

Análise de reciclabilidade de armações de óculos solares: policarbonato vs madeira

*Sunglasses frame recyclability analysis:
polycarbonate vs wood*

Manuela Kanan^a

Luis A. K. Bugin^b

Suzane Miritz^c

Jocelise Jacques de Jacques^d

Luis Henrique Alves Cândido^e

^aMestre em Design Visual, Kobe Design University, Mestranda em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: manuela.kanan@yahoo.com.br

^bMestrando em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: augustobugin@gmail.com

^cMestranda em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: suzane.miritz@gmail.com

^dProfessora Colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: jocelise.jacques@ufrgs.br

^eProfessor Titular do Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, RS, Brasil
End. Eletrônico: 00157156@ufrgs.br

doi:10.18472/SustDeb.v10n1.2019.20161

Recebido: 29/12/2018

Aceito: 19/03/2019

ARTIGO - VARIA

RESUMO

Os óculos solares surgiram após a Primeira Guerra Mundial e, desde então, são utilizados por grande parte da população como um acessório e como proteção para os olhos. Para investigar o final do ciclo de vida desse produto, elaborou-se um questionário virtual, obtendo-se 765 respostas; complementarmente foram realizadas entrevistas em óticas, lojas especializadas e oficinas de reparos da cidade de Porto Alegre (Brasil). De acordo com os dados coletados, foram selecionados dois óculos solares: modelo A, de polímero termoplástico, e modelo B, de madeira, visando analisar o potencial de reciclabilidade desses produtos. As armações dos modelos foram analisadas sob ótica do design orientado para a desmontagem (DfD) e para a reciclagem (DfR). Foi necessária caracterização de materiais de componentes do modelo A por técnica de FT-IR. As análises apontam que a armação do modelo A, de policarbonato, tem menor impacto na desmontagem, separação e reaproveitamento dos materiais pela indústria de reciclagem mecânica. Apesar de o modelo B ter materiais de origem renovável (madeira), a fabricação da armação por prensagem com resina epóxi compromete a separação dos materiais pós-consumo. Nesse caso, indica-se seu reaproveitamento por reciclagem energética.

Palavras-chave: Óculos solares; Madeira; Policarbonato; Fim de Ciclo de Vida; Reciclabilidade; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Sunglasses were created after the First World War and, since then, have been used by great part of the population, as an accessory and as eye protection. To investigate the end of the life cycle of this product, an on-line questionnaire was devised and 765 answers were collected from users. In addition, interviews in eyewear stores and repair shops were realized. Based on the gathered data, two sunglasses models were selected to analyse their recyclability potential: model A, made from thermoplastic and model B, made from wood. The frames were analysed under the Design for Dismantling and Design for Recycling approach. The material characterization for model A was necessary, made through the FT-IR technique. The analysis shows that model A has lower impact when dismantling, separating and reusing materials through mechanic recycling technology. Although model B is made of materials from renewable resources (wood), the frame production by pressing with epoxy resin compromises the separation of post-consumer waste, which, in this case, is indicated for reuse through energy recycling.

Keywords: Sunglasses; Wood; Polycarbonate; End of Life Cycle; Recyclability; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Os óculos de sol, como produto de moda, são consumidos por diversas faixas etárias no Brasil. O mercado óptico no País movimentou 21,4 bilhões de dólares em 2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS ÓPTICAS, 2018), e apresenta projeção de crescimento, dependendo do cenário de recuperação e controle econômico nacional (EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2017). Desse mercado, mais de 70% dos produtos são importados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL apud EUROMONITOR INTERNATIONAL, 2014) e, desse montante, destacam-se os óculos solares chineses que abastecem o comércio popular (SANT'ANNA, 2008).

Argumenta-se que produtos deveriam ser projetados em uma perspectiva que contemple todas as fases do ciclo de vida (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p.100). Entretanto, a escala de resíduos gerados por óculos descartados, por desgaste ou tendências de moda, não apresenta reaproveitamento em meio à escassez de estudos na área (VIDALES, 2013). O reaproveitamento de resíduos é pauta da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) na elucidação de oportunidade para empresas que busquem alternativas tecnológicas, de disposição final adequada, por programas de 3Rs (redução, reutilização e reciclagem), conceitos regulamentados pela Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Apesar de holístico, de acordo com o conceito dos 3Rs, o desenvolvimento de um produto pode ser orientado por diferentes diretrizes interdependentes entre si (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Vidales (2011) demonstra que a reciclabilidade de óculos poliméricos apreendidos como mercadoria ilegal depende da desmontagem, identificação de materiais e seu potencial de reciclabilidade. Segundo Rossi et al. (2016), o mercado de produtos sustentáveis está em ascensão, pois os requisitos ambientais deixaram de ser barreiras e passaram a ser incorporados como valor agregado. Aguiar et al. (2017) propõem estratégias não baseadas na Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou no custo, mas em informações do potencial de reciclabilidade das partes do produto em desenvolvimento.

Nesse caso, o termo reciclabilidade é relacionado ao processo de desmontagem e identificação dos materiais, suas propriedades técnicas, processos de reciclagem, facilidade de descarte e de potencial reúso (AGUIAR et al., 2017). O objetivo do presente artigo é ampliar a discussão sobre desmontagem e reciclabilidade de óculos solares investigados por Vidales (2011, 2013), pela comparação destes com modelo de óculos “sustentável” com armação de madeira.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 CONSUMO SUSTENTÁVEL E ÓCULOS SOLARES

A prática do consumo acompanha o ser humano em todos os momentos, direta ou indiretamente, mas é o indivíduo, ao decidir como e o que adquirir e utilizar, quem legitima a existência de um determinado

produto e estará na origem dos efeitos ambientais ligados à sua produção e ao seu escoamento final (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Uma maneira de oportunizar boas condições de vida hoje, sem comprometer as gerações futuras, é guiar transformações no sentido de repensar o que e em que quantidade é consumido para alcançar o consumo sustentável (JACQUES, 2011). Segundo Costa e Oliveira (2009), consumo sustentável é o padrão de consumo por meio da compra e uso dos bens e serviços que atendam às necessidades básicas das pessoas considerando o impacto na degradação ambiental, e o meio ambiente como fator decisivo da aquisição ao uso e descarte dos produtos. Para Manzini e Vezzoli (2008), a melhor maneira para seguir no caminho da sustentabilidade é aquela em que cada consumidor em potencial, com base nos seus valores, critérios de qualidade e em sua expectativa de vida, faça escolhas que sejam as mais compatíveis com as necessidades ambientais. Isso porque, independentemente da eficiência dos processos e produtos, o que importa é o nível de consumo dos indivíduos, que não pode ser mais alto que aquele que o planeta pode suportar em longo prazo (BOND, 2005; JACQUES, 2011).

Historicamente, os óculos solares são uma solução para a demanda surgida nos anos de 1920, após a Primeira Guerra Mundial, momento em que a indústria de aviões crescia e se tornava apta a desenvolver aeronaves capazes de atingir altitudes impressionantes para a época. Em contrapartida, seus pilotos eram prejudicados pela claridade excessiva do sol acima das nuvens e acabavam sofrendo distorções visuais. Para solucionar esse problema, a Baush&Lomb, após anos de pesquisa, criou lentes de cristal verde que eram capazes de bloquear a luz solar assim como proteger os olhos contra os raios ultravioletas e infravermelhos (COSTA et al., 2010).

Assim, surgiram os óculos solares, utilizados hoje por grande parte da população, independentemente de faixa etária e sexo, em todas as épocas do ano como um acessório e parte do vestuário, seguindo as tendências de moda. Uma pesquisa realizada por Araújo (2013) sobre as motivações para o consumo de óculos solares demonstrou que o consumo desse objeto deve-se principalmente por ser um meio de distinção entre grupos e classes sociais.

2.2 DESIGN, FINAL DO CICLO DE VIDA E RECICLABILIDADE

O conceito do Design do Ciclo de Vida (Life Cycle Design– LCD) leva em conta todo o ciclo de vida do produto, propondo estratégias de: minimização de recursos, escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental, otimização da vida dos produtos, extensão da vida dos materiais e facilidade de desmontagem (MANZINI; VEZZOLI, 2008). O sucesso da implementação de estratégias baseadas no ecodesign deriva da disponibilidade de ferramentas de análise de ciclo de vida, do desempenho do produto e novas tecnologias durante a fase projetual (ROSSI et al., 2016).

No ecodesign, existe o Design Orientado ao Meio Ambiente (DfE) que agrupa abordagens como Design Orientado à Montagem (DfA), Design Orientado ao Serviço (DfS), o Design Orientado à Reciclagem (DfR) e o Design Orientado à Desmontagem (DfD). Essas abordagens auxiliam a mitigar impactos ambientais no desenvolvimento, consumo e disposição final de produtos, no sentido da ecoeficiência (PLATCHECK, 2012). Rossi et al. (2016) indicam que na implementação de diretrizes do ecodesign, além de parâmetros de consumo de energia e recursos, devem-se considerar requisitos de manufatura do produto. Segundo Allione et al. (2012), ao final de vida do produto, este deve ser passível de desmontagem por sistemas de junção reversíveis, desse modo viabilizando a separação dos materiais e encaminhamento a processos de reutilização.

Para o descarte, existem alternativas, como recuperação da funcionalidade de componentes, extensão do ciclo de vida do material por reciclagem ou resgate de conteúdo energético por incineração ou compostagem (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Entretanto, na seleção de materiais, primeiro deve-se observar os materiais com potencial de reciclabilidade, biodegradabilidade ou compostagem para depois considerar materiais potenciais de recuperação energética (ALLIONE et al., 2012). A Lei nº 12.305/10, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece diferenciação entre resíduo e rejeito, como estímulo ao reaproveitamento e reciclagem de resíduos e a disposição final apenas de rejeitos (BRASIL, 2010).

Ao encontro do DfE, está o conceito lógico circular do Cradle to Cradle (Berço ao Berço), de McDonough e Braungart (2002), que pretende avaliar os processos de produção, uso e descarte de forma cíclica, nos quais os resíduos gerados pelo produto ou processos são reaproveitados em outro ciclo em um fluxo de transformação dos materiais. A aplicação desse conceito nos óculos passa pela constituição básica destes, a qual se dá por lentes e armação, esta última composta por aros, hastes, charneira, ponteiras, plaqueta e grip (VIDALES, 2011). Considerando-se a variedade de modelos existentes, pode ocorrer ausência de componentes, quando, por exemplo a dobradiça aplicada na estrutura da lente e do aro pode cumprir o papel de união entre a armação e as hastes (VIDALES, 2011). Segundo Vieira (2014), a desmontagem da armação dos óculos é difícil econômica e tecnicamente, devido à contaminação entre polímeros, pinos metálicos, colas e tintas.

Segundo Maris et al. (2018), a recuperação de plásticos é realizada por reciclagem mecânica, química ou energética, termos definidos pela norma ISO 15270. A Sociedade Americana de Ensaio de Materiais (ASTM) apresenta na norma D7209-06 a divisão dos processos de reciclagem em primário, secundário, terciário e quaternário (MARIS et al., 2018; ZANIN; MANCINI, 2009).

A reciclagem primária resulta do reaproveitamento de resíduos pré-consumo, como sobras e refugos, com baixa contaminação, propriedades semelhantes ao material virgem e mesma aplicação, podendo ser referida como de ciclo fechado (MARIS et al., 2018; ZANIN; MANCINI, 2009).

A reciclagem secundária, ou reciclagem mecânica, utiliza processos mecânicos (separação, lavagem, moagem, secagem, extrusão ou injeção) para converter o resíduo sólido urbano, com certa deterioração das propriedades, em matéria-prima reciclada a ser incorporada, em parte ou no todo, em novas aplicações (MARIS et al., 2018; ZANIN; MANCINI, 2009).

Na reciclagem terciária, ou química, é empregado o processo químico de despolimerização dos polímeros, decompondo quimicamente o material em subprodutos de baixa massa molar para aplicar na formulação de novos polímeros ou combustíveis (ZANIN; MANCINI, 2009).

Finalmente, a reciclagem quaternária, ou energética, ocorre pelo reaproveitamento do calor ou eletricidade produzidos pela incineração do resíduo (MARIS et al., 2018; ZANIN; MANCINI, 2009). O esquema da Figura 1 apresenta um ciclo simplificado para a cadeia dos plásticos pós-consumo elaborado por Zanin e Mancini (2009).

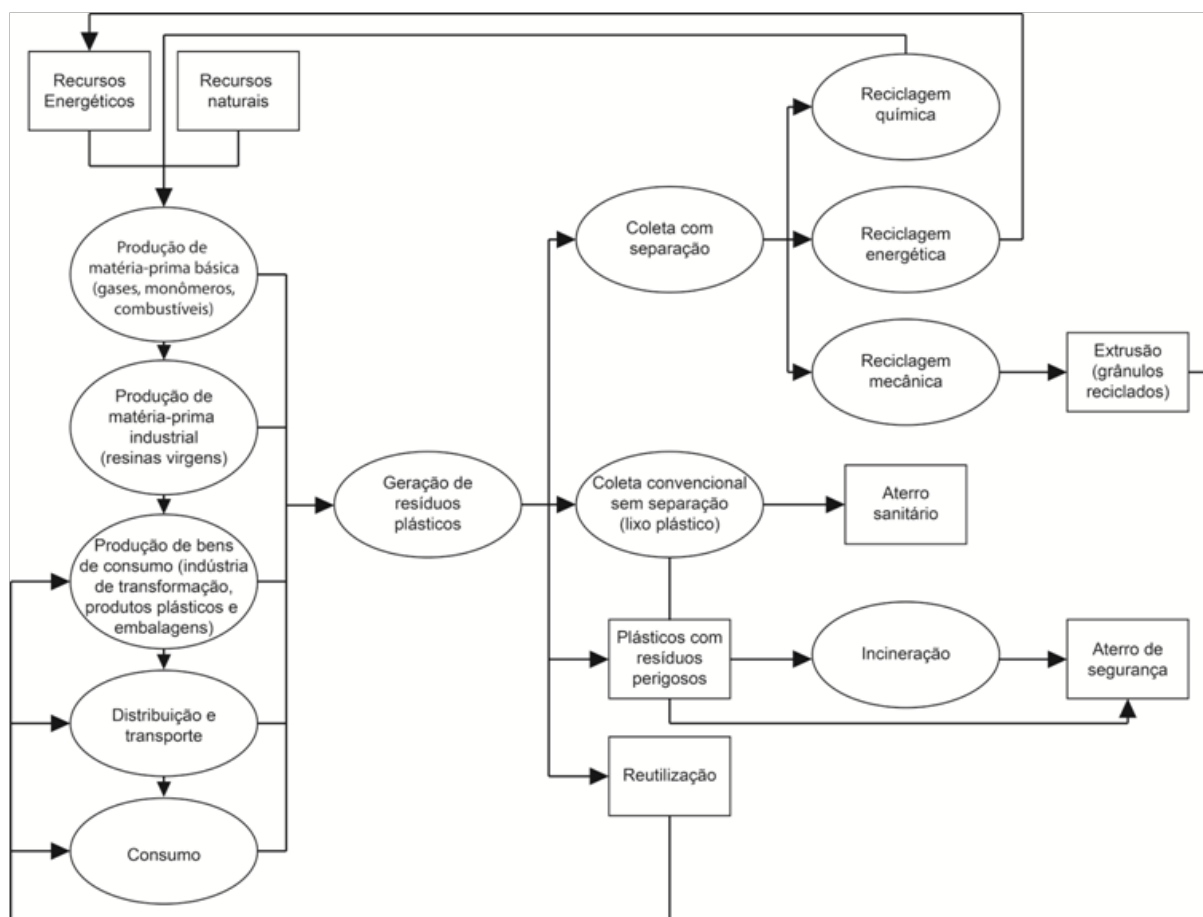


Figura 1– Representação esquemática do ciclo da cadeia dos plásticos pós-consumo.
Fonte: Zanin e Mancini (2009).

Atualmente, adota-se a reciclagem mecânica por vantagens ambientais e econômicas, embora seja restringida pela dificuldade de separação de diferentes polímeros, geralmente imiscíveis entre si (MARIS et al., 2018). Na etapa de separação, existem processos manuais e automáticos, cuja eficácia está na separação do plástico entre outros resíduos, como papel, vidro e metal. As técnicas de caracterização geralmente aplicadas são a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) (SINGH et al., 2017). Pela dificuldade de separação e durabilidade dos polímeros presentes no resíduo urbano, o acúmulo desses materiais ocorre em aterros e ambientes naturais. Esse problema pode ser mitigado mediante o remanejamento do resíduo para centros de reciclagem energética, os quais podem lançar substâncias perigosas à atmosfera (HOPEWELL et al., 2009).

Ashby (2013) define reciclabilidade como um conjunto de variáveis e propriedades, como consumo de energia e de água, emissões de poluentes, porcentagem de recuperação do material e de suas propriedades, assim como custos econômicos do processo. O potencial de reciclabilidade também pode ser descrito pelos processos de reciclagem em um material de baixo ou alto desempenho, e ainda aspectos de valor de mercado, infraestrutura existente, processos de separação e moagem (AGUIAR et al., 2017; ALLIONE et al., 2012).

A facilidade de desmontagem é uma das estratégias do LCD, assim como do DfD, pois influencia o potencial de reciclabilidade do material (AGUIAR et al., 2017; MANZINI; VEZZOLI, 2008; PLATCHECK, 2003). “Atualmente o desmonte se inviabiliza economicamente, pois não é levado em consideração nas fases iniciais do projeto, e, por não ser previsto, resulta em alto custo de mão de obra” (KINDLEIN JÚNIOR et al., 2002, p.4). Nesse sentido, o presente estudo busca comparar modelos de óculos solares de materiais distintos para avaliar um dos seus possíveis finais de ciclo de vida, pela análise da desmontagem, identificação dos materiais constituintes e potencial de reciclabilidade.

3 METODOLOGIA

Uma das possibilidades para o final do ciclo de vida de um produto é a reciclagem. Entretanto, nem todo objeto é facilmente reciclável. Neste estudo-piloto, será analisado o potencial de reciclagem de dois óculos escuros de materiais diferentes para comparação entre eles. “O estudo do potencial de reciclabilidade é conectado a dois fatores: processo de desmontagem e a reciclagem dos materiais” (AGUIAR et al., 2017, p. 225). O processo de desmontagem, de acordo com a ferramenta proposta por Aguiar et al. (2017), depende da quantidade e dos tipos dos elementos de junção. O segundo grupo de indicadores está relacionado aos materiais utilizados, facilidade de descarte e possibilidades de reutilização.

Este estudo foi realizado em três etapas: questionário on-line com usuários, entrevistas com lojistas, e análise de reciclabilidade. A Figura 2 expõe o fluxograma das etapas e procedimentos realizados para a obtenção dos resultados deste trabalho.

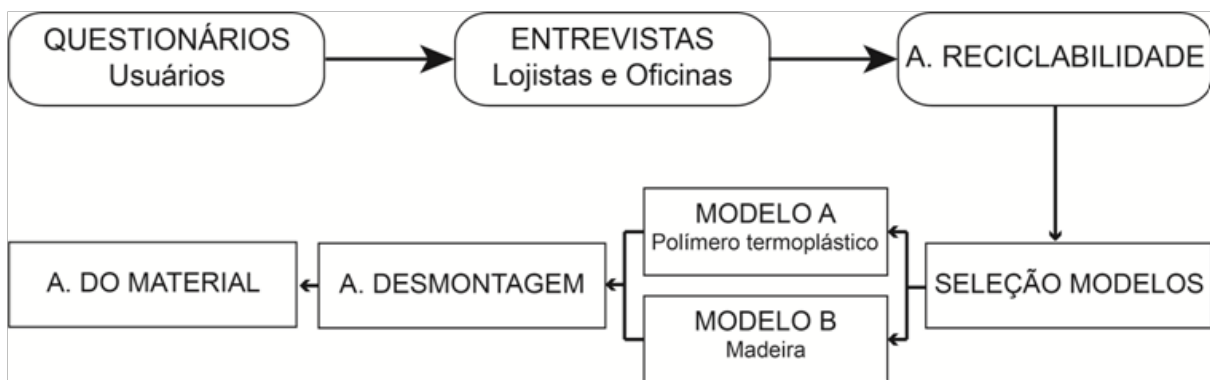


Figura 2– Fluxograma de etapas e procedimentos realizados.
Fonte: Autores (2018).

O questionário on-line foi aplicado para obter dados quantitativos dos hábitos de consumo e descarte dos óculos solares. Recursos da plataforma Formulários Google foram os escolhidos para esta etapa. Foram definidas oito perguntas objetivas, fechadas e obrigatórias: idade, sexo, número de óculos escuros que teve na vida, tipo de óculos que costuma comprar, local para adquirir óculos escuros, motivos para comprar óculos escuros novos, destino dos óculos escuros que não usa mais e destino dos óculos escuros danificados; todas com opção “outros” que permite a descrição de uma nova alternativa de resposta. O endereço on-line de acesso ao questionário foi compartilhado via redes sociais durante uma semana.

Na segunda etapa foram realizadas entrevistas pelos autores em 11 óticas e lojas especializadas, localizadas no centro do comércio popular e em shopping center orientado a público de maior poder aquisitivo, ambos em Porto Alegre (RS).

O foco das perguntas era identificar: público-alvo do estabelecimento, óculos escuros vendidos por semana, principais modelos de óculos escuros vendidos, principais fornecedores e existência de fornecedor regional (RS), realização de reparos de óculos escuros e existência de políticas de devolução de óculos solares. As respostas foram anotadas manualmente e posteriormente transcritas para arquivo de texto. Foram visitadas duas oficinas de reparos, indicadas pelos entrevistados, utilizadas quando os consumidores necessitam de reparos maiores nos seus óculos escuros.

A próxima etapa foi a análise de reciclabilidade, composta por três passos: seleção dos óculos escuros, análise de desmontagem e análise dos materiais. Pela oportunidade de acesso ao excedente de óculos utilizados por Vidales (2011, 2013), disponíveis no Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LdSM), selecionou-se, para este estudo-piloto, um modelo popular semelhante ao modelo F caracterizado por Vidales (2011), porém, de coloração rosa, denominado “A” para este estudo. No processo de seleção dos óculos escuros de madeira, foram identificadas três empresas, mas somente uma demonstrou interesse

em contribuir. A empresa ofereceu uma visita à sua oficina, além de uma explicação sobre todo o seu processo, contudo pediu confidencialidade. O modelo de madeira selecionado foi denominado “B”.



Figura 3– Óculos analisados: modelo A à esquerda e modelo B à direita.

Fonte: Autores (2018).

Selecionados os modelos (Figura 3), efetuou-se uma análise qualitativa de desmontagem, baseada no processo de remoção de subconjuntos e componentes, por meio destrutivo –para reciclagem– e não destrutivo –para reúso ou remanufatura. A ferramenta de AGUIAR et al. (2017) propõe cinco indicadores para essa avaliação: quantidade de elementos de junção (QFI), porcentagem dos elementos de junção (%FI), tipo dos elementos de junção (TFI), quantidade de tipos de elementos de junção (QTFI) e acessibilidade (AI).

No processo de desmontagem manual foram utilizadas apenas uma chave de fenda de precisão e chavephilips para extração de parafusos. Durante o processo, foram visualmente identificados os elementos que compõem o produto, por critério de: número de peças, sistemas de fixação entre componentes, materiais por componente, nível de desmontagem (não destrutivo ou destrutivo) e número de componentes ou peças restantes. Ressalta-se, para esta etapa, a definição do termo “peça” para partes individuais enquanto “componente” identifica um conjunto de peças. Por exemplo, uma haste é um componente, que pode ser composto de uma ou mais peças. Também ficou estabelecido que, para este trabalho, as plaquetas constituem parte dos aros, não sendo consideradas como um componente separado.

Em seguida foi realizada a análise dos materiais. No modelo A foram utilizados: princípio de similaridade para peças metálicas (ASHBY, 2009) por identificação visual, caracterização da lente e armação baseada na técnica de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), alinhada aos resultados de Vidales (2013). A análise de FT-IR foi realizada no equipamento PerkinElmer Spectrum 100, sob parâmetros de intervalo de comprimento de onda entre 4000 a 650 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e 16 varreduras. Em relação ao modelo B, foram utilizados os dados fornecidos pela produtora.

A ferramenta de Aguiar et al. (2017) oferece quatro indicadores para esta etapa. O primeiro é infraestrutura (II), que avalia se a reciclagem do material será realizada de forma efetiva. O segundo indicador é o da compatibilidade de material (MCI) verificando a possibilidade do processamento dos materiais em conjunto, caso a separação não possa ocorrer. O terceiro é denominado grupo de materiais (MGI) e trata da toxicidade dos materiais. E o último indicador é chamado de contaminação do fim do ciclo de vida (EoLCI) que avalia as mudanças químicas da matéria-prima que podem ocorrer durante a manufatura, como o acréscimo de tintas, colas, etc.

A partir das informações coletadas, foi analisado o potencial de reciclabilidade dos dois óculos escuros, como estudo-piloto, de forma comparativa.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 QUESTIONÁRIO ON-LINE

Os resultados obtidos na pesquisa quantitativa realizada on-line com os 765 respondentes (Figura 4) apontaram que 58,8% destes guardam seus óculos solares sem uso e 26,1% os guardam mesmo danificados.

A influência dos hábitos de consumo é verificada quando 34,1% das razões de compra referem-se a gosto por variedades e moda e tendências. Foi possível identificar que a maior parte dos respondentes já teve entre 2 e 10 óculos solares durante sua vida.

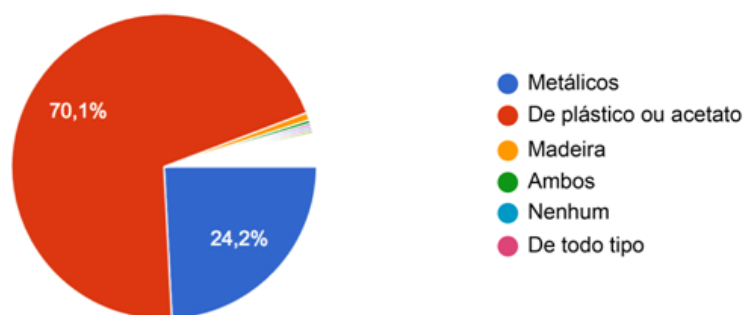
Quanto ao material, a preferência apresentada foi por óculos produzidos por polímeros, com mais de 70% das respostas, enquanto menos de 1% dos entrevistados escolhe óculos fabricados de madeira.

Entre os respondentes, 40% adquirem novos óculos solares apenas quando os antigos estão danificados e 18,2% compram para seguir as tendências da moda. Quanto a o que fazer com os óculos que não estão mais em uso, mais de 50% dos contribuidores os mantêm guardados, enquanto apenas 27,2% optam por doar seus óculos.

No caso de óculos danificados, 26,1% ainda mantêm seus óculos guardados, 32,8% jogam os óculos no lixo seco e 11,2% doam o objeto. Apenas 25,2% dos entrevistados optam por consertar os óculos. Esses dados demonstram a existência de um resíduo invisível na sociedade, composto por materiais que mesmo fora de uso não retornam ao ciclo de produção.

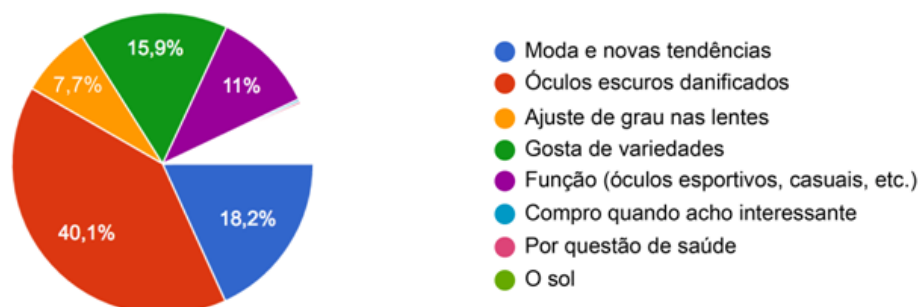
Qual tipo de óculos escuros você costuma comprar?

765 respostas



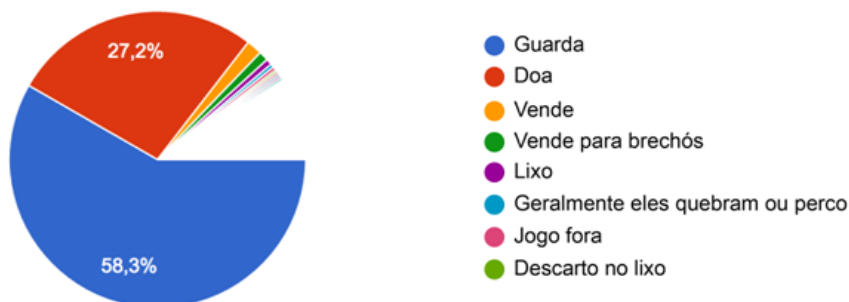
O que leva você a comprar óculos escuros novos?

765 respostas



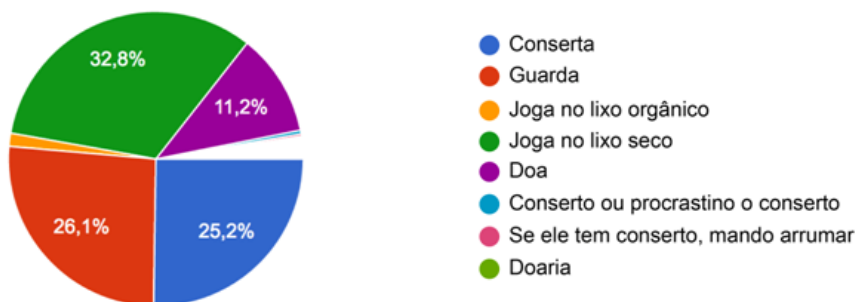
O que você faz com os óculos escuros quando não usa mais?

765 respostas



Quando seus óculos escuros estão danificados, o que você faz?

765 respostas



4.2 ENTREVISTAS EM LOJAS E OFICINAS

Na coleta de dados realizada em óticas e lojas especializadas, não foram observadas ações de coleta de óculos para descarte. As oficinas de conserto de óculos costumam devolver as partes danificadas ao consumidor e não se responsabilizam pelo seu descarte.

No caso das lentes, estas são descartadas no lixo seco ou no lixo orgânico. Foi identificada uma falha de conhecimento técnico, na qual lentes denominadas orgânicas, produzidas de polímero, são erroneamente dispostas no lixo orgânico. Essa confusão é apontada por Zanin e Mancini (2009): embora materiais sejam classificados quimicamente como orgânicos (moléculas com átomos de carbono), têm biodegradação lenta, comparada à compostagem natural utilizada para restos de alimentos e de plantas.

4.3 ANÁLISE DE RECICLABILIDADE

4.3.1 ANÁLISE DE DESMONTAGEM

Seguindo uma das diretrizes para produtos ambientalmente sustentáveis, a “facilidade de desmontagem: projetar em função da facilidade de separação das partes e dos materiais” (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p.106), foi realizado um experimento de desmontagem dos dois modelos selecionados. Para a realização dessa análise, os modelos A e B foram averiguados pelos autores, constituindo o comparativo na Tabela 1 a seguir, a partir dos itens definidos e descritos no capítulo da metodologia.

Tabela1 – Análise de desmontagem.

	MODELO A (Polímero termoplástico)	MODELO B (Madeira)
Número de peças	11	21
Sistemas de fixação entre componentes	Encaixe (lente), parafuso, encaixe sob pressão	Adesivo, parafuso, encaixe (lente)
Materiais por componentes	Hastes - polímero e metal (2 peças cada)	Hastes - madeira revitalizada (3 peças cada)
	Aros - polímero e metal (3 peças)	Aros - madeira revitalizada e metal (9 peças)
	Dobradiças - metal (1 peça) + parte do aro e da haste	Dobradiças - metal (2 peças)
	Lentes - polímero (2 peças)	Lentes - polímero (2 peças)
Nível de desmontagem: não destrutivo, destrutivo	Lentes X aros - Não destrutivo	Lentes X aros - Não destrutivo
	Hastes X aros - Não destrutivo (precisa de ferramenta)	Hastes X aros - Não destrutivo
	Retirada dobradiça - Destrutivo	Retirada dobradiça - Destrutivo
Número de componentes ou peças restantes separadas	7 (separação manual com ou sem ferramentas, não destrutivo)	9 (separação manual com ou sem ferramentas, não destrutivo)

Fonte: Autores (2018).

O modelo B apresentou quase o dobro de peças em relação ao modelo A, devido à sua técnica de produção que cola pelo menos três peças para construção de cada componente. Em ambos os casos, as lentes são anexadas por encaixe, com a diferença do modelo B utilizar um sistema com parafusos para permitir o encaixe, uma vez que a madeira utilizada é menos flexível que o polímero.

A dobradiça do modelo A é integrada ao aro e à haste, com uma única peça em material diferenciado: o parafuso; enquanto a dobradiça do modelo B é constituída por duas peças em metal e precisa ser anexada aos outros componentes. O nível de desmontagem se mostrou o mesmo para ambos os modelos, apresentando necessidade de destruição apenas para a desmontagem das dobradiças.

Seguindo os indicadores de Aguiar et al. (2017), a Tabela 2 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 2 – Resultados encontrados na análise de desmontagem seguindo os indicadores

	MODELO A (Polímero termoplástico)	MODELO B (Madeira)
QFI	6	15
%FI	1.2	3
TFI*	1.07 (encaixes) 1.6 (parafuso)	1.07 (encaixes) 1.6 (parafuso) 2.93 (cola)
QTFI	2	3
AI	1	1
* Valores apresentados por AGUIAR et al. (p. 223, 2016)		

Fonte: Autores(2019).

A partir dos indicadores analisados, é possível perceber que, apesar de semelhantes, os dois modelos apresentam valores bastante diferentes. Essa variação ocorre, principalmente, devido ao modelo B ser composto por camadas de madeira, que exigem a utilização de cola e aumentam a quantidade de elementos de junção (QFI). Ambos os óculos são compostos pelos mesmos componentes, fazendo com que a porcentagem de elementos de junção (%FI) se torne mais que o dobro no modelo B, em relação ao modelo A.

Nos indicadores de tipos de elementos de junção (TFI), a única diferença é o uso da cola, utilizada para agrupar as lâminas de madeira. Entretanto, seguindo os valores apresentados por Aguiar et al. (2017), demonstram o impacto que a cola apresenta, diminuindo significativamente o potencial de reciclabilidade desse material. Dessa forma, a total separação de todos os elementos do modelo B torna-se mais onerosa e difícil que a do modelo A.

4.3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Após análise de desmontagem da armação dos modelos, foi necessário identificar os materiais do modelo A para aferir as características quanto à reciclabilidade. O modelo analisado é similar aos óculos caracterizados por Vidales (2013), porém, tendo coloração na armação e lente diferenciada. Portanto, foi aplicada a técnica de caracterização por FT-IR na armação e na lente.

Na Figura 5, revela-se que a curva de transmitância de análise da armação tem uma correlação de 0.9949 com a curva de revestimento da armação caracterizada por Vidales (2013), indicando a constituição por policarbonato (PC). Ressalta-se que os óculos analisados por Vidales (2013) tiveram sua lente translúcida caracterizada como polimetilmetacrilato (PMMA), nesse caso presume-se que o resultado representado pela Figura 5b seja de um material de revestimento aplicado à lente. Na Figura 5b, exemplifica-se isso pela correlação de 0.9970 entre o resultado da lente do modelo A com dados de revestimento de lente obtidos por Vidales (2013).

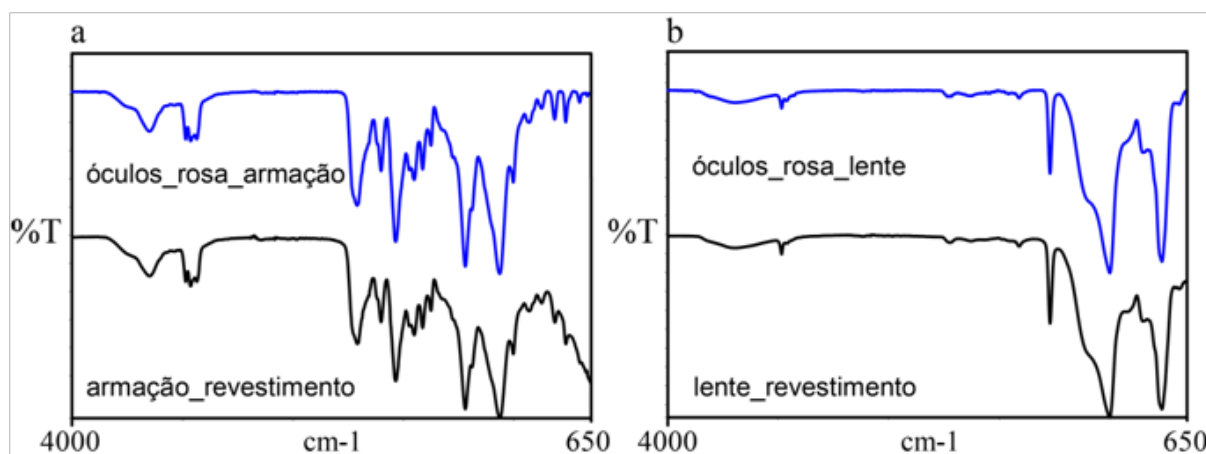


Figura 5 – Resultados do FT-IR comparativo da armação (a) e lente (b) em azul, com resultados em preto, de Vidales (2013).

Fonte: Autores(2018).

O modelo B, de acordo com as informações fornecidas pelos seus produtores, é composto por madeira revitalizada, coletada dos resíduos de indústria moveleira. Os componentes são feitos utilizando lâminas de madeiras diferentes, coladas com cola de poliuretano entre si. Seguindo os indicadores de Aguiar et al. (2017), a Tabela 3 mostra os resultados encontrados.

Tabela 3– Resultados encontrados na análise de materiais seguindo os indicadores propostos por Aguiar et al. (2017).

	MODELO A (Polímero termoplástico)	MODELO B (Madeira)
II	1	4
MCI	1	3
MGI	1	1
EoLCI	4	4

Fonte: Autores (2019).

É possível perceber que as principais diferenças estão nos indicadores de infraestrutura (II) e de compatibilidade dos materiais (MCI). O polímero termoplástico é um material reciclável (ASHBY, 2009), desde que não esteja contaminado com outros elementos, enquanto a madeira, principalmente em pedaços menores, é mais difícil de ser reutilizada e não costuma ser aproveitada nas cooperativas de reciclagem. A cola também é um material que não pode ser extraído da madeira com a tecnologia atual, aferindo um valor mais alto ao índice de compatibilidade do modelo B.

5 RESULTADOS

A análise de reciclabilidade realizada neste estudo-piloto teve como principais ações a análise de desmontagem e a identificação dos materiais, descritos nos itens 4.3.1 e 4.3.2 deste capítulo. A partir da identificação dos materiais, informações coletadas sobre os componentes e peças resultantes da desmontagem, de contato com centros de triagem, do estudo de Vidales (2013) e do programa CES Edupack 2013, foram os modelos analisados de acordo com sua reciclabilidade, produzindo a Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Análise de reciclabilidade dos modelos A e B

	É separado em centro de triagem?	Reciclabilidade dos componentes após desmontagem?	Referência
Modelo A (Polímero termoplástico)	Não		Embapel Reciclagem - Comércio de Resíduos de Papel, Papelão e Plástico; CTS Papéis
2x Lente de acrílico (PMMA)	-	Reciclagem mecânica	Vidales (2013)
1x Aro de policarbonato (PC)	-	Reciclável após desmontagem destrutiva;	Vidales (2013)
2x Parafusos	-	Recicláveis/ reaproveitáveis;	Vidales (2013)
2x Hastes de policarbonato e aço	-	Recicláveis após desmontagem destrutiva.	Vidales (2013)
Modelo B (Madeira)	Sim		
2x Lentes de policarbonato	-	Reciclagem mecânica;	CES Edupack 2013
1x Aro de madeira com adesivo (PU) e resina (não identificada)	-	Reciclagem energética;	CES Edupack 2013
4x Parafusos	-	Reciclagem mecânica/ Reaproveitáveis;	CES Edupack 2013
2x Hastes madeira com adesivo (PU) e resina (não identificada)	-	Reciclagem energética;	CES Edupack 2013

Fonte: Autores (2018).

O modelo A apresenta melhores possibilidades de reciclagem dos materiais devido à separação destes. O modelo B, por outro lado, devido à cola adesiva e à resina, dificulta a separação completa, pois depende de processos mais agressivos, possivelmente químicos para remoção. A Tabela 5, a seguir, expõe uma comparação mais detalhada dos materiais encontrados durante o estudo.

Tabela 5– Análise de materiais identificados

	Energia incorporada, produção primária (MJ/kg)	Pegada de Carbono, produção primária	Potencial de Reciclagem	Energia incorporada, reciclagem	Pegada de Carbono, reciclagem (kg/kg)	Porcentagem de reciclagem no abastecimento atual	Calor para combustão (MJ/kg)	Combustão CO2 (kg/kg)
Aço	25 - 28 MJ/kg	1.7 - 1.9 kg/kg	Alto	6.6 - 8.0 MJ/kg	0.4 - 0.48	40 - 44%	—	—
Polycarbonato	103 - 114 MJ/kg	5.7 - 6.3 kg/kg	Alto	38 - 47 MJ/kg	2.3 - 2.8	0,5 - 1%	21 - 22	1,9 - 2,0
Acrílico	17.6 - 19.4	1.32 - 1.46	Alto	36.1 - 39.9	2.19 - 2.42	0.67 - 0.74%	25.9 - 27.2	2.15 - 2.25
Madeira (imbuia)	9.8 - 10.9 MJ/kg (madeira dura)	0.8 - 0.94 kg/kg (madeira dura)	—	0.58 - 0.64	0.043 - 0.048	8.55 - 9.45%	19.8 - 22	1.76 - 1.85
Poliuretano	110 - 118 MJ/kg	3.7 kg/kg	—	—	—	0.1%	21.8 - 22.9	2.0 - 2.1

Fonte: Autores, baseado em ASHBY (2009, 2013) e CES Edupack(2013).

A pegada de gás carbônico do polycarbonato (modelo A) é muito superior ao da madeira (modelo B). Porém, mesmo que o destino da madeira seja o da reciclagem quaternária, visando geração de energia, o adesivo de poliuretano e a resina não identificada podem causar a emissão de poluentes durante a incineração.

Areciclabilidade do polycarbonato pode ser considerada muito superior à da madeira, que é um material que dificilmente poderá ser reprocessado. Todos os materiais identificados no modelo A são tecnicamente recicláveis, enquanto que os do modelo B não apresentam as mesmas características. O fato de matéria-prima ser reciclável aumenta o seu ciclo de vida, contribuindo para a diminuição de extração e de descarte em aterros sanitários.

Dessa maneira, fica clara a influência da decisão de projeto no final do ciclo de vida de um produto. “Se um produto dura mais do que outro, de um lado reduz a geração de descartes e, de outro, evita indiretamente o consumo de novos recursos para a produção e distribuição de produtos destinados a substituir aqueles de vida mais breve” (MANZINI; VEZZOLI, 2008, p.108). Se o designer trabalha com a possibilidade de reciclagem, deve guiar seu projeto no sentido do design para desmontagem. Contudo, se a opção recai pelo reaproveitamento de matéria-prima renovável, como a madeira, a extensão do ciclo de vida pode se dar pelo apelo do produto em si.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das avaliações realizadas, é possível concluir que o modelo A, de polycarbonato, possui um potencial de sustentabilidade ambiental superior aos óculos B de madeira. É importante grifar a palavra potencial, pois este depende de condições específicas.

O potencial econômico baseado na reciclabilidade também aponta para o modelo de óculos A, pois sua matéria-prima possui maior valor de mercado aumentando a possibilidade da sua reciclagem. A larga escala de produção do tipo de óculos A provém da oferta de matéria-prima e agrega valor ao resíduo, viabilizando economicamente sua reciclagem. Ainda, para reduzir custos, é possível que os materiais sejam extraídos e separados sem a desmontagem do produto, por meio de processo destrutivo.

Entretanto, visto que os centros de triagem não costumam realizar a desmontagem de óculos solares, o provável destino de tais produtos, mesmo que descartados como lixo seco, será os aterros, como visto nos itens 2 e 4 deste trabalho. No cenário, em que ambos os óculos seriam descartados no aterro, e considerando as diferenças de tempo de degradabilidade do polímero sintético e da madeira, é possível que o modelo de óculos B apresente um impacto ambiental menor. Contudo, vale lembrar que geralmente a produção dos óculos de madeira está associada à utilização de um resíduo pré-consumo, quando a madeira tem origem no descarte de outras indústrias, como a moveleira, ou também, há empresas que trabalham com resíduo de madeira pós-consumo. Assim, em vez da ênfase na reciclabilidade do material no fim do ciclo de vida, este projeto dos óculos de madeira orienta-se no reaproveitamento de materiais descartados.

Isso expõe uma lacuna para continuação desta pesquisa. Percebe-se uma real necessidade de conscientização no âmbito do consumo sustentável, visto que uma política de descarte por empresas fornecedoras de óculos solares que viabilize um final de ciclo de vida adequado ao produto é praticamente inexistente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. Consolidando uma Política Industrial para o Setor Óptico, 2014. Disponível em:

<http://www.abdi.com.br/PublishingImages/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20ABDI%20Abi%C3%B3ptica%2020_01_2014.pdf> Acesso em: 27 jul. 2017.

AGUIAR, J. et al. A design tool to diagnose product recyclability during product design phase. *Journal of Cleaner Production*, n.141, p. 219-229, 2017.

ALLIONE, C. et al. From ecodesign products guidelines to materials guidelines for sustainable product. *Qualitative and Quantitative multicriteria environmental profile of a material*. *Energy*, v. 39, n. 1, p. 90-99, 2012.

ARAÚJO, D. D. de. Que Mercadoria são os Óculos? Uma etnografia sobre o consumo na Chilli Beans. 2012. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Sociais) – Departamento de Antropologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ASHBY, M. F. *Materials and Design: the art and science of material selection in product design*. Amsterdam; London: Butterworth-Heinemann. 2009.

ASHBY, M. F. *Materials and the environment: eco-informed material choice*. Amsterdam; London: Butterworth-Heinemann. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS ÓPTICAS – ABIÓPTICA. Disponível em:

<<https://www.abioptica.com.br/setor-optico-cresce-74-em-2017-segundo-a-abioptica-conheca-redes-de-franquias-como-a-nys-collection-com-investimento-a-partir-de-r68-mil-e-a-otica-diniz-que-possui-mais-de-mil-unidades-franquea/>>. Acesso em: 07 dez. 2018.

BOND, S. The global challenge of sustainable consumption. *Consumer Policy Review*, v.15, n.2, Mar/Apr 2005, p.38-44.

CES EDUPACK 2013. Versão 12.2.13 [S.l]: Granta Design Limited, 2013.

COSTA, C. L. M. et al. Óculos escuros: acessórios essenciais e ícones da moda. In: CONGRESSO INTERNO DO INMETRO, 2010, Rio de Janeiro.

EUROMONITOR – Eyewear in Brazil, 2017. Disponível em: <<http://www.euromonitor.com/eyewear-in-brazil/report>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

FULLERTON, D.; WU, W. Policies for Green Design. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 36, n. 2, p. 131-148, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069698910440>>.

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. Plastic recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of The Royal Society B. Biological Sciences*, v. 364, p. 2115-2126, 2009.

JACQUES, J. J. Estudo de iniciativas em desenvolvimento sustentável de produtos em empresas calçadistas a partir do conceito berço ao berço. 2011. 322p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre-RS, 2011.

KINDLEIN JÚNIOR, W. et al. Proposta de Implementação do Ecodesign na Incubadora Tecnológica de Design de Produto (Cientec/NdSM). 1º CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN E 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN – P&D 2002. Anais... Brasília, outubro de 2002, ISBN 85-89289-01-X.

Lei Nº 12.305, DE 02 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 27 jul. 2017.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002. 2ª reimpressão. 2008.

MARIS, J. et al. Mechanical recycling: compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*, v. 147, p. 245-266, 2018.

PLATCHECK, E. R. Design industrial: metodologia de EcoDesign para o desenvolvimento de produtos sustentáveis / Elizabeth Regina Platcheck. São Paulo: Atlas, 2012.

PORTAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

ROSSI, M.; GERMANI, M.; ZAMANGNI, A. Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, v. 129, p. 361-373, 2016.

SANT'ANNA, J. P. Óculos: sucedâneo do vidro nas lentes, o plástico agora avança a olhos vistos nas armações. *Revista Plástico Moderno*, São Paulo, n. 400, 2008.

SINGH, N. et al. Recycling of plastic solid waste: a state of art review and future applications / *Composites Part B*, v. 115, p. 409-422, 2017.

VIDALES, L. T. Design para reciclagem: importância a partir da análise de óculos de sol. 2011. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VIDALES, L. T. Contribuição ao ecodesign (DfE) a partir de propriedades de blendas PC/PMMA em sucessivos ciclos de reprocessamento: estudo de caso de óculos oriundos de apreensão da Receita Federal do Brasil. 135 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre-RS, 2013.

VIEIRA, N. I. M. Contribuição ao Estudo de Reciclagem de Policarbonato advindo de apreensão de Óculos pela Polícia Federal. 2014. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ZANIN, M. et al. Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: EdUFSCar, 2009. 143 p.