resíduos são classificados como urbanos (RSU).

A **terceira etapa** diz respeito à utilização das lentes oftálmicas, por parte dos consumidores e posteriormente à sua inutilização e deposição nos sistemas municipais de recolha de resíduos, transformando-se num RSU.

3.3. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS

Como já foi anteriormente referido, os resíduos estudados, no âmbito do presente trabalho, são apenas os resultantes do processamento de LO orgânicas (plásticas) pelo que não se caracterizaram os resíduos de LO minerais.

3.3.1. Origem

No que diz respeito à origem os RLOO podem ter três origens diferentes (fig.3):

- A **Índústria**, quando resultam directamente do processo produtivo, apresentando-se em forma de aparas, ou quando não passam no controlo de qualidade apresentando-se como lentes de sucata. Em ambos os casos são classificados como Resíduos industriais Banais (RIB).
- O **Comércio**, quando são gerados nas ópticas e resultam do corte das lentes acabadas (aparas) ou dos desperdícios de lentes acabadas (sucatas), nomeadamente, enganos de montagem e recolha de lentes de sucata deixados pelos consumidores Tendo em conta a

sua composição e o facto de a sua produção ser inferior a 1100 l /dia, classificam-se como Resíduos Sólidos Urbanos [1].

- **O consumidor final**, quando são gerados em habitações e resultam das lentes de sucata dos consumidores que não são entregues nas ópticas e que acabam por ser depositadas junto com os resíduos domésticos (RSU).

3.3.2. Forma

Os resíduos de LOO apresentam-se sob duas formas:

Aparas: Resíduos húmidos constituídos por partículas de material cortadas de um de um bloco de resina que, dependendo do seu tipo (CR-39, M/A I ou Policarbonato,.) apresentam um aspecto mais ou menos pastoso, respectivamente (Fig. 6, 7 e 8).



Figura 6 – Aparas de CR-39

Figura 7- Aparas de médios e altos índices

Figura 8 - Aparas de policarbonato

Lentes de sucata: Resíduos secos constituídos por lentes acabadas inteiras ou cortadas que se encontram inutilizadas (Fig. 9 e 10).



Figura 9– Lentes acabadas no fabricante de sucata

Figura 10- Lentes usadas de sucata

3.3.3. Estrutura

Tendo em conta o ciclo de vida das LOO (fig. 2) e o fluxo de resíduos que lhe está associado (fig. 3) pode afirmar-se que as características físico-químicas do resíduo gerado na primeira etapa do fluxo são as mesmas do resíduo gerado na última e só dependem do material que estiver a ser utilizado no seu fabrico. Isto acontece porque, o material da lente não sofre alterações de estrutura ao longo do ciclo de vida. O que vai mudando, basicamente, é a sua forma.

A única diferença efectiva que pode existir é entre o resíduo de corte das lentes semi-acabadas (aparas industriais) e os resíduos das fases seguintes do seu ciclo de vida, no caso das lentes que depois de acabadas são reforçadas com camadas extra (sub-capas), nomeadamente, colorações e tratamentos especiais, de endurecimento e/ou anti-reflexo. Estes revestimentos visam aumentar o desempenho do material enquanto lente oftálmica [11].

Assim, o material das lentes de sucata que incluam estes revestimentos, poderá ter um comportamento ligeiramente diferente do material original quando sujeito aos diversos processos de valorização que existem para estes resíduos.

3.4. VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS

A valorização de resíduos incluiu todas as operações que permitam o reaproveitamento dos resíduos. Estas operações podem ser divididas em duas categorias: reciclagem (material ou orgânica) e valorização energética (incineração com recuperação de calor) [25].

No caso dos resíduos de LOO, como se tratam de polímeros, apenas se considerou a reciclagem material e a valorização energética.

3.4.1. Reciclagem

De acordo com o estabelecido na Lei-Quadro dos resíduos (DL. N.º 178/2006 de 5 de Setembro), a Reciclagem é o reprocessamento de resíduos com vista à recuperação e ou regeneração das suas matérias constituintes em novos produtos a afectar ao fim original ou a fim distinto [1].

Portugal possui uma capacidade global de reciclagem de plásticos estimada em cerca de 45 mil toneladas por ano, valor que é claramente excedentário relativamente às quantidades recolhidas [26] que foram, em 2008, 34 mil toneladas [51].

Um dos principais problemas da reciclagem tem a ver com o grau de contaminação dos materiais. Apesar de muitos contaminantes serem possíveis de remover através de lavagem e refinação, existem outros que não o são, nomeadamente, contaminantes químicos ou físicos que são incorporados na estrutura dos próprios resíduos. Nestes casos, existe uma degradação das propriedades dos materiais a reciclar, diminuindo o seu valor e limitando o leque de possíveis aplicações ou, inclusivamente, tornando-os impróprios para reciclagem [25].

No caso da reciclagem dos polímeros (plásticos) existe ainda outro problema que tem a ver com o facto de existirem mais de 1000 polímeros diferentes utilizados na produção de bens de consumo [26]. Como o sucesso da reciclagem está directamente relacionada com a pureza dos materiais é fundamental que a separação dos polímeros seja eficiente, o que não é fácil tendo em conta que grande parte dos polímeros não se separa manualmente e que a separação mecânica nem sempre é eficaz [25]. Uma das possibilidades de os separar automaticamente quando misturados é utilizando as diferenças de densidade e, muitas vezes, não é possível por não possuírem densidades suficientemente distintas. Para a densidade de um plástico contribuem a sua composição, o tamanho da cadeia polimérica e os aditivos que o compõem (plastificantes, corantes e cargas) [27].

A maneira mais eficiente de ultrapassar o problema da separação dos materiais é evitar a sua mistura. Isso consegue-se fazendo uma recolha selectiva na origem, por tipo de plástico ou por agrupamento de plásticos compatíveis [27].

A reciclagem de polímeros (plásticos) pode ser classificada em três categorias, primária, secundária, e terciária [14].

Existem autores que referem quatro categorias pelo facto de considerarem a valorização energética como um tipo de reciclagem [14]. No entanto, na presente dissertação seguiu-se a distinção efectuada pela Lei-Quadro dos resíduos [1] deixando a valorização energética fora da Reciclagem.

A **reciclagem primária** ou pré-consumo, consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento convencionais em produtos com características

equivalentes àsquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens. Exemplos destes resíduos são as aparas provenientes dos moldes ou dos sectores de corte [13, 14].

A reciclagem primária é feita com polímeros industriais pelo facto destes serem limpos e de fácil identificação. O reaproveitamento do material pode ser realizado na própria indústria geradora ou por outros transformadores [14]. No entanto, esta reutilização também tem limitações, no que diz respeito ao número de vezes que um polímero pode ser reciclado, devido ao envelhecimento e conseqüente degradação a que está sujeito [29].

No caso dos resíduos industriais de LO produzidos em Portugal não é possível utilizar este tipo de reciclagem porque o pequeno grau de contaminação que lhes é conferido pela película plástica que reveste uma das faces da lente durante o seu corte (surfaçagem) inviabiliza a sua reutilização na produção de matérias com as características das originais.

A **reciclagem secundária**, mecânica ou pós-consumo, consiste na conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos, por um único processo ou uma combinação de processos, em produtos que tenham requisitos de desempenho inferiores aos do produto obtido com material virgem. O sucesso desta operação depende obviamente a correcta separação dos mesmos uma vez que à partida, se encontraram misturados com outros materiais [13].

As etapas genéricas de um processo de reciclagem mecânica de polímeros são: trituração, lavagem, secagem, aglomeração, extrusão e granulação.

A extrusão é um dos métodos mais utilizados para reciclagem secundária de polímeros e consiste em fazer passar, sob a acção da pressão, um material através de um orifício com forma mais ou menos complexa (fieira), de modo a fazer com que o material adquira uma secção transversal igual à do orifício.

Na extrusão de termoplásticos, como é o caso do policarbonato, o polímero é fundido dentro de um cilindro antes de passar na fieira e quando saí da matriz parcialmente amolecido é arrefecido numa calandra com água. Este processo é, normalmente, contínuo, sendo usado para a produção de perfis que depois são picotados para obter o grão ou pellet [36].

O policarbonato (PC) resultante do processo produtivo de LOO é um bom exemplo de polímero que pode ser sujeito a reciclagem secundária, nomeadamente, para a produção de material eléctrico como fichas, interiores de interruptores [31], lentes de colimação para

LEDs [32] devido à sua resistência ao choque e à temperatura, peças para a indústria automóvel pára-choques, luzes de sinalização, placas de matrícula, CD's e DVD's.

No caso dos M/A I (poliuretanos) sendo termoplásticos podem também ser reciclados mecanicamente. Uma das aplicações referidas na bibliografia para o poliuretano reciclado é a na fabricação de novos polímeros, ou seja, sendo usado, junto com polímeros diferentes, para produzir um copolímero (blenda) que reúne características dos dois anteriores [33].

No caso do CR-39, sendo um polímero tremofixo, não é possível de recicla-lo usando os métodos normais da reciclagem mecânica (temperatura). Assim, só é possível reaproveitá-lo triturando-o e utilizado para melhorar as propriedades de alguns materiais betuminosos [34].

A **reciclagem terciária** ou química consiste na produção de produtos químicos ou combustíveis, a partir de resíduos poliméricos usando processos termoquímicos (pirólise ou conversão catalítica), [13, 14].

A pirólise define-se como o processo de degradação térmica de materiais orgânicos perante a ausência de oxigénio. Este processo de reciclagem química apresenta-se bastante indicado para situações em que não existe uma separação eficaz dos diversos materiais constituintes dos resíduos, pois tem a capacidade de recuperar compostos e energia a partir de uma mistura de plásticos [35].

A utilização da pirólise como processo de reciclagem de polímeros implica a utilização de um método eficiente de redução dos compostos tóxicos dos resíduos, para que os produtos resultantes sejam seguros [36].

A degradação dos materiais por pirólise produz três fracções distintas, uma gasosa que corresponde a um **gás de elevado poder calorífico** que pode ser usado como combustível para alimentar o próprio processo, uma líquida que corresponde ao **óleo combustível** e uma sólida que corresponde ao **resíduo do processo** repleto de impurezas e metais pesados [36]

Estudos recentes consideram a reciclagem química um método eficiente de valorização de resíduos plásticos [37]. No entanto, é um método que ainda se encontra numa fase de estudo e desenvolvimento processual e tecnológico, daí a sua reduzida implementação. Existem já algumas unidades em operação, mas nenhuma se localiza em Portugal [26].

A conversão catalítica consiste na degradação da cadeia polimérica do material plástico através da utilização de compostos químicos que funcionam como catalisadores na quebras das ligações entre os monómeros.

Este processo de reciclagem química surge na bibliografia recomendado para os resíduos de policarbonato, nomeadamente os CD e DVD's [52].

3.4.2. Valorização energética

A valorização energética que para alguns autores é considerada a reciclagem quaternária [13], à luz da legislação em vigor, é a operação de reaproveitamento de resíduos como combustível ou outros meios de produção de energia [1].

De acordo com McDougall *et al.* [2], o tratamento térmico de resíduos como forma de recuperar energia, é um processo de valorização que consiste na queima dos resíduos com vista à produção de vapor que, através de um mecanismo específico, se transforma em electricidade.

A valorização energética de resíduos é considerado por alguns autores (van Santen *in* McDougall [2]) como uma alternativa viável ao uso de combustíveis fosseis para produzir energia.

Este método de valorização aplicado aos resíduos poliméricos consiste num processo tecnológico de recuperação da sua energia por incineração controlada. Tendo em conta que o valor energético dos plásticos é equivalente ao de um óleo combustível, podem considerar-se estes resíduos como uma valiosa fonte de energia, não obstante as condições que têm que ser asseguradas durante a queima para garantir a não libertação de substâncias perigosas para a atmosfera [13, 14].

No caso dos plásticos que são separados na origem (pouco contaminados), como é o caso dos RLOO, que não podem ou não devem ser reciclados, McDougall *et al* [1 a] considera que o mais recomendável é utiliza-los como combustível.

Neste sentido, e em última análise, esta solução será sempre possível de aplicar aos resíduos de lentes oftálmicas plásticas.

Apesar da valorização energética de resíduos ainda ser um processo de tratamento pouco implementado, em parte devido às emissões de poluentes que lhe estão associadas, os

últimos estudos consideram que já tem “robustez” suficiente para ser investigado e desenvolvido tecnologicamente pois constitui uma solução bastante sustentável para os resíduos sólidos plásticos [37].

4. METODOLOGIA

4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica teve início em Outubro de 2007 e teve como objectivo caracterizar o estado actual dos conhecimentos sobre os materiais das lentes oftálmicas, os resíduos associados ao seu ciclo de vida e as soluções de valorização existentes para este tipo de resíduos.

Esta revisão consistiu na pesquisa, em bases documentais nacionais e internacionais, em formato de papel e digital, da seguinte informação:

- Materiais constituintes de lentes oftálmicas plásticas e sua evolução temporal;
- Pormenores do processo produtivo que influenciem a qualidade dos resíduos produzidos;
- Propriedades dos polímeros termoplásticos e termofixos que constituem os resíduos e,
- Técnicas e tecnologias disponíveis para valorização de polímeros.

Além da pesquisa documental contribuíram para a revisão bibliográfica as reuniões com agentes envolvidos na produção, no comércio e na valorização destes produtos e as visitas realizadas às unidades industriais de produção de lentes e reciclagem de polímeros.

4.2. RECOLHA DE DADOS

4.2.1. Recolha de dados estatísticos

Os dados estatísticos apresentados e trabalhados foram recolhidos junto do Instituto Nacional de Estatística (INE).

Dados relativos às empresas do sector da óptica que operam em Portugal

Tendo como objectivo a caracterização das empresas envolvidas directamente na produção nacional de RLOO, foi recolhida o máximo de informação possível sobre o seu número, dimensão e localização geográfica.

Em primeiro lugar, identificaram-se os Códigos de Actividade Económica envolvidos:

CAE 33401 - Fabricação de material óptico e oftálmico

CAE 52482 - Comércio a retalho de material óptico, fotográfico, cinematográfico e de instrumentos de precisão

Em segundo lugar, solicitou-se ao INE a informação pretendida. Esta entidade, através do departamento de metodologia estatística, serviço de ficheiros de unidades estatísticas, forneceu uma relação das empresas com as CAE acima referidas existentes em Portugal, por concelho e com informação relativa ao número de pessoas ao serviço e volume de negócios. A base de dados fornecida tem data de Agosto de 2007.

Como ambas as CAE são mais abrangentes que o universo de empresas pretendido foi necessário filtrar a informação fornecida de forma a obter uma base de dados relativa apenas às empresas produtoras de lentes, e não de outro material, e uma base de dados relativa apenas às lojas de óptica.

No caso dos produtores foi confirmada a sua actividade através do seu site institucional ou pelo telefone. No que diz respeito às ópticas, a selecção foi efectuada com base na designação da sua actividade incluída na designação da empresa.

Dados relativos às quantidades de LOO importadas e exportadas por Portugal

Foram fornecidas pelo INE as estatísticas do comércio internacional, uma base de dados relativa às quantidades de LOO acabadas (Cod. 9001580) e LOO semi-acabadas (Cod.9001541 + 9001449), por país de origem, que entraram e saíram de Portugal em 2007. Com base nesta informação e por indicação do INE foi consultada directamente, no seu sitio na internet, a base de dados do Eurostat para o comércio internacional (External Trade Database) e recolhida a mesma informação referente aos anos entre 2000 e 2008, inclusive.

4.2.2. Recolha de dados relativos aos RLOO industriais

Sendo os RLOO resultantes do processo de fabrico os que terão maior expressão em termos de quantidades, revelou-se muito importante obter dados concretos sobre as suas características e quantidades produzidas.

Os dados pretendidos foram solicitados às empresas fabricantes de LOO no decorrer das entrevistas realizadas com os seus responsáveis ou por contacto telefónico. Foram

contactadas empresas representativas de todos os escalões de dimensão existentes (muito grandes, médias, e pequenas)

A obtenção dos referidos dados revelou-se por vezes difícil dado a confidencialidade das informações associadas a valores de produção ou fórmulas de materiais.

Determinação do peso médio de uma lente orgânica acabada

Considerou-se importante determinar o peso médio de uma LOO acabada para poder, depois, determinar a quantidade de resíduo de material que se produz por lente processada durante o processo de fabrico.

Tendo em conta que o peso de uma lente oftálmica depende directamente da sua graduação (potência) e do material que a constitui, definiu-se uma amostragem do peso das lentes orgânicas acabadas com os seguintes requisitos:

- Fazer distinção entre o peso das lentes de policarbonato e das lentes de outras resinas;
- Abranger lentes com varias graduações (potências).

Considerou-se que a gama de lentes mais vendidas inclui 25 potências diferentes, pelo que se definiu como universo da amostra 100 lentes de Policarbonato e 100 lentes de outras resinas.

A amostragem decorreu na loja de Faro da Dimas Graça L.da e durante alguns dias, foram pesadas todas as lentes orgânicas acabadas que chegaram à loja para serem montadas em aros.

Foi feita a distinção das lentes de policarbonato das outras matérias e registado o seu peso. Trataram-se os dados e determinou-se o peso médio de uma lente acabada do fabricante de Policarbonato e de uma lente acabada outra resina (CR-39, ou Médio e Alto índices)

Determinação da quantidade de resíduos gerados durante o fabrico de uma LOO

A determinação desta quantidade em gramas teve por base o conhecimento do peso médio de uma lente semi-acabada (patela) e o peso médio de uma lente acabada do mesmo material. Por diferença, calculou-se a quantidade média de resíduos gerados por cada lente orgânica produzida.

4.2.3. Recolha de dados relativos aos RLOO gerados no comércio (ópticas)

Como já foi referido, os resíduos gerados nas lojas de óptica que interessam para o presente estudo são lentes orgânicas que são inutilizadas durante as montagens ou as trocadas aos clientes que as deixam na loja (sucatas) e as aparas resultantes do corte das lentes para montagem.

Uma vez que estes resíduos não são, actualmente, contabilizados pelos ópticos, foi necessário realizar uma amostragem dos mesmos para obter dados sobre as quantidades envolvidas.

Amostragem dos RLOO produzidos nas ópticas

Com vista à determinação da quantidade de LOO de sucata que são possíveis de recolher nas ópticas para valorização foi elaborado um plano de amostragens com o objectivo de recolher todas as lentes de sucata que fossem originadas nas ópticas por erros de montagem ou por entrega dos clientes, nas empresas definidas, durante um determinado período de tempo. A caracterização dos RLOO recolhidos por material foi o segundo objectivo desta amostragem

A campanha de amostragens decorreu durante 2008, e contemplou ópticas de diferentes dimensões e localizações geográficas com vista à obtenção de um universo representativo do cenário nacional.

Definição da amostra

Para que a amostra fosse representativa considerou-se que deveria englobar ópticas de várias dimensões e que estivessem distribuídas por todo o território nacional. Para tal foram contactadas várias cadeias de ópticas, uma de âmbito local (2 lojas), uma de âmbito regional (4 lojas) e outra de âmbito nacional (230 lojas) [39].

A receptividade ao projecto por parte das várias administrações foi positiva e todas aceitaram participar na campanha de amostragem definida, no entanto a cadeia de lojas de âmbito nacional, Optivisão, não conseguiu mobilizar todos os associados pelo que só foi possível comprometer com o projecto as lojas próprias do grupo (47 ópticas) (Quadro 1).

Quadro 1 - Caracterização do universo de ópticas amostrado

Nome da cadeia	Âmbito	Dimensão	n.º de lojas	Localidades
Oculista Central das Avenidas	Local	Grande	2	Lisboa
Dimas Graça	Regional	Média	4	Faro (2 lojas) Quarteira Albufeira
Optivisão	Nacional	Grande	47	Todo o país (Anexo I - quadro A1)

No que diz respeito ao parâmetro Dimensão, este foi definido com base nos escalões de volume de negócios anuais utilizados pelo INE para categorizar as empresas. As classes deste parâmetro encontram-se explicadas no Anexo I - Quadro 2.

Plano de amostragem

Depois de identificado o universo de cadeias de lojas participantes foi elaborado um plano de amostragem para cada uma. O plano de amostragem definia as datas em que seria recolhida a amostra, os materiais a utilizar (recipientes, cartazes informativos...), a sua localização e a informação a fornecer aos colaboradores envolvidos no projecto (Quadro 2). O referido plano foi entregue aos gerentes das respectivas cadeias de lojas que ficaram responsáveis pela sua divulgação e implementação.

Quadro 2 – Planos de amostragem

Cadeia	Data da amostragem	Materiais necessários	Locais de recolha	Informação aos funcionários
Oculista Central das Avenidas	15 /07/2008 a 15/08/2008 (30 dias)	- Recipientes para depósito de lentes. - Cartazes com informação para o consumidor, (Anexo II, Imagem 1)	- Balcão ou balcões de atendimento; - “Oficina” de montagem de lentes.	- Objectivo do trabalho; - Tipo de lentes a recolher: graduadas orgânicas. - Argumentos a apresentar aos clientes aquando da troca de lentes para que as deixem na óptica. - Como armazenar as lentes recolhidas.
Dimas Graça	01/04/2008 a 30/11/2008 (240 dias)	Recipientes para depósito de lentes.	- Balcão ou balcões de atendimento; - “Oficina” de montagem de lentes	- Objectivo do trabalho; - Tipo de lentes a recolher: graduadas orgânicas. - Argumentos a apresentar aos clientes aquando da troca de lentes para que as deixem na óptica. - Como armazenar as lentes recolhidas.
Optivisão	01/07/2008 a 30/07/2008 (30 dias)	- Recipientes para depósito de lentes. - Cartazes com informação para o consumidor (Anexo II, Imagem 1)	- Balcão ou balcões de atendimento; - “Oficina” de montagem de lentes.	- Objectivo do trabalho; - Tipo de lentes a recolher: graduadas orgânicas. - Argumentos a apresentar aos clientes aquando da troca de lentes para que as deixem na óptica. - Como armazenar as lentes recolhidas.

Representatividade da amostra

A qualidade e a validade dos resultados de um estudo dependem, em grande parte, da representatividade da amostra.

Uma vez que se pretendia uma amostra representativa da população em estudo, foi utilizada a equação definida por Duarte [40] para averiguar se a amostra podia ser considerada representativa da população finita (Equação 1). Para calcular a dimensão adequada da amostra (n) de uma população finita (N), quando se pretende estimar uma proporção da população (p), utiliza-se a equação 1 referente a uma amostra aleatória simples e que garante um nível de precisão D [40].

$$n = \frac{p \times (1-p)}{\frac{D^2}{Z^2} + \frac{p \times (1-p)}{N}} \quad (\text{Eq.1})$$

O cálculo da dimensão da amostra é baseado nos seguintes pressupostos [40]:

- Assume-se a hipótese mais pessimista, ou seja, quando a dispersão é máxima e a proporção (p) é 0,5, sendo que a função [$p \times (1 - p)$] assume o valor máximo de 0,25;
- Usa-se um nível de confiança de $\cong 95\%$, para o qual o nível de precisão é $D=\pm 5\%$;
- Para este nível de confiança a distribuição normal apresenta $Z=1,96$.

De acordo com Duarte [40] a amostra será representativa se tiver no mínimo o valor n .

Tratamento da amostra

Implementados os planos de amostragem e recolhidas as amostras conseguidas por cada cadeia de lojas, foi efectuada, em laboratório, a caracterização da amostra no que diz respeito aos materiais constituintes das lentes (polímeros).

A caracterização consistiu na identificação e separação das lentes de policarbonato (polímero termoplástico) das lentes pertencentes às restantes resinas (CR-39, e Médios e Altos índices).

A separação dos materiais foi manual e teve por base as marcas que os fabricantes fazem nas lentes para identificar os materiais das mesmas. Sempre que as lentes não estavam identificadas foi efectuada o teste de corte que consiste no desbaste da lente utilizando uma biseladora manual. Este método permite distinguir o policarbonato dos outros materiais, porque só o corte do policarbonato produz uma aparas do tipo fita. Os outros materiais produzem aparas em forma de pó, devido à sua reduzida dimensão.

As amostras recolhidas nas várias cadeias de lojas continham lentes de vidro misturadas com as lentes orgânicas (plástico), pelo também que se contabilizou, a fracção existente de lentes minerais, no sentido de perceber quanto pode crescer o consumo de lentes orgânicas, dado que a tendência será o mineral (vidro) ser, no futuro, totalmente substituído por materiais orgânicos.

Depois de identificados os materiais das lentes, foram contadas e pesadas as lentes de cada fracção de material recolhidas em cada loja. Esta operação permitiu conhecer a percentagem

de cada material no universo de lentes amostrado, assim, como o peso médio de uma lente por tipo de material.

A cadeia de lojas Oculista central das Avenidas tinha, por acaso, armazenadas a maior parte das lentes de sucata geradas, por erros de montagem, nas suas ópticas, durante os anos de 2005, 2006, 2007 e 2008. No caso de 2008 apenas até à data da amostragem (Janeiro a 15 Julho).

A caracterização e quantificação da amostra (2005 a 2008), que não pertence ao plano de amostragens definido neste trabalho, foram realizadas apenas com a intenção de perceber quais os materiais de LO mais vendidos nos anos referidos, e qual a variação de quotas de mercado entre eles ao longo destes anos, dando-nos uma ideia da evolução, das quantidades vendidas de cada tipo de material nos últimos 4 anos.

4.2.4. Determinação da taxa de recuperação de lentes

Para determinação da quantidade de lentes de sucata RLO depositadas nas ópticas em resultado da sua entrega por parte dos clientes, foi comparado o número de lentes recuperadas com o número de lentes vendidas em igual período. Esta análise foi feita para as lojas das cadeias de lojas Dimas Graça e Oculista Central das Avenidas. Da Optimização não foi possível conhecer os valores de vendas.

Esta comparação permitiu determinar a taxa de recuperação (em percentagem) de lentes de sucata por loja, ou seja, por cada 100 lentes vendidas quantas outras foram recolhidas na loja, fruto dos erros de montagem ou deixadas pelos clientes.

4.2.5. Visita a ópticas, unidades produtoras de LOO e unidades recicladoras de plásticos

As visitas realizadas incluíram entidades representativas de todos os intervenientes no fluxo nacional de resíduos de LOO e tiveram como objectivo obter informações sobre os materiais das lentes, os processos envolvidos em cada fase do ciclo de vida e os resíduos decorrentes de cada um desses processos.

As visitas consistiam numa entrevista com o responsável da empresa para o assunto em causa e numa visita guiada às instalações, no sentido de perceber e visualizar os procedimentos utilizados e os resíduos envolvidos.

As entrevistas realizadas tiveram como guia uma “Checklist” elaborada no sentido de obter as informações pretendidas (anexo I- Quadros A5 e A6).

Ópticas - Dimas Graça e Oculista Central das Avenidas

A Óptica Graça, em Faro e a Óptica Central das Avenidas, em Lisboa disponibilizaram-se para colaborar no presente estudo e proporcionaram uma visita guiada às suas instalações, pelo que foi possível visualizar e entender onde e quando se formam resíduos os RLOO decorrentes da sua actividade comercial.

Essilor Portugal

A Essilor Portugal é o maior fabricante e distribuidor de LO em Portugal e, por isso, revelou-se indispensável uma visita às suas instalações. Por outro lado o seu desempenho é considerado exemplar visto ter implementado um sistema de gestão ambiental.

A primeira visita às suas instalações, em Rio de Mouro, decorreu, de acordo com o que estava planeado e consistiu numa entrevista com o engenheiro responsável pelo departamento de qualidade e ambiente tendo por base a “checklist” referida (Anexo I – Quadro A5. No entanto, algumas questões ficaram sem resposta por imposição da administração da empresa. Neste sentido, foi efectuada uma reunião, mais tarde, com a Administração da Essilor com o objectivo de obter mais informação no que diz respeito aos materiais e quantidade de RLOO.

Durante a visita guiada foi possível observar todas as fases do processo produtivo.

Carl Zeiss Vision – Iola

A Carl Zeiss Vision, encontra-se entre os três maiores produtores de LO, em Portugal depois da Essilor, e, tal como no caso anterior, foi efectuada uma entrevista com a engenheira responsável pelas questões ambientais da empresa, nas quais se incluem os resíduos, seguida de uma visita guiada às instalações fabris.

Durante a entrevista utilizou-se a “checklist” elaborada para os fabricantes (anexo I- Quadro A5) como orientação para recolher informação sobre os materiais e quantidades de resíduos. Durante a visita guiada a observação directa do processo de fabrico e a troca de impressões com os operadores, permitiu esclarecer algumas dúvidas que existiam acerca do mesmo.

Recicladores - Extruplás

A Extruplás, reciclagem, recuperação e fabrico de produtos plásticos, L.da é uma empresa que produz perfis de plástico altamente resistentes, sob o nome comercial Plascer. Os materiais plásticos utilizados como matéria-prima são provenientes de resíduos industriais e de resíduos urbanos compostos por plásticos mistos (diferentes tipos de polímeros) que recebe de outras entidades. Tendo em conta o tipo de material processado considerou-se que podia ser um dos possíveis recicladores dos RLOO constituídos por polímeros termoplásticos e termofixos. Nesse sentido, foi efectuada uma visita que consistiu na entrevista de um membro da direcção da empresa e na observação directa dos materiais plásticos armazenados e que se destinavam à reciclagem [42].

Durante a entrevista utilizou-se a “checklist” elaborada para os recicladores (Anexo I – Quadro 6), com vista ao conhecimento dos aspectos técnicos da sua actividade e à recolha de informação específica para os materiais em estudo.

Não foi possível observar o processo de produção de perfis de plástico reciclado por ainda não estar activa a unidade do Seixal. No momento da visita apenas estava a operar a unidade localizada na Trofa.

4.2.6. Análise do grau de humidade dos resíduos resultantes do corte de LO (aparas)

O grau de humidade dos resíduos sólidos de LOO que se formam durante o processo de surfacagem (corte de lentes) foi um dado fornecido pelos fabricantes de LO visitados [3, 46] e dizem respeito aos seus resíduos em particular. Os valores fornecidos foram comparados com o valor determinado em laboratório utilizando amostras de RLOO em forma de aparas produzido numa óptica da cadeia Dimas Graça Lda.

Recolha das amostras

Como o corte de lentes por uma biseladora implica a utilização de água corrente, as aparas resultantes ficam húmidas e são descarregadas num reservatório por gravidade. O referido reservatório possui, normalmente, um filtro que retém as aparas de dimensões maiores. As aparas de dimensões mais pequenas (pó) passam para o reservatório de líquido onde decantam, posteriormente, formando uma pasta (Figura 11). Neste sentido, foram recolhidas amostras das duas fracções de aparas, as do filtro e as do decantado.



Figura 11 – Imagem do reservatório que recebe as aparas resultantes do corte das lentes.

A biseladora utilizada no corte das lentes pela Dimas Graça foi mecânica e de funcionamento electrónico, idêntico ao das biseladoras industriais utilizadas no fabrico das lentes, o que permite considerar que os resultados obtidos neste teste são representativos do grau de humidade dos RLOO (aparas) de ambas as origens, industriais e de ópticas.

Tratamento da amostra

Obtidas as amostras foi determinado o seu grau de humidade com base no método standartizado para determinação de sólidos em suspensão totais [41].

O valor obtido foi, depois comparado com os fornecidos pelos fabricantes de LO.

4.2.7. Soluções de valorização

Tendo em conta os materiais dos RLOO identificados como possíveis de valorizar foram procurados recicladores de plásticos que recebessem e tratassem os polímeros em causa, no sentido de identificar as tecnologias envolvidas e as potencialidades dos materiais.

Além da visita realizada à Extruplás L.da atrás referida, foram efectuados contactos com outras entidades ligadas à reciclagem de materiais plásticos que tiveram como objectivo obter informação sobre os processos de reciclagem que se aplicam aos vários tipos materiais dos RLOO.

À Plastval, foi solicitada informação sobre entidades recicladoras dos materiais estudados e valores de mercado para os resíduos de cada um dos polímeros em causa.

A Plastval é uma sociedade anónima, constituída por indústrias representativas do sector dos plásticos, pelo que representa a fileira no Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagem (SIGRE). É da sua responsabilidade a valorização dos resíduos de embalagem de plástico provenientes da recolha selectiva e triagem [26].

Dos contactos efectuados com recicladores de plástico, no sentido de conhecer a sua disponibilidade para receber os resíduos em causa, é de destacar o reciclador Daniel J. Morais L.da que forneceu dados importantes sobre os resíduos que trata, o valor dos materiais e o funcionamento do mercado de resíduos.

O estudo da valorização energética como solução para os RLOO foi efectuado com base na informação disponível sobre as unidades de incineração com recuperação de energia existentes em Portugal.

4.3. REDACÇÃO DA TESE

A redacção da presente tese de dissertação foi sendo efectuada a par da realização de outras tarefas tendo sido, no entanto, mais profícua na fase final, depois de obtidos todos os resultados. Teve início em Outubro de 2007 e decorreu até Dezembro de 2009.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PRODUTORES DE RESÍDUOS DE LOO EM PORTUGAL

Como já foi referido anteriormente, os RLOO na sua maioria são gerados pelas empresas que produzem as lentes (fabricantes) e pelas ópticas que as comercializam e montam em aros.

A capitação nacional para este tipo de resíduos está, assim, directamente relacionada com as características dos fabricantes e dos comerciantes de lentes oftálmicas que operam em Portugal.

5.1.1. Identificação dos fabricantes de lentes oftálmicas que operam em Portugal e sua dimensão

De acordo com os dados fornecidos pelo departamento de metodologia estatística do INE [43] em Agosto de 2008, existiam em Portugal 6 empresas de fabricação de lentes oftálmicas orgânicas. A sua localização é sobretudo na zona Norte e Centro do país e têm dimensões bastante diferentes, no que diz respeito ao seu volume de negócios (Quadro 3).

Quadro 3 – Dimensão dos fabricantes nacionais de LOO

Nome da empresa	Dimensão (Volume de Vendas)	N.º de pessoas ao serviço	Localidade
Essilor Portugal S.A.	Muito Grande	≥ 250	Rio de Mouro
Shamir Portugal Lda	Média	100 - 249	Vila do Conde
Iola-industria optica S.A.	Pequena	100 - 249	Setúbal
Prats Lusitania - indústrias de óptica S.A.	Pequena	40-49	Lisboa
Sedosa Portugal - Sociedade de óptica S.A.	Pequena	40-49	Lisboa
Polo - produtos ópticos S.A.	Muito pequena	100 - 249	Vila Real

Adaptado de INE [43]

O parâmetro dimensão foi definido com base nos escalões de facturação do INE e encontra-se descrito no Anexo I, Quadro A2.

Tendo em conta que o volume de negócios (VN) não é directamente proporcional à produção nacional de LO porque a maioria destas empresas fazem parte de grupos internacionais e importam lentes acabadas para vender em Portugal e algumas comercializam, também, outros produtos para além de LOO, considerou-se importante cruzar o valor do VN com o número de pessoas ao serviço (NPS), de forma a poder fazer uma análise mais precisa da importância de cada empresa enquanto produtor de LOO.

Pela análise do quadro, é clara a liderança da Essilor Portugal SA enquanto fabricante nacional de lentes oftálmicas. Este dado é também confirmado pela dimensão física das suas instalações, observadas, *in situ*, durante a visita realizada assim como pela complexidade do seu “lay-out”, quando comparado com outras estruturas como a da Iola, SA, por exemplo que também foi visitada.

Comparando a Shamir com a da Iola apresentam dimensões diferentes. No entanto, ambas têm mais de 100 pessoas ao serviço, o que é indicador de que poderão estar próximas em termos de produção.

Sedosa Portugal e Prats Lusitânia têm claramente produções próximas, segundo os indicadores disponíveis.

A Polo SA é um caso em que o volume de negócios (VN) não se relaciona com o número de pessoas ao serviço da mesma forma que nas outras empresas. Neste caso a produção deverá ser superior ao que representa o seu escalão de VN.

5.1.2. Identificação das empresas comerciantes de lentes oftálmicas (ópticas) existentes em Portugal e sua Dimensão

De acordo com os dados fornecidos pelo departamento de metodologia estatística do INE, [43] em Agosto de 2008, existiam em Portugal **1134 empresas de comércio a retalho de material óptico** (Cadeias de ópticas). Como muitas empresas têm mais do que uma loja, estima-se que ao todo sejam aproximadamente 2 000 lojas de óptica em Portugal [44].

Tal como no caso dos fabricantes, as empresas de óptica localizam-se maioritariamente no norte e centro do país.

No sentido de caracterizar as empresas em causa quanto à sua dimensão, foi definida, com base nos escalões de volume de negócio adoptados pelo INE, uma grelha de classificação que se encontra expressa no Quadro 4.

Quadro 4 – Escalões de dimensão das empresas nacionais de óptica

Dimensão da empresa	Escalão de Volume de Negócios, INE	Valor (€)
Grande	7 - 11	(4 000 001 – 15 000 000)
Média	4 - 6	(500 001 – 4 000 000)
Pequena	0 - 3	(0 – 500 000)

Adaptado de INE [43]

Tendo por base a grelha de classificação anterior, pode dizer-se que, no que diz respeito ao seu volume de negócios, a grande maioria das empresas (961) são de Pequena dimensão, o que corresponde a 84,7%. Das restantes, 168 empresas (14,8%) têm uma dimensão Média e apenas 5 empresas (0,4%) têm uma dimensão Grande (Quadro 5).

Quadro 5 – Localização e dimensão das empresas nacionais de óptica

Zona do país	Distrito	N.º total de ópticas	Dimensão		
			Pequena	Média	Grande
Norte	V. Castelo	28	26	2	0
	Braga	69	63	6	0
	V. Real	19	17	2	0
	Bragança	12	12	0	0
	Porto	191	167	23	1
	Aveiro	87	79	8	0
	Viseu	23	19	4	0
	Guarda	20	17	3	0
Centro	Coimbra	57	50	7	0
	Leiria	41	36	5	0
	Castelo Branco	17	14	3	0
	Lisboa	323	263	56	4
	Santarém	30	22	8	0
	Portalegre	19	18	1	0
Sul	Setubal	85	74	11	0
	Evora	15	12	3	0
	Beja	16	13	3	0
	Faro	46	37	9	0

Quadro 5 – Localização e dimensão das empresas nacionais de óptica
(continuação)

Zona do país	Distrito	N.º total de ópticas	Dimensão		
			Pequena	Média	Grande
Ilhas	Terceira	6	3	3	0
	Madeira	20	11	9	0
	Faial	2	2	0	0
	S. Miguel	8	6	2	0
Total		1134	961	168	5

Adaptado de INE [43]

É importante referir que a classificação anterior foi feita com base nos resultados das empresas e não das lojas, pois há empresas que têm várias lojas. Logo, se houvesse dados de cada loja poderia com segurança confirmar-se que quase todas terão uma dimensão Pequena.

5.2. QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO NACIONAL DE RESÍDUOS DE LENTES OFTÁLMICAS ORGÂNICAS (RLOO)

5.2.1. Resultados da amostragem de RLOO (sucatas) produzidos nas ópticas

A amostragem decorreu como descrito na metodologia mas o número de lojas participantes não foi suficiente para considerar a amostra representativa, de acordo com os pressupostos que estavam estabelecidos.

Para que a amostra fosse representativa era necessário ter tido 322 lojas a fazer parte do plano de amostragem, tendo em conta que se considerou uma população finita de 2000 lojas. O que se verificou foi que inicialmente o plano definido englobava 236 lojas, passou para 53 quando a Optivisão reduziu a sua participação às lojas próprias (47) e na realidade, dessas 47 apenas se conseguiu implementar o plano de amostragem em 9 lojas Optivisão. A amostra ficou, assim, reduzida a 15 lojas (9 – Optivisão, 4 – Dimas Graça e 2 – Oculista Central das Avenidas) o que não permitiu tirar conclusões concretas sobre a quantidade de lentes de sucata que é gerada no universo das ópticas portuguesas.

Mesmo com uma amostra de 15 lojas, foi muito reduzida a quantidade de lentes que se recolheu. A razão porque isso aconteceu foi porque não houve uma sensibilização eficaz dos colaboradores das lojas participantes, devido à dispersão geográfica que não permitiu um acompanhamento da amostragem por parte do autor. A Dimas Graça, na sua loja principal, demonstrou um bom nível de participação. Esta foi a loja mais acompanhada de perto e em que houve mais motivação dos colaboradores.

Além da quantidade total de LOO de sucata gerada, a amostragem tinha outro objectivo que era a caracterização dos RLOO por material e esse objectivo foi cumprido e revelou-se muito importante na quantificação total dos resíduos industriais.

Outro dado importante que resultou da análise da amostra foi o peso médio de uma lente cortada (sucatas das ópticas) por material (Quadro 6).

Quadro 6 – Resultados da análise das amostras de RLO (sucatas) recolhidas nas ópticas, segundo o plano de amostragens

Empresa	LENTEs ORGÂNICAS								LENTEs DE VIDRO			Total de lentes
	Total		Policarbonato			Outras Resinas			Quant. (Unid.)	Peso (g)	peso médio p/lente (g)	
	Quant. (Unid.)	Peso (g)	Quant. (Unid.)	Peso (g)	peso médio p/lente (g)	Quant. (Unid.)	Peso (g)	peso médio p/lente (g)	Quant. (Unid.)	Peso (g)	peso médio p/lente (g)	
Oculista das Avenidas ⁽¹⁾ (2 lojas)	138	601	56	211	3,8	82	390	4,8				
Dimas Graça ⁽²⁾ (4 lojas)	983	4399	306	1079	3,5	677	3320	4,9				
Optivisão ⁽³⁾ (9 lojas)	891	3878	367	1376	3,7	524	2502	4,8				
TOTAL	2012	8878	729	2666	3,7	1283	6212	4,8	247	2427	9,8	2259

⁽¹⁾ 30 dias de amostragem; ⁽²⁾ 240 dias de amostragem; ⁽³⁾ 90 dias de amostragem

Como foi referido na metodologia, a fracção de lentes minerais (vidro) foi contabilizada apenas para funcionar como indicador de quanto pode aumentar, nos próximos anos a fracção orgânica, uma vez que se prevê que, no futuro, o mineral venha a ser totalmente substituído por materiais orgânicos. Contabilizada a fracção mineral concluí-se que ela representa 11% da quantidade total de LO recolhidas e 21% do seu peso total.

No que diz respeito à fracção orgânica do total de LO recolhidas, revela-se maioritária, como já se previa, constituindo 89% do universo de lentes amostrado.

Dentro dos materiais orgânicos foi distinguido o policarbonato, que é um polímero termoplástico, das outras resinas (CR-39, M/A I) difíceis de distinguir e com baixo valor comercial. Assim, calculou-se a percentagem de cada material quanto ao número total de LOO e quanto ao peso total das LOO (Quadro 7).

Quadro 7 – Percentagem de cada material no universo de LOO amostrado

Empresa	LENTEs ORGÂNICAS									
	Total		Policarbonato				Outras Resinas			
	Quant. (Unid.)	Peso (g)	Quant. (Unid.)	%	Peso (g)	%	Quant. (Unid.)	%	Peso (g)	%
1 Oculista das Avenidas	138	601	56	41%	211	35%	82	59%	390	65%
2 Dimas Graça	983	4399	306	31%	1079	25%	677	69%	3320	75%
3 Optivisão	891	3878	367	41%	1376	35%	524	59%	2502	65%
Total	2012	8878	729	36%	2666	30%	1283	64%	6212	70%

A análise do quadro 7 permite concluir que, em termos de **quantidades**, o policarbonato que é o material que têm mais valor comercial e maior potencial de reciclagem, constitui em média 36% do total de LOO amostradas. As Outras Resinas sendo polímeros termofixos (CR-39) ou termoplástico com baixo potencial de reciclagem (médios e altos índices) têm menos valor comercial. Ainda assim, constituem a maior parte da quantidade total de LOO, apresentando uma quota média de 64%.

Analisando as quotas dos materiais em relação ao seu **peso**, verifica-se que o policarbonato representa 30% do total de LOO amostradas enquanto as outras resinas sobem para 70%, pelo facto do policarbonato ser o material orgânico mais leve de todos. Esta informação é importante caso se pretenda usar estes dados no cálculo das quantidades totais de RLOO gerados em Portugal.

Quando se analisam os resultados da amostragem por empresa (quadro 7), verifica-se que apesar do tamanho das amostras (número de lentes analisadas) ser diferentes, a percentagem de cada material recolhido foi idêntica, no caso da empresa 1 e da empresa 3.

Outro dado importante que se retira do quadro 7 é o peso de uma lente usada de sucata por tipo de material. Este dado quando comparado com o peso de uma lente acabada do fabricante (antes de ser cortada na óptica) é indicador dos resíduos de corte (aparas) que são gerados nas ópticas.

Tendo em conta que os resultados anteriores resultam da análise de uma amostra que não se revelou representativa do universo de ópticas nacional, considerou-se importante analisar a amostra de lentes de sucata, Amostra B, que a empresa 1 tinha facultou, extra plano de amostragens.

A amostra em causa, definida na metodologia, foi analisada segundo os mesmos critérios da anterior e revelou os dados expressos no quadro 8.

Quadro 8 - Resultados da análise da Amostra B (extra plano de amostragens), recolhida na empresa Oculista das Avenidas

ANO	LENTE ORGÂNICAS									
	Total		Policarbonato				Resinas			
	Quant. (Unid.)	Peso (g)	Quant. (Unid.)	%	Peso (g)	%	Quant. (Unid.)	%	Peso (g)	%
2008	476	2312	182	38%	677	30%	294	62%	1611	70%
2007	302	1695	69	23%	317	19%	233	77%	1378	81%
2006	189	1111	45	24%	210,6	19%	144	76%	900	81%
2005	114	722	18	16%	69	10%	96	84%	653	90%
Total	1081	5816	314	29%	1273	22%	767	71%	4543	78%

A análise realizada à Amostra B permitiu tirar duas conclusões. A primeira é que os resultados mais recentes, nomeadamente os referentes ao ano de 2008, confirmam os resultados apresentados no quadro 7 resultantes da análise da amostra recolhida em várias empresas e durante períodos diferentes. A segunda é que tem havido uma evolução no consumo de lentes de policarbonato face aos outros materiais orgânicos. Atendendo a este facto, assumiram-se os valores de **36%** para o **Policarbonato** e **64%** para as **Outras resinas**, no que diz respeito à quantidade (Quadro 7).

5.2.2. Determinação da taxa de recuperação de lentes nas lojas de óptica

Como a amostragem de recolha de lentes nas ópticas realizada não produziu uma amostra representativa tentou-se reunir outros dados que fossem indicativos da taxa de recuperação de LOO de sucata possível de atingir em caso de implementação de um projecto permanente de recolha destes materiais.

O que se efectuou foi uma comparação do número de lentes recolhidas por loja com o número de lentes vendidas em igual período. Os resultados são apresentados por empresa sem identificação da mesma devido à confidencialidade das informações (quadro9).

Quadro 9 – Taxa de recuperação de LOO em duas das empresas da amostra

Empresa	Lentes Orgânicas		
	Quant. Vendida (Unid.)	Quant. Recuperada (Unid.)	% recuperação
1	5396*	983**	18%
2	3646*	138**	4%
TOTAL	9042	1121	12%

*Valores fornecidos pelas empresas de óptica [47, 48]

**Valores obtidos por amostragem

O número de lentes de sucata recolhidas pela empresa 2 face ao número de lentes vendidas é muito reduzido (4%). No entanto, o valor médio obtido (12%) é um valor aceitável para ser considerado como objectivo de recuperação numa fase inicial de recolha, caso esta fosse implementada.

5.2.3. Determinação da quantidade de RLOO gerados pela indústria

Não tendo sido possível obter informação por parte dos fabricantes quanto à quantidade de RLOO produzidos, decidiu-se partir do valor geral para o particular.

Cálculo do total anual de LOO fabricadas

Como em Portugal não se produzem LO semi-acabadas (patelas) considerou-se que todas as LOO acabadas fabricadas em Portugal teriam como matéria-prima as patelas importadas de outros países.

Reunidos os dados estatísticos referentes ao comércio internacional de LOO, determinou-se o número de LOO que são fabricadas em Portugal, considerando que esse valor resulta da diferença entre as lentes semi-acabadas importadas e as exportadas (Δ LOO semi-acabadas), tal como é apresentado no Quadro 10, para os anos entre 2000 e 2008.

Quadro 10 – Importações vs exportações de LOO semi-acabadas, em Portugal

Ano	Lentes semi-acabadas (patelas)		
	Importações	Exportações	Δ LOO
	(a) Unid.	(b) Unid.	(a) - (b) Unid.
2000	1.144.775	442.903	701.872
2001	1.142.449	503.237	639.212
2002	1.464.205	702.317	761.888
2003	2.486.980	164.851	2.322.129
2004	3.343.755	47.929	3.295.826
2005	3.589.105	77.827	3.511.278
2006	4.019.742	215.093	3.804.649
2007	4.846.104	153.820	4.692.284
2008	5.012.187	111.546	4.900.641

Adaptado de Eurostat [45]

A análise dos valores de lentes semi-acabadas (patelas) importadas face às exportadas, revela, claramente, que a intenção das empresas portuguesas, ao importarem as patelas, é processá-las transformando-as em lentes acabadas e não revendê-las a outros países.

Esta conclusão é confirmada pelos dados apresentados no quadro 10, na coluna referente às exportações de LOO acabadas. Em todos os anos, mais de metade das Patelas importadas (quadro 10) são exportadas sob a forma de lentes acabadas (quadro 11).

Quadro 11 – Importações vs exportações de LOO acabadas, em Portugal

Ano	Lentes acabadas		
	Importações	Exportações	IMP. - EXP.
	(a) Unid.	(b) Unid.	(a) - (b) Unid.
2000	1.697.343	332.184	1.365.159
2001	2.085.007	96.035	1.988.972
2002	2.742.502	336.802	2.405.700
2003	2.384.276	1.469.439	914.837
2004	2.192.361	2.075.062	117.299
2005	2.365.983	1.923.030	442.953
2006	2.449.930	2.444.258	5.672
2007	2.780.934	3.190.473	-409.539
2008	2.702.434	2.997.795	-295.361

Adaptado de Eurostat [45]

Pela análise dos dois quadros anteriores verifica-se que houve um aumento significativo das importações de patelas a partir de 2003 e conseqüentemente do número de lentes processadas (quadro 10). Este deveu-se ao facto de alguns fabricantes internacionais terem canalizado a produção de determinados modelos de lentes vendidos pelo grupo para Portugal, aumentando a sua capacidade produtiva, não só através da abertura de novas unidades mas também pelo aumento das existentes. Esta explicação é corroborada pelo respectivo aumento das exportações das lentes acabadas a partir desse ano (Quadro 10).

A quantidade de LOO acabadas importadas diz respeito aos modelos ou marcas de LOO comercializados em Portugal mas produzidos noutros países.

Analisando a evolução da **quantidade de LOO fabricadas em Portugal**, verifica-se que tem havido um aumento ao longo dos últimos anos, sendo o último valor conhecido (2008) de **4.900.641 unidades** (Quadro 10).

Aplicando as percentagens de cada material, determinadas atrás com base na amostra de lentes recolhida (quadro 7), obtêm-se as quantidades fabricadas de LO de cada material expressas no quadro 12.

Quadro 12 – Quantidade anual de lentes fabricadas em Portugal, por tipo de material

TOTAL	LO de Policarbonato		LO Outras resinas	
	%	Unidades	%	Unidades
4 900 641	36%	1 764 231	64%	3 136 410

Foi com base neste valor que se determinou, mais à frente, a quantidade de resíduos de LOO (aparas) gerados em Portugal pelos fabricantes.

Assim, fazendo o balanço entre as lentes acabadas pelos fabricantes em Portugal em 2008 (Quadro 10) e o resultado da importação vs exportação de lentes acabadas em 2008 (Quadro 11), verifica-se que ficam, por ano, em Portugal, para comercializar internamente cerca de **4 605 280** lentes oftálmicas orgânicas.

Considerando que parte deste número de lentes integram os stocks dos fabricante e de algumas ópticas não sendo logo vendidas, verifica-se que é uma quantidade que se aproxima do valor estimado de portadores de lentes oftálmicas existentes em Portugal (4 milhões) [7]. A ser assim, como cada portador utiliza duas lentes, pode considerar-se que em média cada portador comprará lentes novas de dois em dois anos.

Segundo indicações dos fabricantes, os últimos estudos de mercado realizados, apontam para períodos médios de permanência com a mesma graduação de lentes, por parte dos portadores, de 3 anos, o que é um período de retorno maior face ao resultado obtido. No entanto, há que considerar as pessoas que têm mais do que um par de lentes (óculos), por exemplo, umas de sol e outras brancas, ou umas para ver ao perto e outras para ver ao longe ou simplesmente um segundo par para poder trocar, aspectos que podem justificar a quantidade produzida.

Estimativa do número de lentes vendidas por loja

Para verificar a fiabilidade do valor de lentes comercializadas em Portugal, acima expresso, estimou-se o número de lentes vendidas aos consumidores finais nas 2000 lojas de óptica do país. Para tal, partiu-se do princípio que todas as lojas são pequenas, de acordo com a classificação feita no quadro 4 e os resultados expressos no quadro 5.

O número médio de lentes vendidas por loja foi determinado com base nos dados fornecidos pela Dimas Graça, no que diz respeito às suas vendas nas lojas pequenas.

A quantidade média de lentes orgânicas vendidas por ano (2008), por loja, corresponde a 1850 unidades [47] Extrapolando este valor para o universo das 2000 lojas existentes, obtêm-se um número de lentes vendidas anualmente nas lojas de óptica em Portugal, **3 700 000** unidades. Este valor tem um erro de cálculo associado muito grande, porque se baseia apenas nos dados de uma empresa. No entanto, é interessante a proximidade entre valor obtido para as vendas (3.700.000 unid.) e o número de lentes comercializado pelos fabricantes em 2008, em Portugal (4.605.280 unid.), ambos próximos dos 4 milhões de lentes.

Quantidade média de resíduos gerados por cada LOO fabricada

No sentido de determinar a quantidade de resíduos (aparas) associado ao total de lentes fabricadas em Portugal, calculou-se primeiro, a quantidade média (em grama) de RLOO gerados por cada lente processada. Este valor encontra-se expresso no quadro 13 e foi determinado para os dois tipos de polímeros em estudo, o Policarbonato e as Outras resinas, por diferença entre o peso médio de uma Patela e de uma lente acabada do mesmo material.

Quadro 13 – Quantidade média de resíduo de LOO gerado por lente fabricada

Material	Peso médio por lente (g)		
	LOO Semi-acabada (Patelas) (A)	LOO Acabada (B)	Resíduos gerados no fabrico (aparas) (A-B)
Policarbonato (termoplástico)	50 g*	10,4 g**	39,6 g
Outras resinas (termofixos)	60 g*	12,5 g**	47,5 g

*Dados fornecidos pelos fabricantes [3, 46]

**Dados determinados por amostragem (Anexo I – Quadro 4)

O peso de aparas de policarbonato (por lente) obtido teve por base o peso médio de uma LO acabada determinado por amostragem de 101 vendidas durante um período contínuo. O

resultado obtido, 39,6g coincide com o valor médio fornecido pelos fabricantes que é de aproximadamente 40g [3, 46] o que é indicador de que a metodologia utilizada para este cálculo está correcta.

Grau de humidade dos RLOO gerados durante o fabrico (aparas)

Como explicado na metodologia, foi determinado laboratorialmente o grau de humidade dos RLOO (aparas) de uma óptica com o objectivo de calcular o peso total dos resíduos húmidos resultantes do fabrico das lentes (Anexo I - Quadro A7). O valor médio de humidade obtido foi de **58%** tanto para a fracção recolhida do filtro como para a recolhida do decantado.

Quando se comparou o resultado obtido (acima referido) com os valores de humidade fornecidos por dois fabricantes nacionais de LOO [3, 46], verificou-se que o grau de humidade das aparas é semelhante ao determinado em laboratório, quando os resíduos são armazenados sem qualquer tratamento e mais baixo quando existem operações de secagem implementadas (Quadro 14).

Quadro 14 – Grau de humidade dos RLOO gerados durante o corte (aparas)

Origem	Situação dos RLOO	Grau de humidade
Fabricante A	Com secagem	30%*
Fabricante B	Sem secagem	53%*
Ópticas (lab.)	Sem secagem	58%**

* Dado fornecido pelo fabricante

**Dado obtido laboratorialmente

A situação apresentada para o fabricante A [3] é a que se verifica, actualmente, junto do maior produtor nacional de LOO que faz uma secagem simples das aparas através de separadores de vibração, reduzindo quase para metade o valor de humidade dos seus RLOO (aparas).

A situação apresentada para o fabricante B [46] diz respeito a uma unidade que recolhe e armazena os resíduos retirados do filtro inicial sem lhes aplicar qualquer operação posterior

de secagem. Esta é a mesma situação dos resíduos (aparas) recolhidos na óptica e que foram analisados em laboratório. Os valores revelaram-se por isso, também, muito semelhantes, daí se ter decidido fazer a sua média no cálculo do grau de humidade para uma situação em que não existe secagem dos RLOO. O grau de humidade médio é, assim, 55%.

Quantidade anual de RLOO (aparas) gerados pelos fabricantes nacionais – aparas industriais

Reunidos todos os dados necessários, foi possível determinar a quantidade total de resíduos de LOO gerados, anualmente, pelo corte de lentes, durante o processo de fabrico.

Em primeiro lugar determinou-se o valor do peso total do resíduo seco correspondente RLOO (aparas industriais) (Quadro 15).

Quadro 15 – Quantidade anual de resíduos secos de LOO (aparas) gerados pelos fabricantes, em 2008

Material	RLOO gerados p/ lente fabricada (g)	Quant. anual de lentes fabricadas (Unid.)	RLOO Peso seco total (kg)
Polycarbonato	39,6	1 764 231	69 864
Outras resinas	47,5	3 136 410	148 979
TOTAL		4 900 641*	218 843

*Valor apresentado no quadro 12 [45]

A análise do quadro 15 permite concluir que, em Portugal, se produzem, aproximadamente, **219 toneladas de resíduos secos de LOO** (aparas). Desse valor total, cerca de **70 toneladas** corresponderam a **Polycarbonato** e cerca de **149 toneladas** serão **Outras resinas** utilizadas no fabrico de LOO (CR-39 e M/A I).

Como os resíduos em causa (aparas industriais) são resíduos húmidos, porque resultam do processo de corte que é feito com água, o seu peso é superior ao valor do peso seco (Quadro 14) e varia em função do grau de humidade que apresentarem.

Tendo em conta esta situação, e o facto de existirem resíduos com graus de humidade diferentes, apresentam-se os resultados considerando dois cenários diferentes, construídos com base nas situações expressas no ponto anterior (quadro 13):

Cenário A- Assumindo que todos os fabricantes implementam operações de secagem, apresentando a totalidade dos resíduos de corte (aparas industriais) um grau de humidade de 30%;

Cenário B – Assumindo que nenhum fabricante implementa operações de secagem, apresentando as aparas industriais um grau de humidade de 55%.

Os resultados apresentam-se expressos no quadro 16.

Quadro 16 – Quantidade total de aparas industriais (RLOO) produzidas em Portugal em 2008

Cenário	Grau de humidade	Aparas de Policarbonato (Ton.)	Aparas de Outras resinas (ton.)	Total de aparas (Ton.)
A c/ secagem	30 %	90,82	193,67	284,49
B s/ secagem	55%	108,29	230,92	339,21

Como era previsível, os pesos totais variam substancialmente se o grau de humidade for de 30% ou de 55% quadro 16. No entanto, o cenário mais próximo da realidade é o A, pois corresponde à situação do fabricante que produz a maior quantidade de RLOO por ano (250 toneladas), logo faz mais sentido assumir este valor de humidade para todos. Até porque, brevemente, este mesmo produtor vai reforçar a sua operação de secagem com compactação, factor que reduzirá ainda mais o valor de humidade apresentado pelas suas aparas [3].

Assim, pode concluir-se que a quantidade total de aparas industriais produzidas anualmente é de, aproximadamente, **285 toneladas** (Quadro 16, cenário A).

Este é um resultado que é consistente com os dados fornecidos por alguns fabricantes, pois o maior fabricante nacional produz, aproximadamente, 250 toneladas de LOO [3] e um dos pequenos, aproximadamente, 8 toneladas (Anexo I – Quadro A7). O que sobra (27

toneladas) parece pouco para 4 empresas (1 muito pequena, 2 pequenas e uma média). Este resultado pode explicar-se pelo facto de se ter assumido que todos fazem secagem dos resíduos (cenário A) o que não se verifica.

Pode, então, concluir-se que mais de 80% da produção nacional de RLOO (aparas) industriais têm origem em apenas um fabricante e que juntamente com os outros 3 fabricantes do distrito de Lisboa geram aproximadamente 95% da quantidade total destes resíduos.

Quantidade anual de RLOO (sucatas) gerados pelos fabricantes nacionais

De acordo com os dados fornecidos por um fabricante, a quantidade de lentes que são inutilizadas durante o seu processo de fabrico é muito pequena e ronda o 1% [46].

Se este valor for aplicado a todos os fabricantes, considerando a produção anual de 4 900 641 LO, obtém-se como quantidade total 49 000 lentes, que correspondem a um peso total de **562 kilograma**, 168,3 kg de policarbonato e 393,6 kg de outras resinas, considerando as mesmas percentagens de materiais que anteriormente (36% de policarbonato e 64% de outras resinas).

Apesar do valor de sucatas estimado ser pouco rigoroso, porque foi calculado com base num dado fornecido apenas por um dos fabricantes, o valor real destas sucatas será sempre muito pequeno, quase desprezável, segundo todos os fabricantes.

5.2.4. Determinação da quantidade de RLOO gerados pelo Comércio

Os RLOO produzidos pelo Comércio, no âmbito deste trabalho, dizem respeito às lentes de sucata geradas nas lojas de óptica e aos resíduos do corte das lentes (aparas) gerados aquando da montagem das mesmas em aros.

Quantidade de RLOO (sucatas) geradas nas lojas de óptica

Considerando que esta parcela do total de RLOO produzidos engloba todas as lentes inutilizadas durante a sua comercialização e utilização pelos portadores, no limite, ela será igual à quantidade de lentes comercializadas por ano que é aproximadamente 3 700 000. No entanto, como se verificou pela amostra de lentes recolhidas junto dos ópticos (Quadro 6) que a entrega das lentes inutilizadas por parte dos utilizadores não é, ainda, uma atitude

muito interiorizada. Alguns utilizadores fazem questão de levar para casa as lentes antigas, mesmo que em seguida as coloquem no contentor de resíduos. É uma questão de sensibilização, mas para já não será possível contar com muita colaboração destes consumidores.

Foi por esta razão que se optou por aplicar ao universo nacional de lentes (3 700 000 unidades) a taxa de recuperação de 12% que se obteve durante a amostragem (Quadro 9), para estimar a quantidade de lentes de sucata que será, efectivamente, possível recolher nas lojas de óptica.

Aplicada a taxa de recuperação referida obtém-se um resultado de **1955** kg de LOO de sucata usadas que corresponderão a 591 kg de policarbonato e 1364 kg de outras resinas (Quadro A10).

Quantidade de LOO (aparas) geradas nas lojas de óptica

Atendendo ao número de lentes vendidas anualmente nas ópticas por tipo de material e à quantidade (kg) de aparas gerada aquando do corte de cada LOO, a quantidade total de **aparas secas** produzida nas ópticas será de **26,13 toneladas**. Considerando o valor determinado laboratorialmente para o grau de humidade destes resíduos (58%), chega-se à conclusão que o seu peso total (húmido) à **saída das ópticas será de 41,29 toneladas** (Quadro A11).

Apesar de ser um valor considerável, este, é um resíduo que se encontra contaminado com aparas de vidro, pelo que, as suas características vão ser diferentes dos restantes resíduos de LOO estudados e conseqüentemente a sua valorização não poderá ser realizada em conjunto com as restantes fracções.

Considerando que o peso total húmido das aparas produzidas por ano por loja (41,29 t / 2000 lojas) é muito reduzido (20,6 kg/por loja/ por ano) e dado o seu elevado grau de humidade, não parece fácil sensibilizar os comerciantes para a sua recolha e armazenamento.

Por outro lado, os custos de recolha e transporte deverão ser bastante elevados dado o peso, as exigências de acondicionamento dos resíduos e a dispersão geográfica das ópticas.

Neste sentido, considera-se inviável a recolha e valorização dos RLOO (aparas) produzidos pelas lojas de óptica, pelo que não será contabilizado no cálculo da produção total.

Quantidade anual de RLOO valorizáveis produzidos em Portugal

Considerando as fracções de resíduos possíveis de recolher e valorizar calculou-se a quantidade total de resíduos que serão gerados considerando um grau de humidade de 30% para a fracção de RLOO correspondente às aparas industriais e comparou-se com o cenário teórico de aparas com 0% de humidade (Quadro 17).

Quadro 17 – Peso total (em toneladas) das fracções valorizáveis de RLOO produzidos em Portugal, em 2008

Cenário	Indústria			Ópticas	TOTAL
	Quant. Aparas	Quant. Sucatas	Total (A)	Sucatas (B)	(Toneladas) (A+B)
Peso seco	219,0	0,6	219,6	2	221,6
A 30% de humidade	284,5	0,6	285,1	2	287,1

A análise do quadro 17 permite concluir que em 2008 se produziram em Portugal, aproximadamente, **287 toneladas** de resíduos de lentes oftálmicas orgânicas possíveis de recolher e valorizar.

Considerando que o total de RLOO produzidos serão a fracção reciclável mais as aparas das ópticas, que não foram consideradas valorizáveis, obtém-se um **total de RLOO** produzido anualmente em Portugal equivalente a **330 toneladas**.

Atendendo a este facto, pode concluir-se que a **fracção reciclável** dos RLOO corresponde a **87% do total** de resíduos de LOO produzidos.

Fazendo o enquadramento dos RLOO no total nacional de resíduos plásticos reciclados que, em 2008, foi de 74 057 toneladas [51], conclui-se que a fracção reciclável dos RLOO corresponde a aproximadamente 0,4% do total de resíduos plásticos reciclados em Portugal.

5.3. RECOLHA DOS RESÍDUOS DE LOO

É referência recorrente, na bibliografia existente, o facto do eficaz reaproveitamento dos RLOO depender directamente da forma como é feita a recolha dos mesmos. Se a recolha for selectiva obtém-se uma valorização máxima dos resíduos em termos de valor e de potencial de reciclagem. Se a recolha for indiferenciada obtém-se uma valorização económica inferior atendendo à menor qualidade do resíduo e às limitações que a mistura introduz no processo de reciclagem.

O que se passa, actualmente no universo dos fabricantes de LOO, é que as unidades produtivas portuguesas não estão montadas com a preocupação de recolher eficientemente os seus resíduos (aparas) com vista à sua valorização. A maior parte das empresas apresenta linhas de produção distintas para alguns tipos de material, como é, normalmente, o caso do policarbonato, mas apenas como resposta à necessidade de otimizar o sistema produtivo.

Atendendo ao actual “layout” das unidades industriais em causa, considera-se viável a implementação da recolha selectiva dos RLOO (aparas) nas empresas em que cada linha de produção tem uma saída de resíduos independente pois, o facto de existirem linhas de produção diferentes ou períodos do dia diferentes para o corte dos vários materiais possibilita essa tarefa. A situação complica-se no caso das unidades industriais maiores que produzem em contínuo e que têm todas as linhas produtivas ligadas a um único reservatório de aparas. Este é o caso do maior produtor nacional de LOO.

Relativamente às sucatas, tanto nos fabricantes como nas ópticas, a separação é bastante fácil bastando para o efeito ter um reservatório para cada tipo de material que se pretenda separar (policarbonato, M/A I, orgânico indiferenciado...).

Apesar desta situação foi manifestada preocupação por parte dos fabricantes visitado com a questão dos resíduos e abertura para fazer algumas mudanças que permitissem melhorar a situação.

A identificação do material das lentes de sucata, nas ópticas, é talvez a tarefa mais difícil do processo de separação porque um técnico ou balconista, menos experiente poderá ter dificuldade em fazer a distinção das lentes que não estão identificadas, comprometendo a recuperação sem contaminação de um determinado lote de material. Como tal, até que todas as lentes sejam sinalizadas, quanto ao material que as constitui, parece mais eficaz assumir que não é possível recolher separadamente as lentes de sucata dos vários materiais orgânicos

e que o resultado da recolha será uma mistura de polímeros. Este é um aspecto que deve ser considerado aquando da definição das possíveis soluções de valorização.

5.4. DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE VALORIZAÇÃO PARA OS RLOO PRODUZIDOS EM PORTUGAL

Como já foi referido, a eficiência da valorização dos RLOO está directamente relacionada com a qualidade da recolha e separação dos materiais envolvidos. Atendendo a que, actualmente, não existe recolha selectiva dos polímeros existentes nos RLOO, serão avaliadas soluções de valorização para a situação actual (situação A), para uma situação futura de separação apenas do policarbonato (situação B) e para uma situação ideal, em termos ambientais, de separação de todos os polímeros na origem (situação C).

5.4.1. Reciclagem

O estudo dos materiais dos RLOO revelou que existem polímeros mais interessantes do que outros do ponto de vista da reciclagem.

Apesar de todos serem tecnicamente possíveis de reciclar, o policarbonato é de todos o que tem maior potencial de reciclagem, não só pelas suas propriedades mecânicas de termoplástico, como pela sua qualidade (plástico de engenharia de alto desempenho), variada aplicação e valor comercial [24].

Quanto ao valor comercial verificou-se que este material tem um valor comercial bastante elevado, condicente com as suas boas características técnicas. Em 1998, o valor deste polímero era, em média, seis vezes superior aos dos plásticos de embalagens (Anexo I – Quadro A9).

A visita ao reciclador de plásticos Extruplás não deu origem a dados ou resultados aplicáveis no âmbito do presente trabalho, porque o tipo de resíduos que processa é poliolefinas, não tendo a linha de produção programada para tratar materiais como os das LOO.

Os contactos efectuados com entidades ligadas à reciclagem permitiram obter alguns dados importantes sobre tecnologias de reciclagem de polímeros, o valor dos materiais enquanto resíduos e o funcionamento do mercado de reciclados.

A Plastval como representante da fileira dos plásticos no SIGRE, concentra-se na valorização dos resíduos de embalagens plásticas, pelo que não soube fornecer informação sobre a possibilidade de valorização dos resíduos de LOO (policarbonato e resinas termofixas). Na sua lista de recicladores associados também não havia referência a nenhum reciclador de policarbonato [38].

Reciclagem secundária (mecânica)

O reciclador Daniel Morais L.da, de Vila Nova de Gaia, informou que, todos os polímeros utilizados no fabrico de LOO, termoplásticos e termofixos poderão ser reciclados na sua unidade [32]. Inclusivamente, já recebeu e reciclou, lentes de sucata de um fabricante.

O tipo de reciclagem utilizado por este operador é a reciclagem secundária (mecânica) e consiste no tratamento por extrusão para produção de um perfil que depois é picotado e transformado em grão.

Segundo Morais [32], o policarbonato é de todos o polímero que tem mais valor comercial. No caso dos RLOO, o policarbonato cristalino, entregue sem contaminação é valorizado, actualmente, pela Daniel Morais L.da, em **200 € por tonelada**. A mistura de resinas constituída por CR-39 e M/A I, têm menos aplicações e, conseqüentemente, menos valor comercial. Os resíduos de LOO constituídos por M/A I são, normalmente, valorizados em **100 € por tonelada**. Os valores referidos são aplicados aos resíduos secos ou húmidos, desde que o grau de humidade seja entre os 30% e os 40% e que sejam separados.

O CR-39, devido às suas propriedades mecânicas de termofixo, não pode ser reciclado por esta empresa.

Não foi encontrado nenhum reciclador que manifestasse condições de receber, actualmente, os resíduos de CR-39.

Partindo do princípio que será possível recolher separadamente os RLOO (aparas) gerados pelos fabricantes de lentes em Portugal (situações B e C), estarão disponíveis anualmente para reciclagem cerca de **70 toneladas** de aparas secas de policarbonato e **149 toneladas** de aparas secas de Outras de resinas (mistura de polímeros).

A reciclagem deste material permitirá reduzir a quantidade de resíduos plásticos que vão para aterro, aumentando o seu tempo de vida útil, diminuir a quantidade de materiais virgens derivados do petróleo necessários para a indústria, economizar energia. Além dos

benefícios ambientais, esta solução apresenta também benefícios económicos. Para o produtor, porque sendo valorizados, os resíduos deixam de ser uma despesa e para a comunidade porque diminuem os preços dos objectos produzidos com plástico reciclado, reduzem-se os custos com a gestão de resíduos e geram-se empregos [13, 14].

Considerando que o valor médio cobrado, pelos Operadores de resíduos pela recolha e transporte dos RLOO é de 10 € por tonelada e que o valor médio de deposição em aterro sanitário desses mesmos resíduos é, aproximadamente, 70 € por tonelada, chega-se à conclusão que um produtor de LOO, que tenha definido como destino final para os seus resíduos o aterro sanitário, tem um custo de gestão associado na ordem 80 € por tonelada [3, 46].

Segundo Lund [33] a viabilidade económica da reciclagem tem de ser determinada em função de uma solução alternativa de tratamento dos resíduos. O cálculo do custo da reciclagem deverá contemplar os seguintes elementos:

- Custo da recolha;
- Custo de separação;
- O custo de deposição em aterro sanitário (que é evitado) e
- A receita obtida pela venda dos resíduos.

Nesta perspectiva, compararam-se, economicamente, a solução Reciclagem mecânica dos RLOO com a solução Aterro sanitário e concluiu-se que a primeira é muito mais vantajosa porque não tem associado o custo de deposição em AS e a receita obtida pela venda dos resíduos aos recicladores portugueses permite cobrir todos os custos de recolha e transporte e, ainda ter um lucro significativo. Isto acontece mesmo no caso do material menos valioso (M/A I), que está cotado pela Daniel Morais L.da em 100 €/ton, e considerando que os custos de transporte são superiores aos da solução AS devido à maior distância entre o produtor e o reciclador (Quadro 18).

Não foram contabilizados os custos de separação por se considerar que será possível separar os resíduos na origem.

Quadro 18 – Viabilidade económica da Reciclagem mecânica dos RLOO face à solução alternativa Deposição em aterro sanitário

Solução	Custos de recolha e transporte	Custos de deposição	Receitas da venda de RLOO para reciclagem	Benefício
Aterro sanitário	-10 €/t *	-70 €/ t *	-	- 80 €/ t
Reciclagem mecânica de M/A I (poliuretanos)	- 20 €/t **	-	+100 €/t ***	+ 80 €/ t
Reciclagem mecânica de policarbonato	- 20 €/t **	-	+200 €/t ***	+ 180 €/ t

Custos: valores negativos (-); **Receitas:** valores positivos (+)

* Valor médio estimado com base nos dados fornecidos [3] [46]

** Valor estimado com base dados recolhidos [31]

*** Valor fornecido por Morais, [31]

Pela análise do quadro pode concluir-se que, em Portugal a reciclagem mecânica dos resíduos de lentes oftálmicas orgânicas é economicamente viável tendo em conta a solução alternativa Aterro Sanitário.

Considerando o custo de deposição em aterro de 80 € por tonelada e uma produção industrial de, 285 toneladas por ano, pode concluir-se que enviar a totalidade de resíduos de LOO para aterro, actualmente, tem um custo total aproximado de 23 000 €.

É de ressaltar o facto dos custos de deposição analisados serem os praticados junto dos fabricantes que produzem quantidades de resíduos significativas. No caso das ópticas, a análise anterior não se aplica. As reduzidas quantidades de sucatas geradas em cada loja não justificam o valor fixo associado a cada recolha.

Tendo em conta o aspecto anterior considera-se que não é economicamente viável recolher 2 toneladas de material em 2000 locais diferentes, pelo que a fracção de RLOO correspondente às sucatas das ópticas não será considerada na análise de viabilidade económica seguinte.

Assim, considerando a reciclagem mecânica como solução de valorização aos RLOO, poderá vir a obter-se os seguintes benefícios económicos, dependendo da situação existente:

Situação A – recolha indiferenciada dos RLOO

Corresponde à situação de referência e não tem qualquer benefício económico ou ambiental, pois não é possível reciclar mecanicamente os RLOO misturados, devido ao facto de cada categoria de polímeros ter propriedades mecânicas diferentes.

Situação B – Recolha selectiva do policarbonato

Esta situação, a verificar-se, apresentaria benefícios ambientais e económicos pois permitiria, por um lado, reciclar uma fracção termoplástica dos RLOO industriais e, por outro, reduzir a quantidade de resíduos destinada a aterro.

Tendo por base a produção de RLOO (aparas) dos fabricantes de LOO em 2008 (285 t) e o benefício calculado para a reciclagem de uma tonelada de policarbonato (180 €), pode concluir-se que, a reciclagem mecânica de 90,8 toneladas de policarbonato, provenientes dos RLOO (aparas) industriais, permitiria obter uma receita de **16 340 €**.

Atendendo a que, nesta situação, os resíduos a depositar em aterro corresponderiam apenas à fracção de RLOO Outras resinas (184,2 t) também os seus custos de deposição seriam menores que na situação A, aproximadamente, **15 540 €**. Ou seja, a receita da reciclagem do policarbonato permitiria cobrir, na totalidade, as despesas de deposição em aterro dos RLOO de outros materiais.

Situação C – Recolha selectiva de todos os materiais

No âmbito deste trabalho, não é possível prever este cenário por que não se quantificaram as fracções de CR-39 e de M/A I (poliuretanos) presentes nos RLOO, apenas se contabilizou a sua mistura. No entanto, sabe-se que é o CR-39 que constitui a maior parte da fracção “outras resinas” quantificada neste trabalho em 193,7 toneladas.

Sendo, o CR-39, um polímero termofixo que não pode ser utilizado na fabricação de novos objectos plásticos, tem um valor como resíduo muito baixo devido às poucas aplicações que pode ter como reciclado. A única a que existe referência [17] é a sua integração como plasticizante no fabrico de cimento e não se conhece o seu valor, em Portugal.

Atendendo ao referido, pode esperar-se neste cenário, o benefício atingido no cenário B (16 340 € mais o valor atribuído pelos recicladores aos poliuretanos e ao CR-39).

Esta situação será sempre a mais vantajosa em termos ambientais mas, em termos económicos, teria que se contabilizar ao certo cada uma das fracções de polímeros termoplásticos e equacionar as alterações no layout da fabrica para garantir os benefícios da sua implementação.

Reciclagem terciária (química)

A reciclagem química, pelas suas características, poderá vir a ser uma solução de valorização viável para os RLOO, especialmente para a mistura de resinas que actualmente não se conseguem diferenciar e que inclui CR-39 e M/A I (poliuretanos).

Actualmente, não é ainda possível definir ou estudar a viabilidade económica da reciclagem terciária como solução de valorização dos resíduos de LOO porque não existem unidades a operar em Portugal.

De acordo com Costa [6] está prevista uma unidade de demonstração de reciclagem de polímeros por pirólise que funcionará em contínuo processando 120 kg/hora de resíduos plásticos e produzindo cerca de 92 kg/h de hidrocarbonetos líquidos, 23 kg/h de hidrocarbonetos gasosos e 5 kg/h de resíduo sólido.

5.4.2. Valorização energética

Em Portugal existem duas centrais de valorização energética de resíduos sólidos, uma na zona do Porto, a Lipor e a outra na zona de Lisboa, a Valorsul. O seu objectivo é proceder ao tratamento térmico controlado dos resíduos sólidos urbanos que não apresentem potencialidades de valorização pelos processos de reciclagem [50].

Assumindo como referência a situação actual (situação A) em que não existe separação, na origem, dos vários polímeros que constituem os RLOO, a Valorização energética surge como a solução possível para o tratamento dos resíduos em causa.

Utilizando a metodologia de Lund [49] para determinar a viabilidade económica da Valorização energética como solução de tratamento dos resíduos de LOO, conclui-se que a valorização energética é uma solução ambiental e economicamente mais atractiva que a solução de tratamento alternativa, Aterro sanitário (Quadro 16).

Quadro 19 – Viabilidade económica da Valorização energética dos RLOO face à solução alternativa Deposição em aterro sanitário

Solução	Custos de recolha e transporte	Custos de deposição	Receitas da venda de RLOO para reciclagem	Benefício
Aterro sanitário	-10 €/t*	-70 € / t*	-	- 80 € / t
Valorização energética de RLOO	- 10 €/t*	-52 € / t	-	-62 € / t

Custos: valores negativos (-); **Receitas:** valores positivos (+)

* Valor médio estimado com base nos dados fornecidos [3] [46]

Não foram contabilizados os custos de separação porque não se revela necessária neste método de tratamento.

Tendo conhecimento dos materiais operados e uma atitude proactiva de melhoria do seu desempenho ambiental, associada obviamente, aos benefícios económicos, a Essilor Portugal que, no início do presente trabalho (2007) enviava para aterro sanitário os seus RLOO, já se encontra a valorizar energeticamente (2009) os seus RLOO [3]. Esta é uma informação que reitera o interesse e a actualidade do presente trabalho no contexto nacional da gestão de resíduos.

6. CONCLUSÕES

Tendo em conta o primeiro objectivo do presente trabalho, **identificaram-se como polímeros** base dos materiais plásticos mais utilizados no fabrico de lentes oftálmicas orgânicas (LOO) o CR-39 (di-carbonato di-alila do etileno glicol), o Policarbonato (PC) e as resinas de médio e alto índice que são, poliuretanos termoplásticos (TPU). Estes materiais são designados comercialmente de várias maneiras dependendo da marca que os comercializa. Os resíduos gerados ao longo do ciclo de vida das LOO têm a mesma composição e propriedades das próprias lentes. Assim, atendendo às propriedades mecânicas dos polímeros em causa, existe uma fracção dos resíduos de lentes oftálmicas orgânicas (RLOO) que é reciclável e outra que não reciclável. A fracção reciclável corresponde aos polímeros termoplásticos e contempla os resíduos das lentes de policarbonato e Poliuretano (TPU). A fracção não reciclável corresponde aos polímeros termofixos e contempla os resíduos de lentes de CR-39.

No que diz respeito à **quantificação dos RLOO** produzidos em Portugal, estimou-se ser possível recolher e valorizar uma quantidade total de 221,6 toneladas de resíduo seco, das quais 70,6 toneladas correspondem a policarbonato e 151 toneladas a outras resinas. O peso total, efectivo, dos RLOO está, no entanto, dependente do grau de humidade da fracção de RLOO (aparas) gerados pelos fabricantes nacionais (indústria). Quando existe secagem dos RLOO à saída da unidade industrial, o seu grau de humidade ronda os 30%, o que dá origem a 287,1 toneladas de resíduos. Na situação contrária (sem secagem), o seu grau de humidade é de 55% e são geradas 341,7 toneladas de resíduos. A situação mais próxima da realidade é a que apresenta aparas industriais com 30% de humidade porque é o grau de humidade real de, aproximadamente, 80% dos RLOO (aparas) industriais produzidos.

A fracção dos RLOO (aparas) geradas nas lojas de óptica não pode ser reciclada e é de difícil recolha pelo que não foi incluída no cálculo da quantidade total de resíduos a valorizar. Ainda assim, a fracção reciclável que será possível recolher representa 87% do total dos RLOO produzidos em Portugal pelo sector de lentes oftálmicas.

No que respeita ao panorama nacional dos plásticos reciclados, a quantidade de RLOO reciclável (287 toneladas) representa 0,4% do total de plásticos reciclados em Portugal, em 2008. Este valor, quando comparado com a contribuição de outros sectores como a agricultura (1,5%) pode considerar-se significativo.

Atendendo ao terceiro objectivo deste trabalho, pode concluir-se que, todos os RLOO são tecnicamente possíveis de valorizar. No entanto, existem diferenças consideráveis entre os **métodos de valorização existentes**, tanto nos benefícios ambientais que geram para a comunidade como nos benefícios económicos que acarretam para os produtores.

Dentro dos RLOO existem materiais mais interessantes que outros para a reciclagem, tanto pelas suas características mecânicas e consequente potencial de reciclagem, como pelo seu valor comercial. Este é o caso do policarbonato.

O policarbonato é sem dúvida uma fracção dos RLOO que vale a pena separar e reaproveitar através da reciclagem mecânica. As suas qualidades técnicas como polímero são reconhecidas e o seu valor comercial é bastante elevado, chegando a ser seis vezes superior ao dos plásticos mais reciclados (embalagens).

Considerando uma situação futura em que se recolha separadamente a fracção dos RLOO correspondente às aparas de policarbonato (situação B), verificou-se que a reciclagem mecânica de 90,8 toneladas de policarbonato, provenientes dos RLOO (aparas) industriais, permitiria obter uma receita de 16 340 € cobrindo, na totalidade, os custos inerentes à deposição em aterro dos restantes resíduos (184,2 t), aproximadamente, 15 540 €.

A reciclagem química, nomeadamente o processo de pirólise, apresenta-se como uma possível solução para os RLOO, nomeadamente para a fracção correspondente às “outras resinas” que não o policarbonato. O facto deste processo de reciclagem tratar misturas de plásticos, é uma mais-valia para o reaproveitamento dos RLOO, pois permite ultrapassar o problema da identificação e separação dos polímeros que, no caso dos RLOO, é mais complicado devido à especificidade dos polímeros utilizados e ao facto de estarem protegidos pelas patentes. Não foi avaliada a sua viabilidade económica porque ainda não existem unidades a funcionar em Portugal.

A valorização energética apresenta-se, actualmente, como a única solução possível para a valorização dos RLOO em Portugal, devido ao facto de não estarem a ser seleccionados na origem os diferentes materiais e de ser impossível a sua separação manual.

No futuro, caso exista separação do policarbonato (situação B), considera-se que o ideal é ter uma solução mista de dois métodos combinados, sendo o policarbonato reciclado mecanicamente e a fracção correspondente às outras resinas, valorizada energeticamente.

Tal como para todos os tipos de resíduos, verificou-se também, para os RLOO que a eficiência da sua valorização está directamente relacionada com a qualidade da recolha e separação dos materiais envolvidos. Por isso a sua reciclagem está dependente de existir uma mudança nas unidades industriais no que diz respeito aos procedimentos de recolha, ao “layout” existente à organização física do espaço e provavelmente a alguns equipamentos, especialmente nas unidades de maior dimensão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DECRETO-LEI n.º 178/2006 , «DR. I Série», 171, 6525-6531.
- [2] MCDOUGALL, F., WHITE, P., FRANK, M. & HINDLE, P. (2001). Integrated solid waste management: a life cycle inventory, second ed., Blackwell Science. 273-451.
- [3] CHAVEIRO, V. (2007). Comunicação pessoal, Reunião de 31 de Outubro na Essilor, Rio de Mouro (Portugal).
- [4] DESPACHO n.º 454/MOTDR/2006, «D.R. II Série», 6 276-277.
- [5] PORTARIA n.º 187/2007, «D.R. I Série», 30, 1046-1079.
- [6] COSTA, P. (2006). Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa (Portugal). Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Química.
- [7] DBK. S.A. (2007). Sectores – Fabricantes e distribuidores de óptica – Mercado Português, 5ª edição, Madrid.
- [8] ESSILOR DO BRASIL (2006). Histórico. Disponível na World Wide Web: <http://www.varilux.com.br/historico.php>, acedido em Janeiro de 2008.
- [9] 20/20 BRASIL (2006). Mundo – História. Do Oriente ao Ocidente. Disponível na World Wide Web: http://www.2020brasil.com.br/publisher/preview.php?edicao=0506&id_mat=1359, acedido em Dezembro 2007.

- [10] NEOVISION EYE CENTER (s.d), Difference between plastic CR-39 and polycarbonate. Disponível na World Wide Web: <
http://www.neovisioneyecenter.com/eyeglass_faq.html#12, acessado em Janeiro 2008.
- [11] FREGOLENTE, P. B. (2006). Estudo da fotopolimerização de monômeros monofuncionais e multifuncionais para produção e recobrimento de lentes oftálmicas. Campinas. Brasil. Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas. Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.
- [12] GORNI, A. A. (2006). Propriedades e Características de Resinas Plásticas Usadas em Chapas Amortecedoras de Vibração. Actas do PlastShow 2006, Feira e Congresso, São Paulo, Aranda Editora.
- [13] SPINACÉ, M.A & PAOLI, M. A. – A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química Nova, Vol. 28: 1, 65-72, 2005.
- [14] SANTOS, A. B (2002). Plástico biodegradável. Prêmio finep 2002 de inovação tecnológica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponível na World Wide Web: <
<http://www.ipt.br/atividades/inovacao/exemplos/plastico/definicao>>, acessado em Janeiro de 2008.
- [15] PERRET OPTICIENS (2003). Optical correction. Disponível na World Wide Web: <
<http://www.perret-optic.ch/optometrie>>, acessado em Dezembro 2007.
- [16] PPG INDUSTRIES (2001). The technical features of trive™ lens material. Disponível na World Wide Web: <www.ppgtrivex.com> acessado em Dezembro de 2007.
- [17] PINTO, U. F & MONTEIRO, E. E. (2005). Efeito da Massa Molar e do Teor de Poliuretano nas Propriedades Mecânicas de Misturas Poli (Metacrilato de Metila) / Poliuretano, Polímeros: Ciência e Tecnologia, 15:3, 156-162

- [18] CHIU, H., MAYR, R. & YEAN L. (s.d.) Thermoplastic polyurethane lenses with a specified weight percentage of urethane repeating units - patent application, Woodbury, N.Y. (United States). Disponível na World Wide Web: <<http://www.faqs.org/patents/inv/106802>>, acessado em Outubro de 2009.
- [19] BROOKS, C.W. & BORISH I. M. (2007). System for ophthalmic dispensing, 3rd edition, chapter 23 - Lens materials, Safety and Sports Eyewear, 569-592.
- [20] Becker, D. (2002). Blendas PP/PU: Estudo do efeito do agente compatibilizante e reciclagem de resíduos de PU. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil).
- [21] 20/20 BRASIL (2008). Lentes oftálmicas – Lentes mágicas. Disponível na World Wide Web: <http://www.2020brasil.com.br/publisher/preview.php?edicao=1204&id_mat=997>, acessado em Janeiro 2008.
- [22] JORGLAIS (2006). Produção - processo de superfície. Disponível na World Wide Web: <<http://www.jorglais.com.br/lab.asp>>, acessado em Janeiro 2008.
- [23] MUNDO ÓPTICO (s.d), notícias em espanhol. Disponível na World Wide Web: <<http://www.mundooptico.com/espanol.html>>, acessado em Janeiro 2008.
- [24] CONVERGÊNCIA. O Brasil na rota da superfície digital. Disponível na World Wide Web: <<http://www.revistaconvergencia.com.br/obssurfacagem36.html>>, acessado em Janeiro de 2008.
- [25] WIKIPEDIA (s.d) – Corrective Lens. Disponível na World Wide Web: <http://en.wikipedia.org/wiki/Corrective_lens>, acessado em Janeiro de 2008.
- [26] MARTINHO, G. e GONÇALVES, G. (1999). Gestão de resíduos, Universidade Aberta, Lisboa (Portugal).

- [27] PLASTVAL (2008). Origem. Disponível na World Wide Web:
<www.plastval.pt/conteudo/consumidores/origem.html>, acedido em Maio de 2008.
- [28] SOARES, A., CUNHA F. e LOPES M. (2004). Reciclagem de plásticos:
implementação da recolha selectiva de plásticos numa linha de montagem automóvel,
Actas da 8ª Conferência Nacional de Ambiente, 27 a 29 de Outubro, Lisboa (Portugal).
- [29]- JAVIERRA, C., CLAVERIAA, I., PONZA L. AÍSA, J. & FERNÁNDEZA, B.
(2007). Influence of the recycled material percentage on the rheological behavior of
HDPE for injection moulding process. *Waste Management*. 27, 656 – 663.
- [30] ESTG – Escola Superior de Tecnologia e Gestão (s.d). Processos de produção
industrial – Processo de processamento de plástico. Departamento de Engenharia
Mecânica do Instituto Politécnico de Leiria. Disponível na World Wide Web:
http://www.estg.ipleiria.pt/files/307309_c8_proc_plastic_43824df066e58.pdf,
visualizado em 2009.
- [31] MORAIS, D. (2009). Comunicação pessoal, contacto telefónico em 21 de Novembro,
Vila Nova de Gaia (Portugal).
- [32] BAYER MATERIAL SCIENCE (2007). Exposição. Notícias. *Revista Plástico*
(Novembro). 397.
- [33] ZHANG, S.L., ZHANG, Z. T. & KIM, J. K.(2008). Influence of regenerated PU on
mechanical properties and thermal stability of PP. *Materials letter* 62. 1532 – 1534.
- [34] PANYAKAPO, P & PANYAKAPO, M. (2008) Reuse of thermosetting plastic waste
for lightweight concrete, *Waste Manegement* 28, 1581 – 1588.
- [35] VASILE, C., BREBU, M., KARAYILDIRIM, T., YANIK, J. & DARIE, H. (2006).
Feedstock recycling from plastic and thermoset fraction of used computers (I) :
Pyrolysis, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 99 -108.

- [36] KAMINSKY, W., SCHLESSELMANN, B. & SIMON, C. M. (1996). Thermal degradation of mixed plastics waste to aromatic and gas. *Polymer degradation and stability*: 53, 189-197.
- [37] AL-SALEM, S. M., LETTIERI, P. & BAEYENS J. (2009). The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re-use to energy and quimicals, *Progress in Energy and combustion science*, 36, 103 -129.
- [38] PLASTVAL, J. (2009). Comunicação pessoal, contacto telefónico, Novembro, Lisboa, Portugal.
- [39] OPTIVISÃO S. A. (2009). Quem somos. Disponível na World Wide Web: <[http://www.optivisao.pt/cgi-bin/2Nivel.asp?c=GrupoOPTIVISÃO_Quem Somos](http://www.optivisao.pt/cgi-bin/2Nivel.asp?c=GrupoOPTIVISÃO_Quem%20Somos)>, acedido em Setembro de 2009.
- [40] DUARTE, M. (2006). Os Sistemas de Informação Ambiental e Gestão de Excelência. Coleção TESES. Universidade Lusíada Editora. Lisboa. ISBN:972-8883-76-8.
- [41] CLESCERI L.S., GREENBERG A.E., EATON A.D. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington DC published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation.
- [42] CORREIA, S. (2009). Comunicação pessoal, Reunião de 12 de Novembro, na Extruplas, Seixal (Portugal).
- [43] INE (2008). Ficheiro de Unidades Estatísticas – FUE - Base de Belém, departamento de metodologia estatística, Agosto, Lisboa (Portugal).
- [44] - BARROS, A. (2009). Comunicação pessoal, reunião de 14 de Janeiro, na Dimas Graça, Faro (Portugal).

- [45] EUROSTAT (2009). External trade database. Disponível na World Wide Web: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database> acedido em Maio de 2009.
- [46] FARINHA, Diana (2009). Comunicação pessoal, reunião de 12 de Novembro, Carl Zeiss Vision (Iola), Setúbal (Portugal).
- [47] GRAÇA, C. (2008). Comunicação pessoal, reunião na Dimas Graça, em Faro (Portugal).
- [48] CÂMARA, I. (2008). Comunicação pessoal, reunião no Oculista das Avenidas, em Lisboa (Portugal).
- [49] LUND, H. (1999). The McGraw-Hill recycling handbook, McGraw-Hill, inc. New York.
- [50] VALORSUL (2009), Central de tratamento de Resíduos sólidos. Disponível na World Wide Web: <www.valorsul.pt/default.asp?SqlPage=content&CpContentId=15085>, acedido em Novembro de 2009.
- [51] INTERFILEIRAS (2009), Evolução da reciclagem em 2008 – Actualização. Boletim Estatístico n.º 2. Disponível na World Wide Web: www.plastval.pt/conteudos/File/Boletim%20IF/Boletim%20Estatstico%20%202.pdf, acedido em Novembro 2009.
- [52] HERMANS, R. P.; SERNA, J.G. e ALONSO, M. J. C. (2006). Chemical recycling of polycarbonate by supercritical alcohol-CO₂ assisted process: A green-efficient route for CD-DVD's wastes recycling. Conference documents. Valladolid (Spain).

Anexo I**Definição da dimensão das cadeias de óptica****Quadro A1 – Localidades das lojas próprias Optivisão**

Distrito	Localidades	N.º de lojas
Viana	Barroselas	1
	Arcozelo	1
Braga	Avanca	1
	Aves	1
	Braga	1
	Caminha	1
	Cortegaça	1
	Forjães	1
	Guimarães	1
	Martim	1
	Merelim	1
	Bragança	Bragança
Gaia		3
Grijó		1
Porto	Maia	1
	Matosinhos	1
	Valongo	1
	Viseu	1
Guarda	Foz Coa	1
	Guarda	1
Aveiro	Águeda	1
	Anadia	1
	Cacia	1
	Calvão	1
	S.ta Ma. Feira	1
Coimbra	Montemor- o- velho	1
	Anazede	1
Lisboa	Leiria	1
	Lisboa	3
	Alfragide	1
	Arruda dos vinhos	1
	Telheiras	1
	Cacém	1
	Castanheira do Ribatejo	1
	Amadora	2
	Rio de Mouro	1
	Lourel	1
	Mafra	1
Oeiras	1	
Torres Vedras	1	
Setúbal	Setúbal	1
Beja	Mértola	1
Total		47

CAE 52482 - Comércio a retalho de material óptico, fotográfico, cinematográfico e de instrumentos de precisão

Um dos critérios de classificação das empresas utilizado pelo INE é o volume de negócios, que se encontra definido em 10 escalões, no caso das empresas com a CAE 52482. No âmbito deste trabalho apenas interessa uma classificação simples, com escalões maiores que dê uma imagem rápida da dimensão da empresa. Assim, agruparam-se os escalões definidos criando classes maiores de forma a ter apenas 3 categorias (Grande, Média e Pequena).

O quadro seguinte demonstra como foram agrupados os escalões definidos pelo INE e definidas as novas categorias de dimensão das cadeias de lojas (empresas).

Quadro A2 – Escalões de dimensão das cadeias de lojas

Dimensão da cadeia	Escalão de Volume de Negócios	Valor (€)
Pequena	0 -3	(0 – 500 000)
Média	4-6	(501 000 – 3 000 000)
Grande	7-10	(3 000 001 – 15 000 000)

Adaptado de INE [43]

Definição da dimensão das empresas fabricantes de material óptico e oftálmico

CAE 33401 - Fabricação de material óptico e oftálmico

Para caracterização da dimensão das empresas que produzem e distribuem lentes em Portugal considerou-se o critério volume de negócio para proceder à sua ordenação (Quadro - A3)

Quadro A3 – Escalões de dimensão das empresas fabricantes de Lentes oftálmicas

Dimensão da empresa	Escalão de Volume de Negócios	Valor (€)
Muito Grande	≥ 12	$\geq 65\ 000\ 001$
Grande	10 - 11	(25 000 001 – 65 000 000)
Médio	8 - 9	(7 000 001 – 25 000 000)
Pequeno	6 - 7	(3 000 001 – 7 000 000)
Muito pequeno	5	(1 500 001 - 3 000 000)
Sem expressão	≤ 4	$\leq 1\ 500\ 000$

Adaptado de INE [43]

Quadro A4 – Peso médio de uma lente acabada

Material	N.º de lentes	Peso total (g)	Peso médio (g)
Policarbonato	101	1053	10,43
Outras resinas	101	1268	12,55

Quadro A5 – “Checklist” dos Fabricantes de LOO

Entidade:

Data:

Materiais utilizados na produção de LOO Quais os termoplásticos/termofixos?	
Peso médio de cada lente Semi-acabada organica	
Quantidade de resíduos gerados por lente orgânica processada (kg)	
Quantidade anual de RLOO gerada no corte de lentes (kg)	
Grau de humidade dos resíduos de corte (aparas)	
Existe separação dos RLO (vidro – Orgânico)	
Quantidade de lentes orgânicas produzidas por ano	
Existe contaminação dos resíduos c/ mineral ou películas (autocolante) de protecção da lente	
Entidade que faz a gestão dos resíduos	
Destino final dos Resíduos do corte de lentes	
Destino final das lentes de sucata	
Custos de gestão de RLOO (transporte, deposição, valorização...)	
Observações:	

Quadro A6 – “Checklist” dos Recicladores

Entidade:

Data:

Materiais que recebe: -Policarbonato (termoplástico) - Mistura de resinas termofixas	
Requisitos dos resíduos: Grau de humidade, contaminação, tipologia...	
Processo de reciclagem utilizado	
Para que mercado é feito o escoamento dos produtos, nacional ou estrangeiro?	
Que tipo de industria fornece?	
Qual o valor médio pago por ton. de resíduo?	
O transporte é um serviço prestado?	
Observações:	

Quadro A7 - Determinação do grau de humidade dos RLOO gerados durante o corte (aparas)

Resíduo	Vidro	Peso húmido (g)	Peso seco (g)	Humidade (%)	Humidade média (%)
Aparas do Filtro	F1	4,7494	2,0799	56%	58%
	F2	3,4915	1,456	58%	
	F3	3,9518	1,6105	59%	
Aparas do Decantado	D1	5,1103	2,2035	57%	58%
	D2	4,6428	1,9676	58%	
	D3	5,5531	2,2278	60%	

Quadro A8 - Cálculo do peso dos RLOO (aparas) produzidos pela Iola SA, em 2008

Material	RLOO gerados p/ lente fabricada (g)	Quant. anual de lentes fabricadas (Unid.)	RLOO Peso seco total (kg)	RLOO Peso total com 30% humidade (kg)
Policarbonato	39,6	66 960	2 652	3 447
Outras resinas	47,5	119 040	5 654	7 350
TOTAL		186 000*	8 306	10 797

*Dado fornecido por fabricante [46]

Quadro A9 – Valor comercial dos polímeros, em Dezembro de 1998

Polímero	Valor por kilograma (\$ Real)
PEBD	1,19
PEAD	1,15
PP	1,17
PS	1,18
PET	1,20
HIPS	1,18
PS exp.	1,78
PVC	1,38

PC	6,85
-----------	-------------

Adaptado de [12]

Quadro A10 – Total de RLOO (sucatas) geradas anualmente nas lojas de óptica

Material	Lentes vendidas nas lojas (Unid.)	% de recuperação	LOO de sucata recolhidas (Unid.)	Peso médio p/ LOO cortada de sucata (g)	Total de sucatas geradas nas lojas (kg)	Total de sucatas geradas nas lojas (T)
Policarbonato	1.332.000	12%	159.840	3,7	591	0,6
Outras Resinas	2.368.000		284.160	4,8	1.364	1,4
Total	3.700.000		444.000		1.955	2,0

Quadro A11 - Quantidade total de RLOO (aparas) geradas nas lojas de óptica, em Portugal em 2008

Material	LOO vendidas nas lojas (unid.)	Peso cada lente acabada (fabricante) (g)	Peso cada lente cortada (loja) (g)	Aparas p/ lente cortada na loja (g)	Total de aparas secas geradas nas lojas (kg)	% de humidade	Total de aparas Húmidas geradas nas lojas (kg)
Policarbonato	1.332.000	9,54	3,7	5,84	7.779	58%*	12.291
Outras Resinas	2.368.000	12,55	4,8	7,75	18.352		28.996
Total	3.700.000				26.131		41.287

* % de humidade das aparas recolhidas nas ópticas (Quadro 14)

Anexo II – Cartaz

Imagem 1 – Cartaz A4 de informação e sensibilização para os clientes da óptica



The poster features a header with the logos of the University of Algarve and the Faculty of Ocean and Environmental Sciences, along with the text 'UNIVERSIDADE DO ALGARVE', 'FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE', and 'MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE'. The main title is 'SABIA QUE AS SUAS LENTES PODEM TORNAR-SE CD'S DE MÚSICA?'. Below this, it says 'Contribua para esta campanha de reciclagem colocando as suas lentes usadas nesta caixa' next to a green recycling symbol. The campaign dates are 'Campanha de 15/7/2008 a 15/8/2008'. A diagram shows a person's eye with glasses, a recycling bin, and a CD, connected by arrows. At the bottom, it states 'Estudo realizado pela Universidade do Algarve em colaboração com o Grupo OPTIVISÃO' and 'Responsável pelo estudo: Eng.ª Cláudia Ruivinho Graça'.

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS DO MAR E DO AMBIENTE
MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

**SABIA QUE AS SUAS LENTES
PODEM TORNAR-SE CD'S
DE MÚSICA?**

Contribua para esta
campanha de reciclagem
colocando as suas lentes
usadas nesta caixa

Campanha de 15/7/2008 a 15/8/2008

Estudo realizado pela Universidade do Algarve em
colaboração com o Grupo OPTIVISÃO
Responsável pelo estudo: Eng.ª Cláudia Ruivinho Graça