

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ANA LUIZA DINIZ DUARTE BELEM

APLICAÇÃO DO ECODESIGN PARA PROJETO DA ESPUMA DE BANCO  
AUTOMOTIVO

BELO HORIZONTE  
2017

ANA LUIZA DINIZ DUARTE BELEM

APLICAÇÃO DO ECODESIGN PARA PROJETO DA ESPUMA DE BANCO  
AUTOMOTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Marcello Dumont

BELO HORIZONTE

2017

ANA LUIZA DINIZ DUARTE BELEM

APLICAÇÃO DO ECODESIGN PARA PROJETO DA ESPUMA DE BANCO  
AUTOMOTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Doutor Marcello Rosa Dumont

---

Prof.<sup>a</sup>. Doutora Roberta Viana Ferreira

---

Prof. Doutor Sidney Nicodemos

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse e também por minha vida, família e amigos. Também agradeço aos meus pais, Margarida e Luiz pelo apoio e incentivo nas horas mais difíceis de desânimo e cansaço. À minha irmã Natalia, pela inspiração e por me ajudar a sempre seguir em frente independente dos obstáculos. Obrigada a toda minha família, que acreditou e ainda acredita em mim.

Agradeço também aos meus amigos de infância e a todos meus colegas que conheci no CEFET e que me ajudaram durante toda essa trajetória, sem eles não conseguiria completar este curso.

Obrigada a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter da educação em todo o processo de formação profissional. Agradeço pelo tempo que se dedicaram a mim e ao meu aprendizado.

Por ultimo, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Marcello Rosa Dumont pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

## RESUMO

A sustentabilidade interage com o desenvolvimento econômico, buscando suprir as necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras. A necessidade de conciliar um bom desempenho com a sustentabilidade resultou em um aumento no investimento de novos materiais como fontes de matéria-prima alternativas. A indústria automobilística, por exemplo, sendo um ramo que influencia aspectos econômicos, sociais e ambientais, teve diversas mudanças no campo dos materiais ao longo dos anos. Dessa forma, esse trabalho propõe-se a desenvolver uma metodologia para a seleção de materiais a serem aplicados em espumas para bancos automotivos, ou seja, a proposta é solucionar um problema relacionado ao material das espumas de bancos automotivos, a partir dos critérios que serão estabelecidos. Atualmente, o poliuretano é o principal material usado nesta aplicação, porém impactos ambientais que são causados com o uso deste polímero sugerem a busca por um material alternativo. Foi adotado o método de seleção de materiais desenvolvido por Ashby, que permitiu obter os melhores materiais candidatos para o projeto. Quatro atributos ecológicos foram nomeados para avaliar os materiais candidatos para tal aplicação, uma vez que o trabalho terá como foco o Ecodesign, que consiste em uma abordagem de gestão ambiental voltada para minimização dos impactos ambientais sem comprometer o desempenho do produto. Foram apontadas a espuma de tereftalato de polietileno e a espuma de polipropileno com os maiores valores de índice de mérito.

**Palavras chave:** Sustentabilidade; indústria automobilística; Ecodesign; seleção de materiais.

## **ABSTRACT**

Sustainability interacts with economic development, seeking to meet current needs without compromising future generations. The need to reconcile good performance with sustainability has resulted in an increase in the investment of new materials as alternative sources of raw materials. The automobile industry, for example, being a branch that influences economic, social and environmental aspects, has had several changes in the field of materials over the years. Thus, this work proposes to develop a methodology for the selection of materials to be applied in foams for automotive seats. The main point is to solve a problem related to the foam of automotive seats, based on the criteria that were determined. Currently, polyurethane is the main material used in this application, but environmental impacts that are caused by the use of this polymer suggest the search for an alternative material. The material selection method developed by Ashby was used to obtain the best candidate materials for the project. Four ecological attributes were nominated to evaluate candidate materials for this application, since the work will focus on Ecodesign, which consists of an environmental management approach aimed at minimizing environmental impacts without compromising product performance. Polyethylene terephthalate foam and polypropylene foam with the highest values of merit were pointed

**Key words:** Sustainability; automobile industry; Ecodesign; materials selection.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares da sustentabilidade. ....	14
Figura 2 - Classificação de alguns países e suas respectivas emissões de CO <sub>2</sub> . ....	15
Figura 3 - Primeiro autoveículo (capaz de andar com a sua própria energia).....	19
Figura 4 - Aumento do uso de polímeros na indústria automotiva. ....	23
Figura 5 - Fibras naturais usadas em substituição às fibras de vidro.....	26
Figura 6 - Capota do buggy que foi fabricada a partir de compósito reforçado com fibras de juta. ....	27
Figura 7 - Estratégia para seleção de materiais. Os principais passos – tradução, rastreamento, ranking e documentação.....	34
Figura 8: Fluxograma das principais etapas referente ao método adotado neste trabalho. ....	38
Figura 9 - Diagrama do percentual de reciclabilidade em função da densidade para todo o universo dos materiais. ....	40
Figura 10 - Diagrama do percentual de reciclabilidade em função da densidade para as famílias do projeto.....	41
Figura 11 – Diagrama do percentual de reciclabilidade (%) pela densidade com foco no IM 1..	42
Figura 12 - Diagrama das pegadas de CO <sub>2</sub> na produção primária em função da densidade. ....	43
Figura 13 - Diagrama das pegadas de CO <sub>2</sub> na produção primária em função da densidade focando no índice de mérito 2 (IM 2).....	44
Figura 14 - Diagrama do uso de água na produção em função da densidade. ....	45
Figura 15 - Diagrama do uso de água na produção em função da densidade focando no índice de mérito 3 (IM 3). ....	46
Figura 16 - Gráfico da emissão de CO <sub>2</sub> na combustão em função da densidade para todas as possíveis famílias candidatas do projeto. ....	47
Figura 17 - Gráfico do uso de água na produção em função da densidade evidenciando os principais candidatos a partir do índice de mérito 4. ....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Participação na produção mundial de automóveis por países, nos anos de 1955 - 2000.....	21
Tabela 2 - Materiais utilizados nos automóveis nos anos 50 e nos anos 90.....	24
Tabela 3 - Propriedades e vantagens do poliuretano.....	36
Tabela 4 – Materiais com maiores valores para o índice de mérito (IM 1).....	42
Tabela 5 – Materiais com maiores valores para o índice de mérito 2 (IM2).....	44
Tabela 6 - Materiais com maiores valores para o índice de mérito 3 (IM3).....	46
Tabela 7 - Lista dos melhores candidatos para o projeto, considerando a emissão de CO2 na combustão e o índice de mérito 4 (IM 4).....	48
Tabela 8 - Somatório dos índices de mérito encontrados para os materiais candidatos do projeto.....	49



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>12</b>
2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1	<b>SUSTENTABILIDADE E ECODESIGN</b> .....	<b>13</b>
3.1.1	CONSTRUÇÃO DOS CONCEITOS: SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	13
3.1.2	HISTÓRIA E DEFINIÇÃO DE ECODESIGN.....	16
3.2	<b>INDÚSTRIA AUTOMOTIVA</b> .....	<b>19</b>
3.2.1	EVOLUÇÃO DOS AUTOMÓVEIS .....	19
3.2.2	MATERIAIS USADOS NA CONCEPÇÃO DE UM AUTOMÓVEL .....	22
3.3	<b>ECODESIGN NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA</b> .....	<b>25</b>
3.4	<b>MATERIAIS E MEIO AMBIENTE</b> .....	<b>30</b>
3.4.1	CICLO DE VIDA DO MATERIAL.....	30
3.4.2	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DOS MATERIAIS.....	31
3.5	<b>SELEÇÃO DE MATERIAIS</b> .....	<b>32</b>
3.6	<b>POLIURETANO</b> .....	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
5.1	<b>PERCENTUAL DE RECICLABILIDADE</b> .....	<b>40</b>
5.2	<b>PEGADAS DE CO<sub>2</sub> NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA</b> .....	<b>43</b>
5.3	<b>USO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA</b> .....	<b>45</b>
5.4	<b>EMIÇÃO DE CO<sub>2</sub> NA COMBUSTÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento da industrialização, foi possível intensificar o desenvolvimento econômico, criar novos bens de consumo, e também desenvolver a sociedade tecnologicamente. Porém, esse desenvolvimento resultou no aumento da velocidade de utilização dos recursos naturais, uma vez que se baseou principalmente no uso intensivo de matérias-primas e energia (SOUZA, 2010).

Atualmente, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são dois temas que, aos poucos, ganharam espaço em nosso dia-a-dia. Ao longo do século, a intensificação da exploração de recursos naturais pelos seres humanos, gerou graves consequências que atingiram a natureza e a sociedade. Hoje, estes efeitos nos fazem refletir para que algo seja feito para minimizar este problema mundial. Desta forma, a preocupação com o universo em que vivemos está mais presente na sociedade. A degradação decorrida da ação do homem está tão intensa que pode comprometer gerações futuras. Apesar deste cenário, que já é compreendido por grande maioria da população, as práticas sustentáveis ainda não são adotadas por todos. Diante deste contexto, ao longo das últimas décadas tem havido uma série de esforços para ajudar e inspirar as pessoas e também as empresas a alcançar um desenvolvimento sustentável. Aos poucos isso pode ser adquirido e pequenas atitudes podem fazer grandes diferenças (SOUZA, 2010).

A indústria automobilística, por exemplo, atinge uma importância mundial, desde a disponibilização de mão de obra até a sua capacidade de exportação. Apesar disso, traz consequências negativas ao meio ambiente, não só por produzir automóveis que já são bens considerados poluidores, mas também porque o setor automotivo utiliza um número elevado de materiais, tanto em diversidade quanto em quantidade. De acordo com os estudos de Barcellos, Oliveira e Carvalho (2009), a indústria automobilística, mesmo não sendo a mais poluidora, está classificada entre os dez setores mais potencialmente poluidores. As externalidades negativas provocadas por essa indústria não param no fim do processo produtivo, uma vez que os automóveis consistem em um dos grandes geradores de poluição, como por exemplo, poluição do ar devido à queima de combustíveis que pode ser visível em grandes centros urbanos.

De acordo com os dados fornecidos por Medina (2001), o automóvel é um produto produzido a partir de 20 mil a 25 mil peças de diversos materiais. A maior parte do peso do carro é representada pelos metais, mas a indústria automobilística ainda utiliza mais de 40 tipos de polímeros, além de outros materiais como tintas, vidros, componentes eletrônicos, etc. Medina também menciona o fato de que quase todos os componentes automotivos são tecnicamente recicláveis, o que não significa que eles estejam realmente sendo reciclados. Isso pode ocorrer pelo fato de que no processo de reciclagem, o material pode perder suas propriedades e se tornar impossível de ser utilizado, além do fato de que a reciclagem pode ser um processo caro e empresas não se preocupam em realiza-lo.

Sabe-se que, no decorrer dos anos, o automóvel sofreu uma série de mudanças e evoluções, os principais materiais que fazem parte da concepção de carro sofreram diversas transformações, desde o uso de madeira para painéis até o uso de compósitos poliméricos para essa mesma aplicação. As inovações no universo dos materiais no meio automotivo trouxe também uma inovação no processo produtivo, além disso, proporcionou mudanças para os próprios consumidores, como a redução do custo do combustível. Alternativas que sejam menos agressivas para o meio ambiente estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Processos novos para reciclagem, materiais com fontes renováveis de matéria prima, processos de produção que emitem uma menor quantidade de gás carbônico consistem em algumas formas de tentar buscar um menor impacto ao meio ambiente (LUEDEMANN, 2003).

De acordo com Luchezi (2010), pequenas alterações no ramo automobilístico podem resultar em uma grande redução dos impactos ambientais . Espumas de bancos automotivos são feitas basicamente de poliuretano, que, por se tratar de um polímero termorrígido, não é possível utilizá-los novamente na mesma aplicação. Dessa forma, é interessante buscar um material alternativo para esta aplicação. A seleção de materiais pode ser considerada uma poderosa ferramenta aplicada em diferentes projetos. Através de uma metodologia para a escolha do material é possível buscar melhores propriedades para uma determinada aplicação e também, um melhor desempenho.

Esse trabalho propõe uma metodologia para desenvolver um processo de seleção do material que será utilizado em espumas de bancos automotivos, tendo como foco o Ecodesign, que, de acordo com Botelho (2003), consiste em uma forma

de criar e desenvolver projetos que minimizem os impactos ambientais. Os atributos ecológicos que atuaram como critério de escolha dos materiais foram: percentual de reciclabilidade, pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária, ou seja, quantidade de CO<sub>2</sub> produzida e liberada na produção de 1 Kg do material; uso de água na produção primária e emissão de CO<sub>2</sub> na combustão. Como metodologia, foi adotado o método de seleção de materiais desenvolvido por Ashby. O software CES EduPack foi utilizada na elaboração de gráficos e tabelas cruciais para o projeto.

Depois de estabelecer os principais critérios de seleção, os índices de mérito foram determinados e analisados. A partir daí foram elaboradas tabelas para os materiais de acordo com cada atributo ecológico em estudo. De acordo com as tabelas feitas, a espuma de tereftalato de polietileno e a espuma de polipropileno apresentaram os maiores valores de índice de mérito, o que significa que seriam as alternativas mais atraentes para substituir a espuma de poliuretano nos bancos automotivos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal é aplicar a metodologia de seleção de materiais para o projeto de espuma de bancos automotivos, e também selecionar um material alternativo em relação ao tradicionalmente utilizado, o poliuretano.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Encontrar os índices de mérito para cada atributo ecológico previamente selecionado.
- Analisar diagramas e gráficos visando os critérios estabelecidos.
- Selecionar os materiais mais indicados para o projeto da espuma para banco automotivo.
- Análise de quatro eco-atributos pré-selecionados: percentual de reciclabilidade, pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária, uso de água na produção primária e emissão de CO<sub>2</sub> na combustão.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 SUSTENTABILIDADE E ECODESIGN**

##### **3.1.1 CONSTRUÇÃO DOS CONCEITOS: SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Os termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável estão cada vez mais presentes em discussões do nosso dia-a-dia. Porém, a preocupação com esses termos não existia há poucos anos atrás. Por volta de 1970, o surgimento de novos estudos deu origem à Ciência da Economia Ambiental e à Ciência da Economia dos Recursos. Porém, estas não foram suficientes para resolver os diversos problemas ambientais, supostamente pelo fato de que a preferência do consumidor em relação à ecologia seria duvidosa ou então pelo fato de que muitos bens e serviços ambientais não possuem o valor que as análises econômicas de mercado se baseiam (MIKHAILOVA, 2004).

Em 1972 ocorreu a Conferência de Estocolmo, que foi a primeira a ser realizada pela ONU tratando de assuntos sobre o meio ambiente e sobre as atividades dos seres humanos que afetam este meio. Nesta época, o conceito de desenvolvimento sustentável ainda não era abordado, mas já era notada a real necessidade de reaprender a conviver com o planeta. Somente em 1992, na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro, o conceito de desenvolvimento sustentável foi consolidado. Dessa forma, em 2002 foi formulado, na Cúpula Mundial que desenvolvimento sustentável envolve a “procura da melhoria da qualidade de vida de todos os habitantes do mundo sem aumentar o uso de recursos naturais além da capacidade da Terra” (MIKHAILOVA, 2004).

Segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1983-1987) a Sustentabilidade está diretamente ligada ao desenvolvimento sustentável, e pode ser definida como “aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades”. O termo Sustentabilidade contribui para que sejamos capazes de compreender que, para alcançarmos um desenvolvimento sustentável devemos demonstrar certa transparência e preocupação com o meio ambiente e tendo

consciência de que as instituições constituem ecossistemas complexos, responsáveis por integrar sociedades e meio ambiente (MENOCIN, 2011).

Nesse contexto, surgiram os três pilares da sustentabilidade, a dimensão ambiental, a dimensão social e a dimensão econômica-financeira, que estão ilustradas na Figura 1. Para que uma empresa possa praticar um desenvolvimento sustentável, esta deve promover uma interação entre esses três pilares de forma harmoniosa (MIKHAILOVA, 2004).

**Figura 1 - Pilares da sustentabilidade.**



**Fonte:** (STROPA, 2016).

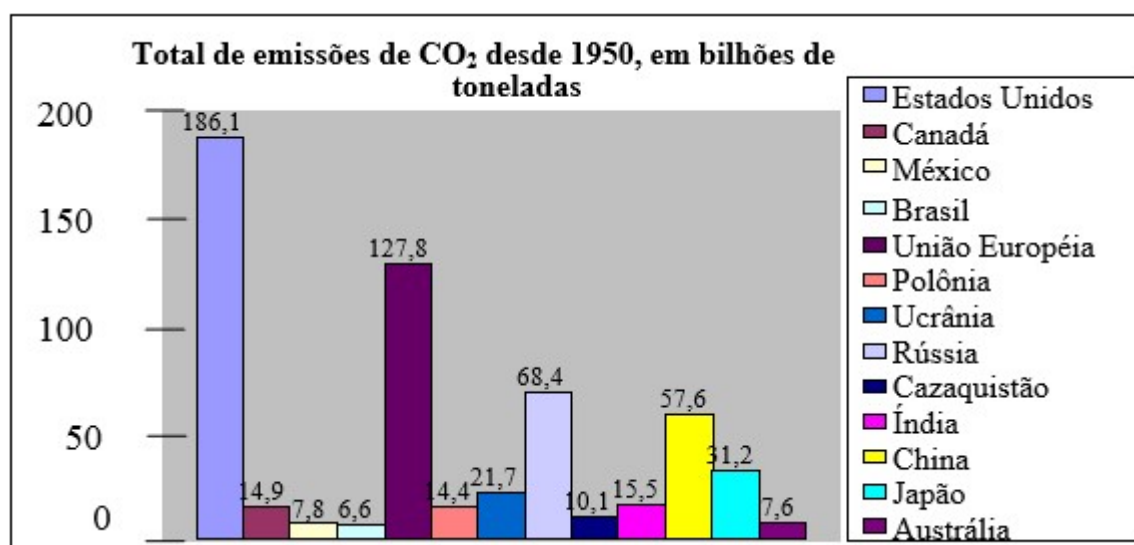
A dimensão social, de acordo com Mikhailova (2004) refere-se ao desenvolvimento de atividades socialmente sustentáveis, ou seja, que possam proporcionar um ambiente que estimule relações de trabalho saudáveis e legítimas, além de fornecer a possibilidade de um crescimento pessoal ou coletivo. No âmbito econômico-financeiro, uma empresa economicamente sustentável deve buscar o lucro sem causar um desequilíbrio nos ecossistemas ao seu redor, mantendo também uma relação de competitividade justa com as demais empresas concorrentes do mercado. Por último, o âmbito ambiental contempla as ações que podem causar qualquer impacto no meio ambiente, independente de ser a curto ou longo prazo.

Atualmente, diversos transtornos relacionados ao meio ambiente podem ser encontrados. Na dissertação publicada por Botelho (2003), é exposto o aumento da

temperatura e o efeito estufa, os buracos na camada de ozônio, a deterioração de recursos hídricos, a destruição das florestas e da biodiversidade e a poluição em geral são um dos principais problemas enfrentados pelo meio ambiente. A temperatura da Terra, por exemplo, já sofreu diversas mudanças. Porém, nos últimos anos, esse aquecimento foi se intensificando podendo, futuramente, comprometer a vida no planeta. A emissão de gás carbônico e a variação na temperatura estão fortemente relacionadas.

As atividades exercidas pela humanidade geram cerca de 6 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, por ano. Isso contribui para o aumento dos desequilíbrios climáticos na Terra, causando derretimento de geleiras, aumentando o nível dos mares e acarretando o deslocamento de pessoas que vivem em áreas de risco. Outro problema é em relação aos resíduos sólidos. Neste caso, o meio industrial é o que caracteriza uma situação mais crítica. As empresas automobilísticas, por exemplo, possuem uma série de fornecedores, que proporcionam diferentes tipos de produtos, como, produtos químicos, equipamentos eletrônicos, embalagens plásticas, e estes, podem não apresentar um descarte adequado. Isso contribuiu para impulsionar o desenvolvimento de alternativas para resolver as questões ambientais (BOTELHO, 2003). Na Figura 2 é exposto o total de emissões de CO<sub>2</sub> de vários países, desde 1950.

**Figura 2 - Classificação de alguns países e suas respectivas emissões de CO<sub>2</sub>.**



Fonte: (BARBOSA, 2001).



A poluição, o uso excessivo de recursos naturais, o efeito estufa, o aquecimento global, dentre outros problemas, constituem uma verdadeira briga que a sociedade deverá enfrentar. A união das ações do governo, do mercado e da sociedade é vista como principal razão dessa constante inquietação em relação às questões ambientais. Diversas empresas enfrentam o grande desafio de se adaptar às novas condições envolvidas com o meio ambiente (MENOCIN, 2011).

### **3.1.2 HISTÓRIA E DEFINIÇÃO DE ECODESIGN**

A importância em buscar novas formas para promover a sustentabilidade tem crescido nos últimos anos. A necessidade de conciliar uma boa performance com a sustentabilidade resultou em um aumento no investimento de novos materiais como fontes de matéria-prima alternativas. Dessa forma, é prudente em comentar sobre o conceito de Ecodesign que vem ganhando espaço em nosso dia-a-dia (MENOCIN, 2011).

O termo Ecodesign pode ser definido com diferentes abordagens. São utilizadas denominações como “Green Design; Green Engineering/Technology; Clean(er) Product(ion); Eco Eficiência; Design for Environment; Eco-Design; Environmentally Councious Design and Manufacturing ou Design Ambiental”. Uma de suas definições, de acordo com Oliveira (1998) é que Ecodesign está relacionado ao projeto de produtos que causem menos impacto no meio ambiente, com um foco nas utilizações desses produtos e nos materiais que estão envolvidos em seu projeto. Além disso, o processo de fabricação também passa a ser um foco no design desses produtos (BOTELHO, 2003).

Outra maneira se de definir Ecodesign seria como uma “abordagem pró-ativa de gestão ambiental voltada ao processo de desenvolvimento de produtos e cujo objetivo maior é a minimização dos impactos ambientais durante todo o ciclo de vida de um produto sem comprometer, no entanto, outros critérios essenciais como desempenho, funcionalidade, estética, qualidade e custo”. Apesar das vantagens apresentadas com a implementação de políticas voltadas para o Ecodesign, muitas empresas ainda não adotam essa prática e, dessa forma, não conseguem alcançar os benefícios propostos (SANTINI, 2010).

Segundo Botelho (2003), o termo Ecodesign já aparece antes da Revolução Industrial, em que móveis e ferramentas pessoais eram feitas por carpinteiros, ferreiros e artesãos. Devido ao desenvolvimento dessas ferramentas e máquinas, principalmente na Inglaterra, os camponeses começaram a migrar para as cidades e por volta de 1850 cerca de metade da população da Inglaterra vivia nas cidades para exercer o trabalho nas fábricas. Durante o período chamado de “*Arts and Crafts*” (1850 – 1914), o surgimento das fábricas começou a interferir na degradação ambiental, o que resultou na realização de uma revisão no processo de produção, de forma a promover uma redução dos impactos ambientais. Entre os anos de 1920 e 1924 surgiram novas formas de processamento e novos materiais em decorrência da crise provocada pela Guerra Mundial. Assim, iniciou-se o uso de tubos de aço em móveis, o desenvolvimento de novas tecnologias que reduzissem o consumo de energia, o surgimento de produtos mais resistentes e baratos. Tudo isso contribuiu para o início e a consolidação do Ecodesign.

O norte americano Richard Buckminster Fuller é mencionado na dissertação de Botelho (2003), uma vez que ele é considerado um dos “grandes defensores das propostas de produção limpa”. Fuller criou a empresa chamada - 4D. “Dymaxion” (*dynamic + maximum efficiency*) que adotava uma produção fazendo o uso do mínimo de energia e de material possível, e ainda fornecendo o máximo de benefícios aos usuários. Fuller propôs em 1933 um “eco-carro”, que, apesar de ter sido uma ideia válida, não se tornou real.

No contexto na Segunda Guerra Mundial, o desperdício de chapas metálicas já era evidenciado, de acordo com Botelho (2003). Esse fato abriu as portas para engenheiros projetistas que entendessem melhor o processo de fabricação e contribuíssem para a redução do desperdício. Após a Segunda Guerra, veio a corrida espacial que contribuiu para o surgimento de novos processos e novos materiais que tiveram uma rápida evolução. Já nos anos 50, diversas empresas de automóveis como a Fiat investiram no desenvolvimento de carros pequenos e econômicos. Porém, algumas empresas americanas insistiam em veículos que não eram considerados econômicos e isso ia contra as ideias do Ecodesign.

O aparecimento de movimentos “hippies” contribuiu para a disseminação das ideias envolvendo sustentabilidade. Dessa forma, vários artistas Europeus começaram a usar materiais reciclados. Já em 70, ocorreu a crise do petróleo, que reduziu o uso de combustíveis fósseis, bem como suas diversas aplicações. Isso fez

com que os produtos que tivessem um menor consumo de energia ganhassem espaço (BOTELHO, 2003).

De acordo com Oliveira (1998), os anos 70 são marcados pela tensão entre os movimentos ecológicos e os processos de industrialização. De um lado, a postura ética do Design Verde opondo-se ao consumismo, à obsolescência planejada e à industrialização poluidora, do outro lado, a preocupação das indústrias com a legislação ambiental antipoluição, que implicava em grandes despesas. O autor do livro “Projete para o real mundo”, Vitor Papanek, contribuiu para a filosofia do Ecodesign. Com isso, nos anos 90, a sociedade estava com a mente mais aberta e também estava mais informada sobre assuntos relacionados ao desenvolvimento sustentável, o que fez com que as pessoas exigissem uma legislação mais rígida, surgindo novos padrões de administração ambiental. O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu em meados de 1987 e a partir daí novas definições de Ecodesign também apareceram.

Conforme Botelho (2003) mencionou em sua dissertação, a redução dos níveis de poluição e impactos ambientais marcaram os anos 90. Nessa época, surgiram os primeiros softwares que se baseavam nas técnicas para avaliar os impactos ambientais.

O italiano Ezio Manzini é considerado um dos maiores especialistas em design sustentável. Ele é professor de design industrial na Universidade Politécnica de Milão e autor de diversos livros como “*Design for Environmental Sustainability*” e também “*The Material of Invention*”. Manzini define Ecodesign como uma atividade ecologicamente necessária e tecnicamente possível, que cria novas propostas aceitas tanto socialmente como culturalmente (DUTRA, 1998).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, a escolha de materiais de baixo impacto ambiental, a minimização do consumo de energia para processos de fabricação, a criação de produtos mais duráveis e o projeto de produtos que possam ser reutilizados e reaproveitados consistem em alguns objetivos almejados pelo Ecodesign. Ou seja, trata-se de uma ferramenta de competitividade utilizada por várias empresas em ramos como arquitetura, engenharia e design, tanto no mercado interno quanto externo, atendendo novos modelos de produção e consumo, contribuindo para o desenvolvimento sustentável através da substituição de produtos e processos por outros menos nocivos ao meio ambiente.

## 3.2 INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

### 3.2.1 EVOLUÇÃO DOS AUTOMÓVEIS

Na concepção de Tatiana Luchezi (2010), o automóvel constitui um bem muito valioso para os seres humanos desde o século XIX. A partir dele, foi possível melhorar às formas de deslocamento, bem como, intensificou o processo de povoamento de regiões urbanas. O francês Nicolas-Joseph Cugnot foi quem desenvolveu o primeiro automóvel, em 1769. Ele possuía duas rodas traseiras e uma dianteira e foi o primeiro veículo capaz de mover com sua própria energia. Na Figura 3 é exibido o primeiro autoveículo, ou seja, o primeiro meio de transporte capaz de andar com a sua própria energia.

**Figura 3 - Primeiro autoveículo (capaz de andar com a sua própria energia).**



Fonte: (SOUZA, 2010).

De acordo com os estudos realizados por Marques et al (2005), por volta de 1860, várias acontecimentos isolados contribuíram para o surgimento de algo que se assemelha muito com o automóvel que existe atualmente. Em 1864, por exemplo, Siegfried Markus construiu um pequeno carro com motor movido a vapor. A partir daí, surgiram novas ideias que fossem capazes de melhorar os carros construídos. Gottlieb Daimler e Karl Benz foram os primeiros a utilizar a gasolina como fonte para alimentar o motor. Em 1885, Benz fez uma adaptação de um motor de 4 tempos e o acoplou a um triciclo. Em 1887 ele colocou a venda o primeiro veículo de 3 rodas.

Dessa forma, o alemão Karl Benz foi considerado por muitos escritores o “Pai do Automóvel”. Em 1902, no estado de Illinois surgiu a empresa Dureya Motor Wagon Company, que foi a primeira fábrica de carros nos Estados Unidos. Nessa mesma época, Henry Ford desenvolveu um quadriciclo motorizado.

A indústria automobilística passou por uma série de evoluções, desde uma produção artesanal até uma produção em série, proposta por Henry Ford. Dessa forma, a montagem do automóvel passou a constituir uma operação que necessitava de um planejamento mais rigoroso, uma vez que o objetivo era que a linha de montagem não tivesse nenhuma interrupção (MARQUES, 2005).

No artigo de Marta Luedemann (2003), ela menciona que em 1907 houve uma diversificação dos produtos da indústria automotiva em decorrência da monotonia que esse ramo apresentava nessa época. Assim, cada região optou por uma abordagem diferente. Na Europa, cresceu o investimento em veículos militares, comerciais e em motores de avião. Já nos Estados Unidos, com a forte influência de Henry Ford, houve um replanejamento da produção, com objetivo de reduzir custos e aumentar a competitividade com os produtos europeus. Nessa época, a França era considerada o país que mais produzia e exportava veículos. Em 1908, Alemanha e Itália também entraram nessa competição, com carros de alta qualidade. Porém, com a criação do modelo T, em torno de 1909, Henry Ford conseguiu promover a marca e dobrar as vendas. A metodologia fordista era conhecida pela indústria europeia, porém, devido ao mercado restrito, os conhecimentos não foram aplicados.

Em 1920, existiam mais de oitenta construtores de veículos nos Estados Unidos, noventa na Alemanha, mais de noventa na Inglaterra e por volta de 40 produtores na Itália. 1950 foi o auge da indústria automobilística americana, 70% dos veículos fabricados no mundo, foram produzidos nos Estados Unidos. Em 1955, nos EUA, a produção de veículos nas empresas Ford, GM e Chrysler totalizou mais de nove milhões de veículos. Essas três montadoras, tiveram sua participação intensificada até a II Guerra Mundial. Na Tabela 1, é mostrada a participação de vários países na produção automotiva durante o período de 1955 – 2000. É possível observar que, em 2000 a produção mundial de automóveis apresentou um volume superior a quatro vezes a produção mundial em 1955. Além disso, um número maior de países passou a produzir automóveis, uma vez que em 2000, países como França e

Alemanha, passaram a ter uma participação relevante na produção mundial de automóveis (LUEDEMANN, 2003).

**Tabela 1: Participação na produção mundial de automóveis por países, nos anos de 1955 - 2000.**

ANO	1955	1965	1975	1985	1995	2000
EUA	67,54	45,82	27,15	25,95	23,98	21,93
Japão		7,73	20,97	27,32	20,4	17,37
Alemanha		12,26	9,62	9,9	9,34	9,47
França			8,64	6,72	6,95	5,74
Reino Unido	9,08	8,97	4,98	2,93	3,53	3,11
Itália		4,85	4,41	3,5	3,34	2,98
<b>Total em milhares de unidades</b>	<b>13.628</b>	<b>24.271</b>	<b>33.106</b>	<b>44.909</b>	<b>49.983</b>	<b>58.374</b>

Fonte: (LUEDEMANN, 2003).

Além disso, de acordo com Luedemann (2003), a partir de 1965 houve uma queda da participação das grandes empresas norte americanas, e nessa época, houve um fortalecimento da competitividade japonesa no âmbito de custos e qualidade dos automóveis. Com um novo período de evolução, a indústria automobilística brasileira vai consolidando seu lugar no mercado, criando ferramentas de produção como o sistema *Toyota*, o *Kanban* e o sistema de produção *Just in Time*.

A Grassi, uma empresa produtora de carruagens, foi responsável pela produção dos primeiros veículos montados no Brasil. No governo de Getúlio Vargas, os diversos investimentos em bens de capital e também na infraestrutura, impulsionaram o desenvolvimento da indústria automobilística (LUEDEMANN, 2003).

Segundo Botelho (2003), na década de 70 já era notada uma crise ambiental e com isso, ele acredita que para o novo milênio, um carro ecológico irá caracterizar a demanda do mercado. Diante das novas tecnologias, tona-se ainda mais possível a elaboração de um veículo “verde”. Isso seria uma das várias possibilidades que esperamos pra o futuro.

### 3.2.2 MATERIAIS USADOS NA CONCEPÇÃO DE UM AUTOMÓVEL

Na concepção de Medina et al (1998), a chamada revolução dos materiais é, na verdade uma consequência da interação do desenvolvimento científico com a tecnologia dos materiais. O surgimento de novas pesquisas juntamente com o desenvolvimento tem causado um impacto positivo na produção industrial. Dessa forma, novos produtos e processos surgem, demandando um aprimoramento no campo dos materiais e, contribuindo para que outras pesquisas de desenvolvam.

No decorrer dos anos, a indústria automobilística sofreu diversas mudanças e com isso, é inevitável que essas transformações reflitam no processo de escolha dos materiais empregados nos automóveis. Alguns acontecimentos podem ser citados uma vez que tiveram um importante papel nessa evolução do mercado automotivo. A guerra no oriente médio, a primeira crise do petróleo em 1973, a globalização e o aumento da competitividade no mercado em meados dos anos 2000 impactaram o universo dos materiais e resultaram em mudanças neste meio. O aço, por exemplo, que dominava a indústria automobilística, a partir de 1960 teve sua participação reduzida devido ao surgimento de materiais alternativos como ligas leves (de baixa densidade) e polímeros (GORNÍ, 2012).

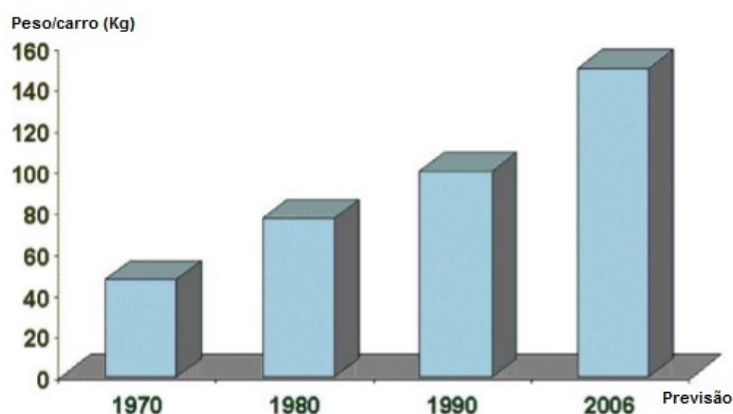
O alumínio começou a ser empregado em veículos a partir de 1915 e na década de 30 substituiu o ferro fundido no pistão do motor. Visando redução de peso, a Alemanha introduziu o magnésio fundido em pequenos itens como o eixo de manivela. Essa mudança proporcionou uma redução de 7 % no peso total do carro. A poliamida (nylon<sup>®</sup>) foi o primeiro material sintético polimérico a ser utilizado como um material automotivo em meados de 1940. Isso contribuiu para que, na década de 50 iniciasse a fabricação de veículos que possuíam partes da carroceria feita de material polimérico. A partir daí, começaram a notar mais benefícios que os eles poderiam oferecer. Consistiam em materiais menos densos, resistentes e com facilidade para moldagem em formas complexas. Apesar de alguns pontos negativos como dificuldade no processo de pintura desses materiais e um processo de fabricação lento, em 1950, os polímeros passaram a constituir a maior parte dos itens internos decorativos dos carros (ARAÚJO, 2005).

De acordo com Marques et al (2005), os avanços alcançados nos diversos componentes automotivos contribuíram para a implementação de materiais com um melhor desempenho em relação à sua aplicação. A evolução na indústria de

pneumáticos, fez com que esses componentes se tornassem mais resistentes e duradouros. Foi possível assim, obter uma redução no peso e um aumento no desempenho através da alteração dos cabos metálicos por cabos de fibra sintética. Mesmo com avanços, a reciclagem dos pneus ainda é considerada uma técnica complicada devido à sua complexa composição de produtos químicos. Os bancos, bem como o sistema de suspensão atuam de forma complementar na segurança e na absorção de impactos. As espumas usadas nos bancos consistem basicamente de poliuretano e as pesquisas envolvendo esse polímero, proporcionaram melhorias relacionadas à densidade e conformação. Em relação aos para-choques, pode-se dizer que é um componente que sofreu muitas mudanças nos últimos 60 anos. Por volta da década de 50, o aço era o principal componente do para-choque e em caso de colisões, não havia qualquer absorção de impacto, sendo ele transmitido aos passageiros. Com a intensificação de pesquisas, foi possível empregar materiais poliméricos nos para-choques, que fossem capazes de absorver a maior parte da energia em situações de colisão, reduzindo o impacto dos ocupantes do veículo.

O peso de um veículo de passeio consiste em aproximadamente 150 kg de componentes poliméricos e compósitos de matriz polimérica e cerca de 1160 kg de ferro e aço. Na Figura 4 é possível observar o aumento do uso de polímeros na indústria automobilística, evidenciando que essa classe de materiais passou a compor um maior percentual no peso dos veículos (SZETEIOVÁ, 2010).

**Figura 4 - Aumento do uso de polímeros na indústria automotiva.**



Fonte: (SZETEIOVÁ, 2010)

Quando a redução de peso dos automóveis passou a ser um objetivo da indústria automobilística, os materiais poliméricos, que já tinham ganhado espaço nesse ramo, começaram a ser mais priorizados, juntamente com o alumínio e o



zinco com revestimento de estanho (SOUZA, 2010). Na Tabela 2, são mostrados os materiais que passaram a ter uma maior participação nessa indústria e também alguns materiais que tiveram sua participação reduzida. Nota-se que nos anos 50, o aço possuía 67,9 % de participação, caindo para 55,3 % nos anos 90. Ao mesmo tempo em que houve essa redução, houve também um aumento considerável de materiais que, nos anos 50, não tinham nenhuma utilização nos automóveis, tais como o alumínio e os polímeros.

**Tabela 2 - Materiais utilizados nos automóveis nos anos 50 e nos anos 90.**

Material	Anos 50		Anos 90		Variação	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%
<b>Aço</b>	1290,0	67,9	793,0	55,3	-497,0	-12,6
<b>Outros</b>	83,0	4,4	38,0	2,6	-45,0	-1,7
<b>Zinco</b>	25,0	1,3	10,0	0,7	-15,0	-0,6
<b>Borracha</b>	85,0	4,5	61,0	4,3	-24,0	-0,2
<b>Vidro</b>	54,0	2,8	38,0	2,6	-16,0	-0,2
<b>Chumbo</b>	23,0	1,2	15,0	1,0	-8,0	-0,2
<b>Cobre</b>	25,0	1,3	22,0	1,5	-3,0	0,2
<b>Fluidos</b>	96,0	5,0	81,0	5,6	-15,0	0,6
<b>Ferro</b>	220,0	11,6	207,0	14,4	-13,0	2,9
<b>Alumínio</b>	0,0	0,0	68,0	4,7	68,0	4,7
<b>Plásticos</b>	0,0	0,0	101,0	7,0	101,0	7,0
<b>Peso</b>	1901,0	100,0	1434,0	100,0	-467,0	-

Fonte: (LUEDEMANN, 2003).

A redução mais relevante do peso do automóvel, a partir de 1980, contribuiu para o surgimento de carros não somente mais leves, como também mais econômicos, principalmente quanto ao consumo de combustíveis. Porém, teve um lado negativo, pois, houve uma redução da reciclabilidade dos automóveis, uma vez que os metais, que constituem os materiais mais recicláveis, tiveram sua participação reduzida. Por mais que exista uma forma de reciclar outros materiais como os polímeros, tal reciclagem só é economicamente vantajosa se for feita de forma regular e em grande volume, o que iria proporcionar um suprimento contínuo de matéria-prima secundária para os consumidores. Além disso, muitos materiais perdem certas propriedades essenciais ao serem reciclados. Com isso essa matéria prima secundária que é gerada é inferior à primária, fazendo com que não seja interessante para as indústrias automobilísticas, já que seu produto deve ser acima

de tudo, seguro. Assim, alguns materiais reciclados, são direcionados para outras aplicações, muitas vezes fora do setor automotivo (MEDINA, 2003).

### **3.3 ECODESIGN NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

A indústria automobilística é um ramo que representa grande influência em vários setores. Aspectos econômicos, sociais e ambientais podem ser afetados.. Com isso, alguns pequenos ajustes em relação a processos de fabricação, seleção de materiais, projetos dos produtos, formas de descarte entre outros, podem fazer uma grande diferença no impacto ambiental no mundo atual. Os produtos disponibilizados pela indústria automobilística interferem bastante nas vidas das pessoas, dando além de mobilidade, a possibilidade de encarar desafios como aquecimento global e poluição do ar (ORSATO, 2007).

Preocupações econômicas e ambientais estão estimulando a pesquisa para o design de novos materiais para construção, para moveis em geral, embalagens e até na indústria automotiva. As alternativas mais atrativas são geralmente o universo dos materiais com fontes renováveis de matéria prima, reduzindo futuros impactos ambientais. No entanto, fontes renováveis devem ser utilizadas da forma correta, ou seja, com um balanceamento (ALVES, 2009). Dentre as diversas alternativas para novos materiais e processos, as opções envolvendo o Ecodesign na indústria automobilística são diversas e pode promover uma redução do impacto ambiental que este ramo pode gerar.

De acordo com Barros (2010), várias montadoras estão substituindo polímeros tradicionais pelos chamados materiais “verdes”. Dentro desses materiais estão os materiais reciclados não metálicos, os biopolímeros e as fibras naturais. O objetivo de fazer essa substituição é produzir veículos mais leves e reduzir a emissão de gás carbônico. Algumas empresas automobilísticas como a empresa francesa PSA Peugeot Citroën e a norte americana Ford, adotaram algumas dessas abordagens usando os materiais “verdes”. Uma das propostas da Peugeot Citroën é substituir 20 % dos polímeros tradicionais presentes em seus automóveis por materiais “verdes”. A FIAT, empresa Italiana de automóveis, exibiu em maio de 2010 o protótipo do Uno Ecology, onde mais de 30 componentes poliméricos usados nesse protótipo, como pára-choques, molduras externas, frisos, painel de instrumentos, painéis de porta, revestimentos de coluna e porta-pacote, foram confeccionadas em PP reforçado

com bagaço de cana-de-açúcar. Quando falamos do Ecodesign na indústria automotiva, um tópico muito interessante seria o uso de fibras naturais substituindo as fibras sintéticas. O uso desse tipo de material poderia reduzir o uso de outros materiais como madeira, minerais e plásticos em diversas aplicações. Essas fibras naturais, em geral, podem oferecer algumas vantagens como o fato delas serem biodegradáveis, possuírem um baixo custo e necessitar de menor energia no processamento. Dentre algumas fibras naturais podemos citar a fibra de juta, carauá, coco, abacaxi e o bagaço da cana-de-açúcar. Na Figura 5 são mostrados alguns exemplos de fibras naturais que podem ser usadas como substituição das fibras de vidro.

**Figura 5 - Fibras naturais usadas em substituição às fibras de vidro.**



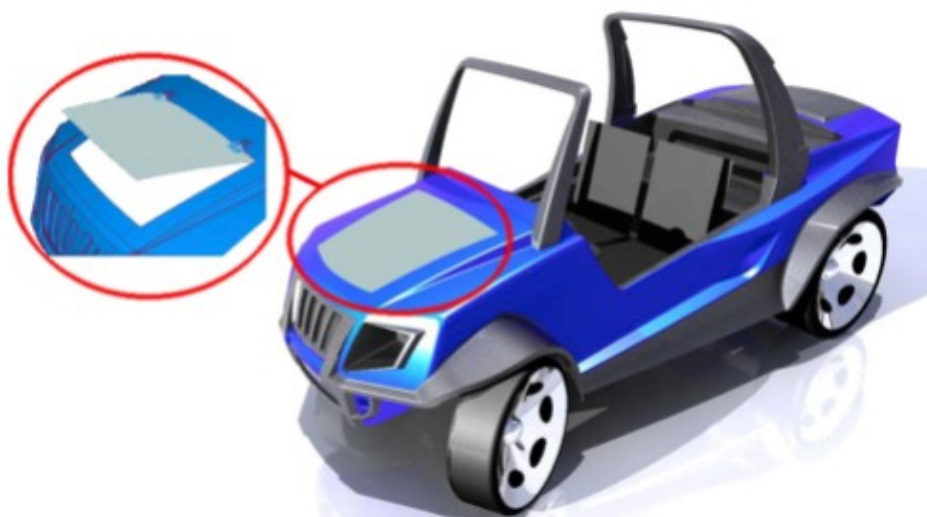
**Fonte:** (BARROS, 2010)

O uso descontrolado das fibras de vidro pode resultar em severos impactos ambientais principalmente devido às maneiras como esse material é descartado, seja em aterros ou por incineração de forma incorreta. Os estudos sobre o uso de fibras naturais como reforço de matrizes poliméricas crescem cada vez mais. Só no Brasil encontramos diversos tipos de fibras como sisal, juta e carauá e empresas automobilísticas como Mercedes-Benz do Brasil investe em pesquisas buscando aplicações para essas fibras (ALVES, 2010).

No estudo feito por Alves et al. (2010), foi feita uma análise dos impactos ambientais do uso da fibra de juta em partes do revestimento de um veículo do tipo

buggy. Na Figura 6 é evidenciada a parte do veículo que foi alterada. Além disso, foi feita uma comparação em relação ao ciclo de vida do buggy com os atuais revestimentos feitos com fibra de vidro e os revestimentos com fibra de juta. Os resultados obtidos nesse estudo mostraram os pontos positivos em se usar a fibra de juta em alguns componentes estruturais automotivos, uma vez que promove uma melhora, de forma geral em relação à performance ambiental do veículo como um todo. Além disso, essa substituição de fibras de vidro por fibras naturais na indústria automobilística pode também trazer benefícios econômicos e sociais.

**Figura 6 - Capota do buggy que foi fabricada a partir de compósito reforçado com fibras de juta.**



**Fonte:** (ALVES, 2010).

O uso de polímeros em carros de passeio duplicou nos últimos vinte e cinco anos. Esse aumento se deu, principalmente pelo fato de que a demanda por componentes automotivos mais leves e mais complexos também cresceu significativamente. A aplicação desses polímeros pode ser diversa, desde tapetes a para choques de veículos. Uma das formas de proporcionar melhores propriedades estruturais a esses materiais poliméricos é através da utilização de fibras de vidros como reforço de matrizes. Porém, há dificuldades em se separar compósitos contendo fibras de vidro, o que faz com que sua reciclagem também seja dificultada. Esse é um dos fatores que está contribuindo para o crescimento das fibras naturais no mercado automobilístico, com uma taxa de aumento anual acima de 20 % (ZAH, 2007).

De acordo com Zah et al (2007), entre os anos de 1950 e 1990 foi construído o chamado “1975 Trabante”, na Alemanha. Esse foi o primeiro carro construído utilizando fibras naturais. Foram usadas fibras de algodão e madeira. Atualmente os fabricantes de carros estão aplicando as fibras naturais em painéis de porta, forros, painéis de instrumentos, estofamentos, tapetes, bancos e tetos no interior dos carros (ZAH,2007).

Um exemplo de fibra natural é a fibra de Carauá. Essa fibra possui uma boa combinação de propriedades e um preço relativamente baixo, o que faz com que ela seja considerada uma ótima substituta das fibras de vidro. Apesar das fibras de carauá possuírem preços semelhantes em relação à outras fibras como fibra de coco e de juta, elas possuem uma resistência à flexão e à tensão muito elevadas, assemelhando-se às fibras de vidro. O Carauá pode ser encontrado na região ocidental do estado do Pará, no Brasil. Em 1950 essa planta era muito utilizada para a produção de cordas. O uso dessa planta foi diminuindo, uma vez que o polipropileno passou a ser utilizado como matéria prima para as cordas em geral (ZAH,2007).

No estudo realizado por Zah et al (2007), foram produzidos componentes automotivos a partir do compósito de matriz de polipropileno reforçado com fibras de Carauá. Essas peças foram fabricadas em São Paulo através do processo de moldagem e foram usadas na produção de tapetes para automóveis. Além disso, o estudo fez uma análise dos impactos que o uso de fibras de Carauá poderiam trazer. Em relação aos impactos econômicos, o aumento do uso de fibras de Carauá poderia trazer benefícios, uma vez que iria trazer um maior desenvolvimento econômico para a região da Amazônia e também, como foi mencionado, o preço dessas fibras são inferiores aos preços das fibras de vidro. Já em relação aos impactos ambientais, o estudo demonstrou uma redução do uso de combustíveis devido à diminuição do peso do veículo como um todo ao se utilizar fibras naturais. Essa redução do peso foi em torno de 20 %.

Outra forma de se promover o Ecodesign na indústria automotiva seria através da redução das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Os avanços e novos desenvolvimentos da indústria automotiva e também da sociedade industrial chegou fizeram com que chegasse a um ponto em que as emissões de gás carbônico estão ameaçando a estabilidade do nosso planeta. Desde o tratado de Kyoto, políticas

visando à redução dessas emissões foram implementadas em todos os setores econômicos (COUSINS, 2006).

Em relação ao setor automotivo, umas das formas de promover uma menor emissão de CO<sub>2</sub> é através da redução do peso do veículo, uma vez que as emissões deste gás estão diretamente relacionadas com seus índices de consumo (CARVALHO, 2006).

Desde a década de 90, o grupo PSA - Peugeot-Citroën vem adotando medidas características do Ecodesign. Tal abordagem foi denominada Reciclagem em Cascata e consiste em inserir em novos projetos de veículos, alguns produtos feitos a partir de material reciclado. Essa abordagem foi aplicada primeiramente em componentes não estruturais e parcialmente feitos com material reciclado, como por exemplo, acabamento interno. Porém, se estendeu às partes semi-estruturais inteiramente feitas com material reciclado, como os para choques. No ano de 1999, o Grupo criou três posições na engenharia de projeto que iriam atuar como assistentes de reciclagem. Suas tarefas englobariam dar assistências e garantir que os projetos estariam respeitando os critérios estabelecidos de reciclagem; estabelecer métodos para fazer um acompanhamento desses projetos; realizar os balanços da composição dos novos veículos; aplicar sistemas de cálculos que indicam a reciclabilidade dos veículos no desenvolvimento; promover mudanças para aumentar a reciclabilidade em novos projetos. Diante dessas ações, as montadoras francesas projetaram Scenic e o Clio II da Renault e o Peugeot 607 e o Citroën Xsara Picasso do Grupo PSA, ambos pensando na reciclagem. As práticas voltas ao Ecodesign no grupo PSA tiveram ênfase na seleção de materiais e na desmontabilidade. Já a Renault, desenvolveu um compósito 100 % reciclável para fabricar o para lama dos veículos (MEDINA, 2002).

No Brasil, nos anos de 1999 a 2005, foi fabricado o veículo Classe A, que possuía os conceitos de uma indústria automobilística preocupada em produzir carros que sejam ambientalmente amigáveis. Para exemplificar o Ecodesign presente no Classe A, seus para choques traseiro e dianteiro, a tampa do porta malas e os para lamas dianteiros, foram feitos com um material mais leve, termoplástico, o que reduziu consideravelmente o peso do veículo e também diminuiu a necessidade de substituição desses componentes devido a reparos, uma vez que estes absorvem impactos, deformam elasticamente, mas retornam a posição original. Além disso, os bancos foram feitos com fibras de coco, uma vez

que estas apresentaram vantagens econômicas, ambientais e sociais (CARVALHO, 2006).

### **3.4 MATERIAIS E MEIO AMBIENTE**

#### **3.4.1 CICLO DE VIDA DO MATERIAL**

Toda atividade dos seres humanos possui certo impacto no meio ambiente. Parte desse impacto é possível de ser absorvido pelo próprio meio ambiente sem causar dano significativo. Porém, está evidente que nos últimos anos, as atividades dos seres humanos estão superando esse limite e, assim, afetando a qualidade do mundo em que vivemos e também ameaçando futuras gerações. A fabricação e o uso de produtos, associados com o consumo de materiais e energia, estão entre os principais culpados. Neste contexto, aparece o termo “*Design for the environment*” (DFE) que pode ser interpretado como o esforço para adequar os atuais métodos de design existentes e aplicar medidas a fim de prevenir a degradação ambiental. (ASHBY, 2011).

O DFE é conhecido em nosso idioma como Projeto para o Meio Ambiente. Consiste em um modelo de gestão ambiental que se baseia em criar novos produtos e processos que causem uma redução do impacto no meio ambiente (BARBIERI, 2007).

Uma das formas de se promover um DFE que seja promissor é através da avaliação do ciclo de vida do material (ACV). Essa análise trata-se de uma consideração em relação a todas as fases em que um determinado produto passa, desde a extração da matéria prima utilizada em sua fabricação até sua destinação final. A ACV, também denominada *Life Cycle Assessment* (LCA) surgiu nos Estados Unidos na década de 90. Essa análise pode ser usada como uma forma de avaliar a ecoeficiência de produtos, processos, indústrias e fontes de energia, o que contribui também para o aparecimento de produtos e processos alternativos (SOUZA, 2010).

A análise do ciclo de vida pode aparentar ser uma técnica simples, porém, para que esta seja feita corretamente, esta necessita de muitos dados e informações que não são encontradas facilmente, não estão sempre presentes em estatísticas dos processos produtivos. Dessa forma, consiste em um método complexo que

ainda não pode ser considerado uma forma madura de avaliação dos impactos ambientais pelo fato de que demanda uma base de dados própria (SOUZA, 2010).

Na concepção de Medina et al (2003), a ACV pode ser dividida em 3 etapas diferentes. Primeiramente, todas as matérias primas e energia necessária na fabricação de um determinado produto, são identificadas e contabilizadas. Além disso, nesta etapa, também são quantificadas as emissões de poluentes gerados na produção, o consumo e o destino final do produto. Na segunda etapa é realizada uma avaliação dos danos ambientais em decorrência da utilização de energia e matérias primas, bem como das emissões de poluentes. A etapa final consiste em estabelecer algumas melhorias para posterior implementação nos sistemas produtivos, na reciclagem ou destinação final do produto.

Apesar de consistir em um método complexo, a indústria automobilística vem utilizando esta técnica, uma vez que possui ciclo de produção e consumo muito bem definidos e conhecidos, já que os automóveis possuem uma função bem clara, que consiste em atuar como meio de transporte. Dessa forma, a dificuldade em se fazer uma análise do ciclo de vida é reduzida em relação aos outros produtos (MEDINA, 2003).

### **3.4.2 ATRIBUTOS ECOLÓGICOS DOS MATERIAIS**

Atualmente, existe uma gama de ferramentas de trabalho que foram desenvolvidas à medida que novos obstáculos apareceram. Para superar cada um desses obstáculos, é necessário aplicar certos ajustes no projeto de um determinado produto. Dessa forma, as características e propriedades são analisadas e comparadas entre si de forma que o objetivo é buscar atingir um melhor desempenho para o produto. Para a prática do Ecodesign, por exemplo, existe uma série de eco-atributos, como é definido por Ashby (2011), que consistem em características focadas no meio ambiente. Dentre os diversos eco-atributos existentes, temos: percentual de reciclabilidade, consumo de energia, emissão de CO<sub>2</sub> no ciclo produtivo, uso de água, entre outros.

O software CES Edupack foi criado para funcionar como uma ferramenta para auxiliar o estudo dos materiais nos campos da engenharia, design, ciência e desenvolvimento da sustentabilidade. Nele, temos a opção de visualizar alguns dos eco-atributos dos materiais, que são divididos em três categorias. A primeira delas é



relacionada com a produção primária do material, que engloba energia consumida e pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária e também o uso de água. A segunda divisão engloba a energia e as pegadas de CO<sub>2</sub> no processamento. Por último, a terceira divisão diz respeito à reciclagem e ao fim de vida dos materiais, abordando o percentual de reciclabilidade, o fato de um material ser biodegradável ou não e até mesmo o fato dele ser reciclável ou não.

Em relação a alguns atributos, temos o percentual de reciclabilidade que considera a quantidade percentual de material que é reciclável. Um alto valor para essa propriedade indica que a probabilidade do material ser reciclado é maior. Já o uso de água considera a quantidade de água necessária para produzir 1 quilograma de um determinado material. As pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária se refere à massa de CO<sub>2</sub> produzida e liberada na atmosfera como consequência da produção de 1 quilograma de material. Outro eco atributo é emissão de CO<sub>2</sub> na combustão completa de 1 quilograma de material (CES EDUPACK, 2017).

### **3.5 SELEÇÃO DE MATERIAIS**

A seleção de materiais pode ser definida como um problema que envolve decisões com vários objetivos diferentes, em que o resultado seja tal que, haja uma integração dos critérios pré-estabelecidos (D'ERRICO, 2015).

A seleção de materiais vai além da combinação de requisitos de um produto com a finalidade de selecionar um material que seja mais adequado para o projeto. De acordo com Dias et al (2011), a definição das condições de trabalho marcam o início de um processo de seleção de materiais, ou seja, é muito importante criar um pacote com todos os requisitos do projeto que devem ser cumpridos. A partir daí, é possível estabelecer uma lista com as propriedades que buscam aperfeiçoar o projeto.

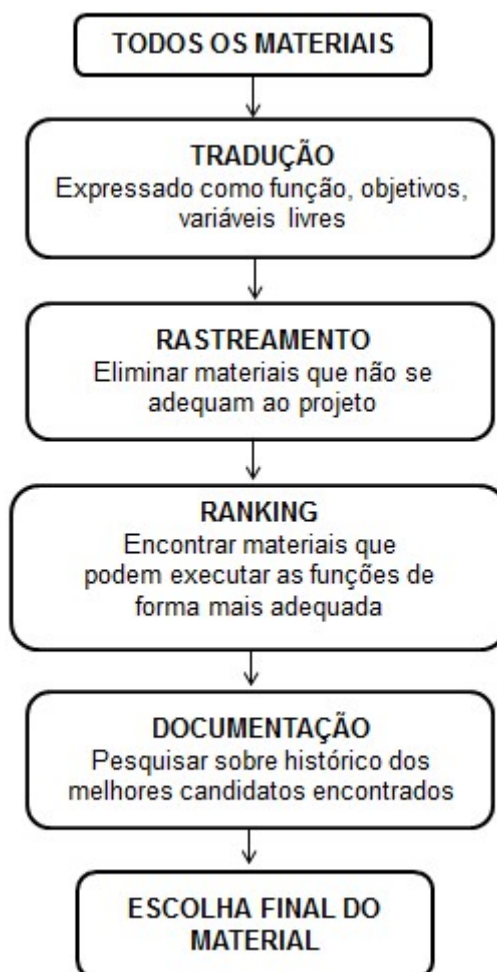
Pode-se dizer que a seleção de materiais sempre foi de extrema importância quando falamos em desenvolvimento de novos produtos e novos processos de fabricação, pois é possível alcançarmos um bom desempenho para um determinado projeto através de uma melhor escolha do material. Antigamente, nossos antepassados, por meio de metodologias empíricas, já selecionavam opções que eles percebiam que seriam mais adequadas para a aplicação que eles desejavam.

Hoje, existem mais de 70.000 materiais diferentes que estão disponíveis para serem usados em diversos projetos e isso nos dá certa liberdade para buscar algum que seja ideal ou quase ideal para o uso que queremos. Com isso, a seleção de materiais contribui fortemente para direcionar os projetistas para alternativas mais econômicas e tecnológicas. Com o passar dos anos, a sociedade tem ficado mais exigente e isso serve de motivação para um maior desenvolvimento da seleção de materiais (BOTELHO, 2003).

Na concepção de Botelho (2003) existem uma série de parâmetros na análise e seleção de materiais que nos ajudam a verificar as propriedades dos materiais para diversas funções específicas. Dentre esses parâmetros, podemos citar as propriedades mecânicas dos materiais como dureza, resistência mecânica e limite de escoamento; as condições de serviço, como temperatura e pressão de operação; a disponibilidade dos materiais; o custo; a segurança e o meio ambiente e outros como condutibilidade térmica e coeficiente de atrito.

Michael Ashby (2011) propôs um método eficiente para a seleção de materiais. De acordo com Ashby, um material possui certos atributos como densidade, custo, resistência à corrosão entre outros. Para um design de um componente é demandado um certo perfil como ter uma baixa densidade, uma resistência mecânica elevada ou um baixo custo. Para isso, o primeiro passo na seleção de materiais é denominado "Tradução". Nesta etapa é feita uma análise dos requisitos do projeto para identificar quais restrições que este irá impor na escolha do material. A segunda etapa seria o "Rastreamento", o que torna possível eliminar uma série de materiais que não conseguem atender às exigências do projeto. Para afinar ainda mais, é feito um ranking dos principais candidatos de acordo com sua habilidade de maximizar a performance, o que caracteriza a terceira etapa. Usualmente, o desempenho do material é limitado por uma única propriedade ou por uma série de propriedades. Com isso, ao maximizar ou minimizar certo atributo, conseguimos maximizar a performance. Por último, a quarta etapa da seleção de materiais é definida como "Documentação" onde é feita uma pesquisa em relação ao histórico de cada material que foi colocado no topo da lista dos candidatos mais adequados. Estudos de caso, análises de falhas, informações sobre disponibilidade e preço auxiliam nessa etapa de documentação e posteriormente, escolha do material para o projeto.

**Figura 7 - Estratégia para seleção de materiais. Os principais passos – tradução, rastreamento, ranking e documentação.**



**Fonte:** (Adaptado de ASHBY, 2011).

De acordo com D'Errico (2015), podemos dividir os métodos de seleção de materiais em duas estratégias diferentes: métodos derivativos e não derivativos. Em relação aos métodos derivativos, que também pode ser referido como metodologia explícita, consiste em analisar critérios e objetivos de um projeto e transformá-los em uma fórmula matemática, que terá como propósito, maximizar ou minimizar um objetivo. Segundo Ashby (2010), a função deve possuir basicamente três termos: parâmetro geométrico, parâmetro funcional e propriedade do material. Dessa forma, normalmente consideram-se os dois primeiros termos como constantes e durante a seleção, analisa-se a propriedade dos materiais. Esse último termo é definido como índice de mérito e é ele que deve ser maximizado para encontrar um material adequado para o projeto. A partir dele, é possível estabelecer funções matemáticas e plotar gráficos para selecionar os materiais candidatos para uma determinada

aplicação. Tal estratégia é eficiente e objetiva, porém, devido ao perfil multiobjectivo da seleção de materiais, nem sempre o material que apresenta o maior índice mérito é a melhor alternativa. Com isso, deve-se também, considerar outras limitações para o material.

Nesse contexto de seleção de materiais, o índice de mérito (IM) é um termo relevante. O que vai determinar esses índices são os objetivos que um projeto tem, de forma que o índice de mérito irá equivaler ao maior valor considerando essa finalidade. Ou seja, o melhor candidato será aquele que possuir um maior índice de mérito (ASHBY, 2011).

Outra estratégia é através dos métodos não derivativos, que possuem uma abordagem diferente dos métodos derivativos, pois trata-se de um método direcionado à tomada de decisões e análise subjetiva. Um dos métodos derivativos conhecidos denomina-se soma de pesos que baseia-se em determinar os pesos de relevância para requisitos chave do projeto e analisa-los. Um fato interessante em relação a esse método, é que ele permite relacionar valores a qualidades subjetivas e considera mais fatores que o método derivativo, além do fato de poder avaliar parâmetros que não estão atrelados às propriedades dos materiais como custo de produção por exemplo. Trata-se de um método instável e subjetivo, de forma que é de vital importância que o peso de cada fator seja corretamente estabelecido para promover uma seleção de materiais adequada. Existem técnicas que podem auxiliar projetistas a melhorar a seleção, mas, são técnicas complexas e que precisam de um conhecimento avançado em algumas áreas (D'ERRICO, 2015).

Existem vários programas que tem como objetivo contribuir no processo de seleção de materiais. Um deles é chamado de Cambridge Engineering Selector (CES) comercialmente lançado pela Granta Design. Esse software contém uma ampla gama de dados com informações sobre aplicações e propriedades de materiais. Nele, pode-se elaborar gráficos das propriedades e selecionar o material mais adequado (ASHBY, 2011).

### 3.6 POLIURETANO

O poliuretano pode ser considerado um polímero muito versátil. Pode-se obter materiais com propriedades físicas e químicas muito diferentes, e, por isso, ele é considerado um dos principais polímeros existentes. Em 1937, o poliuretano foi patenteado pela companhia Bayer AG de Leverkusen, sediada na Alemanha. A síntese do composto denominado Uretano foi divulgada em 1849 por Wurtz, porém, somente no século XX que foram desenvolvidos os primeiros poliuretanos. Na década de 50 foi descoberta a fórmula exata para a fabricação de espumas rígidas e flexíveis. Em 1960 começaram a usar esse material para isolamento térmico, uma vez que passaram a usar os clorofluorcarbonos como agente de expansão das espumas rígidas. Já em 1970 foi quando as espumas de poliuretano passaram a ser aplicadas na indústria automobilística, devido ao surgimento das espumas semirrígidas revestidas com termoplásticos (CANGEMI, 2009).

O poliuretano combina algumas características de elastômero com uma possibilidade de transformação, em decorrência das diferentes variações de durezas que pode-se estabelecer em sua formulação. Alguns tipos de poliuretano que podemos encontrar são: espumas flexíveis, espumas rígidas, elastômeros, adesivos, selantes, tintas e revestimentos. Em geral, podemos definir que o poliuretano é qualquer polímero que compreende uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas. Existem diversas vantagens que torna o poliuretano interessante para aplicações na indústria automotiva, tais como para choques e espumas para bancos. Na Tabela 3, essas características são evidenciadas. (PINHEIRO, 2011).

**Tabela 3 - Propriedades e vantagens do poliuretano.**

<b>Propriedades</b>	<b>Vantagens</b>
Alta resistência abrasiva	Oferecem uma maior durabilidade.
Alta resistência à tração e compressão	Ponto máximo na curva tensão deformação
Boa elasticidade ao choque	Absorve energia até a fratura, se esta existiu.
Resistência ao impacto	Capacidade de absorver energia do impacto
Elevada resistência a propagação de rasgos	Quando há corte este não se propaga

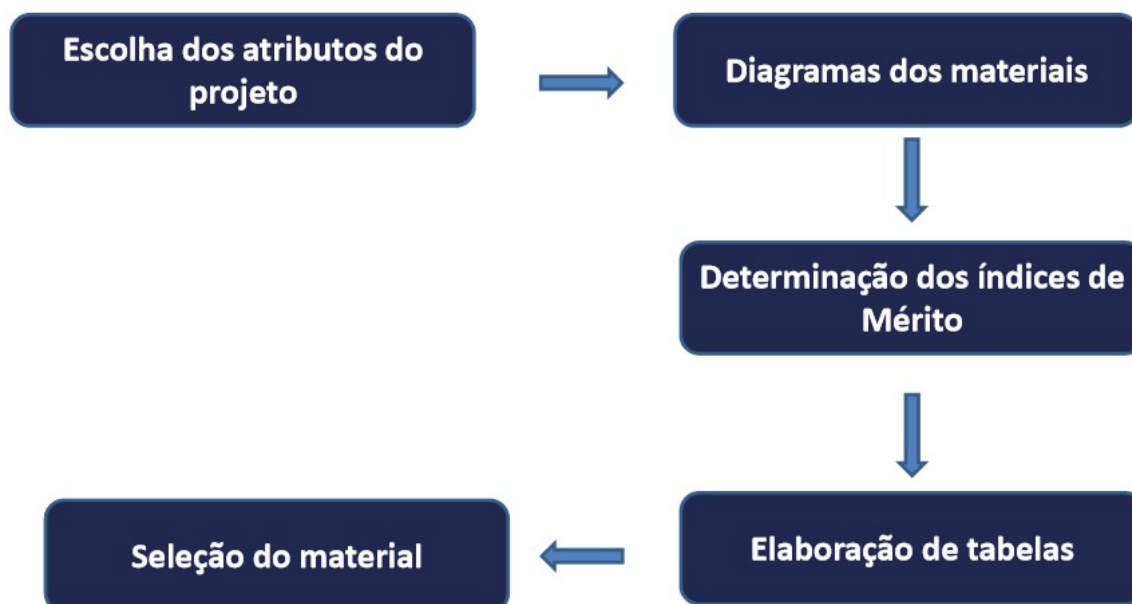
Fonte: PINHEIRO, 2011.

O Brasil produz em média mais de 400 mil toneladas de poliuretano por ano. Isso gera ao país uma grande quantidade de resíduos, que não são devidamente

eliminados, ou são destinados à queima indiscriminada ou a aterros industriais, onde levam anos para se decompor, gerando sérios problemas ao meio ambiente. Esse descarte incorreto pode contribuir para a liberação de toxinas no ar. Monóxido de carbono, cianeto de hidrogênio e dioxinas são algumas dessas toxinas que geram danos ao meio ambiente e também à saúde. Com isso, apesar das vantagens que o poliuretano pode oferecer, quanto à sua aplicação e suas propriedades, deve-se também ter a preocupação com o destino dos resíduos desse polímero (RIBEIRO, 2010).

## 4 METODOLOGIA

Figura 8: Fluxograma das principais etapas referente ao método adotado neste trabalho.



Fonte: (Próprio autor, 2017).

O processo de seleção de materiais para a aplicação em espuma de bancos de automóveis foi feito a partir do método proposto por Ashby, utilizando o software CES Edupack 2017 (licença estudantil). Como primeiro passo de análise para a formulação do projeto, foi admitido que o peso do condutor diretamente sobre o banco é a principal fonte de carga atuante sobre a estrutura. Também foi considerado que o assento do banco é um prisma de base retangular com dimensões fixas. Ou seja, não seria feito um redimensionamento do banco.

Como a espuma de bancos automotivos atualmente é feita de poliuretano, foi admitido que o módulo de elasticidade do material escolhido deveria ser próximo do módulo de espumas de poliuretano utilizadas em bancos automotivos. De acordo com dados registrados no software CES Edupack, o módulo de elasticidade para essas espumas está entre 0,26 GPa e 0,67 GPa. Dessa forma foi admitido que todos os materiais com valores que respeitassem essa faixa ou que apresentassem um valor superior ou inferior em até 20 % seriam considerados no processo de seleção.

De acordo com o método proposto por Ashby, o primeiro passo foi estabelecer os objetivos que o projeto busca alcançar e os requisitos necessários para a

aplicação. Para isso, foram analisados alguns atributos ecológicos que são de extrema relevância durante uma seleção de materiais com foco no Ecodesign. Como principais requisitos, ou atributos, do projeto de seleção da espuma foram apontados: a) o percentual de reciclabilidade da matéria prima, b) emissão de gás carbônico na combustão, c) a emissão global de gás carbônico na produção primária, definida como pegada de carbono e d) a quantidade de água necessária na produção. Quanto ao custo do material, este não foi um fator determinante, neste trabalho, pois não faz parte do escopo e irá depender do volume de produção, por exemplo.

Para avaliar os atributos, por exemplo, o percentual de reciclabilidade, foram elaborados, utilizando o software CES Edupack 2017, diagramas do referido atributo em função da densidade dos materiais. Apesar da densidade de espumas, em relação ao peso total do veículo ser relativamente pequena, é interessante buscarmos um valor menor de densidade, uma vez que o projeto trata de um componente automotivo, onde o peso é de extrema importância (COLE, 1995).

Para cada análise, foram calculados os índices de mérito, descrevendo os pré requisitos como equações matemáticas buscando uma relação de quanto maior for o índice de mérito, melhor será a aplicação do material.

A próxima etapa realizada foi eliminar os materiais que não se encaixavam nos requisitos pré-determinados. Através dos gráficos e dos índices de mérito calculados, foi estabelecida uma lista dos dez melhores materiais, para cada atributo analisado na seleção, ou seja, uma lista dos melhores candidatos quanto a cada característica estudada. Foram, então, determinados os materiais que desempenham sua função atendendo os objetivos do projeto. Esses materiais selecionados são tratados como materiais candidatos finais ao projeto em questão. Por último, trabalhos e estudos anteriores foram usados como fonte de dados e informações sobre os materiais mais usados como espuma de bancos automotivos. Esses materiais foram comparados entre si e com os materiais candidatos para buscar um material que apresentasse menor impacto ambiental, considerando os eco atributos estudados.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

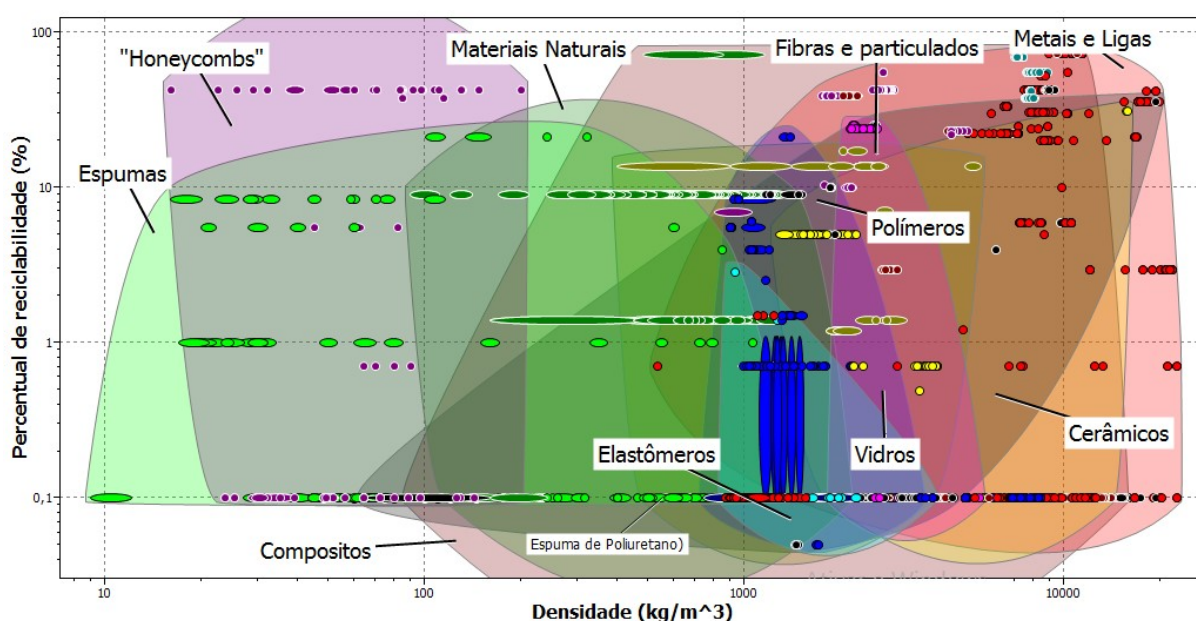
### 5.1 PERCENTUAL DE RECICLABILIDADE

O primeiro parâmetro avaliado neste trabalho foi o percentual de reciclabilidade. A partir desse requisito inicial foi possível estabelecer o primeiro índice de mérito do projeto. Neste cálculo, o índice de mérito é diretamente proporcional ao percentual de reciclabilidade, pois, o melhor candidato considerando este atributo, irá possuir o maior valor de índice de mérito 1 (IM 1). Logo,

$$IM\ 1 = \text{Percentual de Reciclabilidade (\%)} \quad (1)$$

A partir disso, foi obtido um diagrama com os dados de percentual de reciclabilidade no eixo das ordenadas e densidade no eixo abscissas considerando todo o universo de materiais. Na Figura 8 são exibidos os dados de percentual de reciclabilidade para diversas famílias de materiais. Neste estágio, foram encontrados 3934 candidatos. A espuma de poliuretano está sempre sendo destacada como base comparativa, uma vez que consiste no principal material usado em espumas de bancos automotivos (PATTEN, 1998).

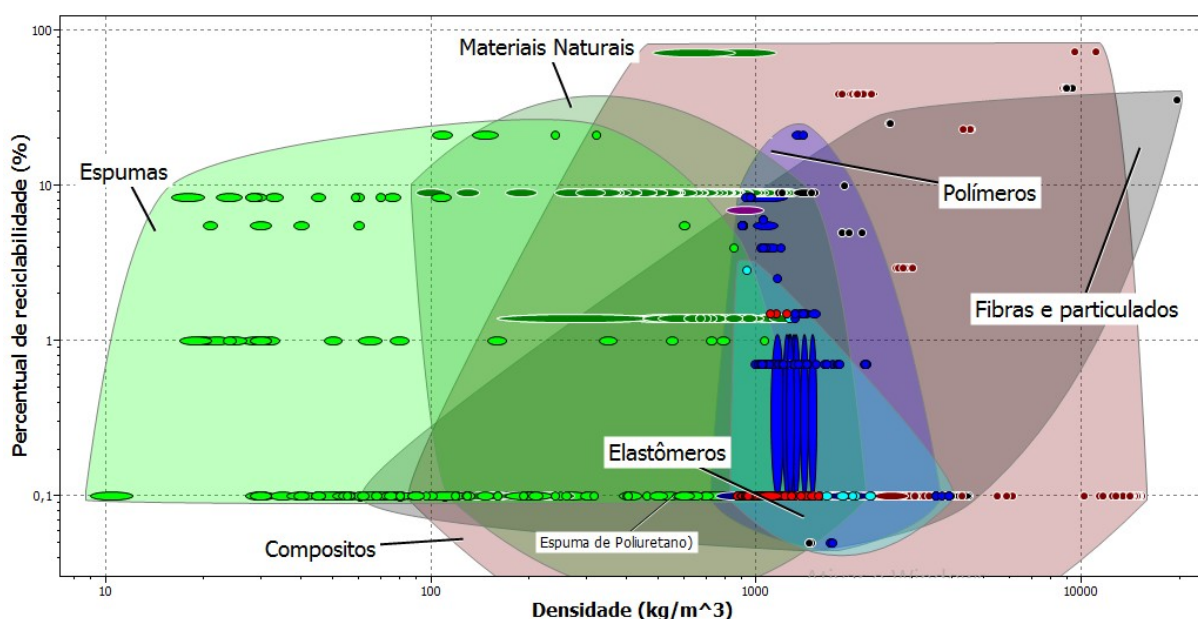
**Figura 9 - Diagrama do percentual de reciclabilidade em função da densidade para todo o universo dos materiais.**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

Nem todas as famílias apresentadas na Figura 8, seriam adequadas para a aplicação em estofamento de bancos. Com isso, o gráfico exibido na figura 9, foi elaborado para restringir ainda mais as opções que atenderia ao projeto. As famílias que abrangem as fibras e particulados, materiais naturais, espumas, compósitos, elastômeros e polímeros seguiram no processo de seleção. As demais famílias, vidros, metais e ligas, *honeycombs* e cerâmicos foram eliminadas.

**Figura 10 - Diagrama do percentual de reciclabilidade em função da densidade para as famílias do projeto.**

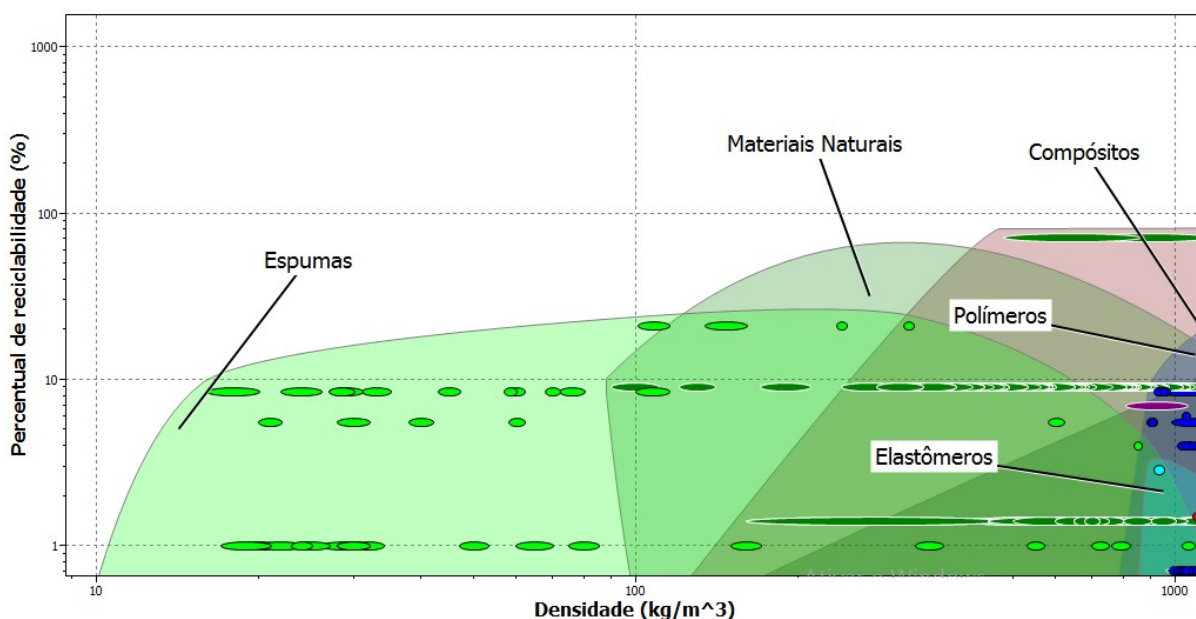


Fonte: (CES Edupack, 2017).

Após a eliminação de algumas famílias de materiais, os resultados foram reduzidos para 1641 possíveis candidatos para a aplicação em espumas de bancos automotivos.

Considerando o primeiro índice de mérito encontrado (IM 1) foi elaborado um último gráfico ainda relacionado ao percentual de reciclabilidade, evidenciando os materiais com os maiores percentuais e menores densidades. Além disso, foi feita também uma limitação dos resultados a partir do Módulo de Young. Todos os materiais que não apresentaram um valor para o Módulo de Young na faixa entre 0,2 GPa e 0,8 GPa foram descartados. Dessa forma, o número de candidatos foi reduzido para 130. Na Figura 10 é exibido o diagrama levando em conta essa última análise.

**Figura 11 – Diagrama do percentual de reciclabilidade (%) pela densidade com foco no IM 1.**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

A partir da limitação dos valores de Módulo de Young, foi elaborada a Tabela 4 listando os materiais que apresentaram maiores valores para o IM 1, ou seja, os maiores valores de percentual de reciclabilidade.

**Tabela 4 – Materiais com maiores valores para o índice de mérito (IM 1).**

	Material	Percentual de Reciclabilidade	IM 1
1	Espuma de Tereftalato de Polietileno	21,05	21,05
2	Madeiras (Cedro, salgueiro, Pinheiro )	9	9
3	Polietileno	8,44	8,44
4	Couro	7	7
5	Espuma de Polipropileno	5,5	5,5
6	Espuma de Polimetacrilimida	0,1	0,1
7	Espuma de Poliuretano	0,1	0,1
8	Espuma de Estireno Acrilonitrila	0,1	0,1
9	Espuma de Zicônia	0,1	0,1
10	Policaprolactona	0,1	0,1

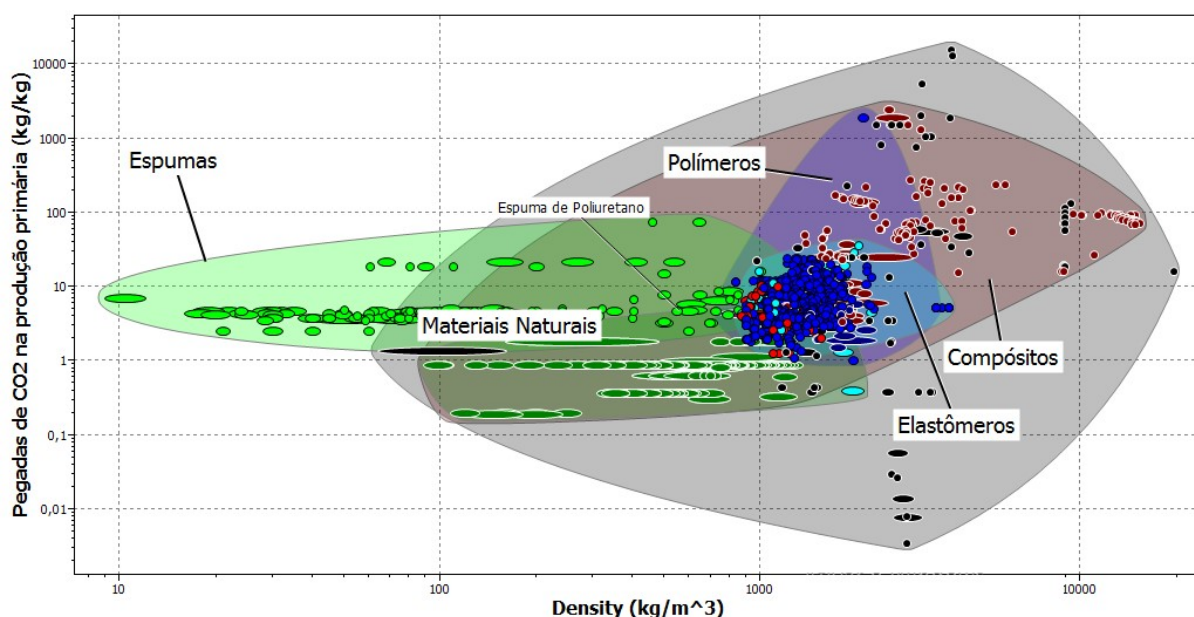
Fonte: (CES Edupack, 2017).

Verifica-se que a espuma de tereftalato de polietileno apresenta o maior valor para o índice de mérito 1, seguida de madeiras em geral, polietileno, couro e espuma de polipropileno.

## 5.2 PEGADAS DE CO<sub>2</sub> NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA

A emissão de CO<sub>2</sub> na produção primária foi outro parâmetro analisado. O diagrama elaborado é exibido na Figura 11, onde foi evidenciado um total de 1641 materiais, como foi encontrado na análise do percentual de reciclabilidade.

**Figura 12 - Diagrama das pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária em função da densidade.**



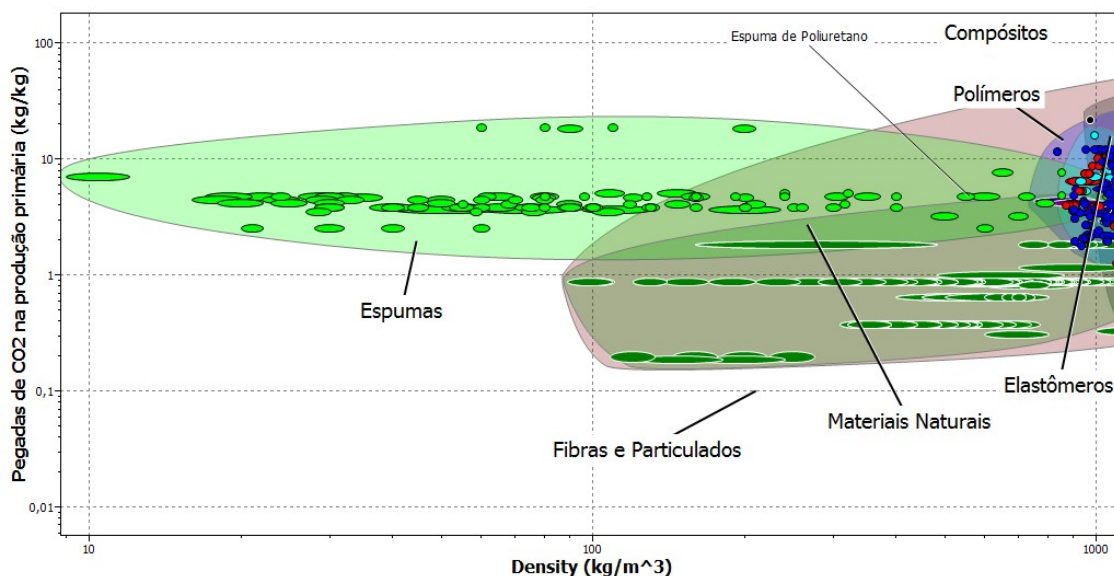
Fonte: (CES Edupack, 2017).

O material que apresenta uma menor pegada de CO<sub>2</sub> em sua produção é o mais adequado para o projeto da espuma de bancos automotivos. Dessa forma, foi estabelecido o segundo índice de mérito (IM 2):

$$IM\ 2 = \frac{1}{\text{Emissão CO}_2 \text{ na Produção}} \text{ (Kg/Kg)} \quad (2)$$

Para este atributo, o índice de mérito é inversamente proporcional à quantidade de CO<sub>2</sub>. Da mesma forma que foi feita para o primeiro atributo analisado, foi plotado um diagrama, exibido na Figura 12, considerando as limitações para os valores de Módulo de Young (entre 0,2 Gpa e 0,8 Gpa).

**Figura 13 - Diagrama das pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária em função da densidade focando no índice de mérito 2 (IM 2).**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

A partir da Figura 12 foi possível elaborar a Tabela 5 com os dez materiais que apresentaram um maior índice de mérito 2, ou seja, os melhores candidatos para o projeto considerando as pegadas de CO<sub>2</sub> na produção primária.

**Tabela 5 – Materiais com maiores valores para o índice de mérito 2 (IM2).**

	Material	Pegadas de CO <sub>2</sub>	IM 2
1	Madeiras	0,87	1,15
2	Espuma de polipropileno	2,59	0,39
3	Policaprolactona	3,19	0,31
4	Espuma de Cordierite	3,48	0,29
5	Polietileno	3,49	0,29
6	Espuma de Polimetacrilamida	3,74	0,27
7	Espuma de Estireno Acrilonitrila	4,21	0,24
8	Espuma de Poliuretano	4,82	0,21
9	Espuma de Tereftalato de Polietileno	5,13	0,19
10	Espuma de Zicônia	8,7	0,11

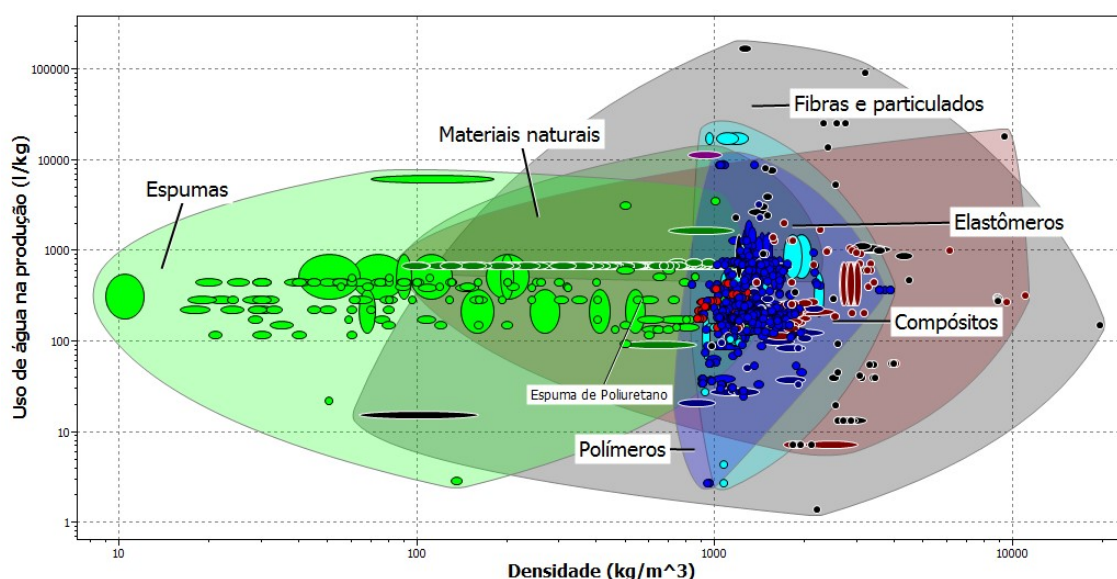
Fonte: (CES Edupack, 2017).

De acordo com a Tabela 5 as madeiras e a espuma de polipropileno apresentam maiores valores para o índice de mérito 2. O poliuretano ocupa a oitava posição, apresentando um IM 2 igual a 0,21.

### 5.3 USO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA

O próximo atributo ecológico avaliado foi quantidade de água usada na produção de cada material. Para isso foi elaborado o diagrama da Figura 13, evidenciando essa característica para todas as famílias de materiais candidatas do projeto. No diagrama da Figura 13 ainda não havia limitações para o Módulo de Young.

**Figura 14 - Diagrama do uso de água na produção em função da densidade.**



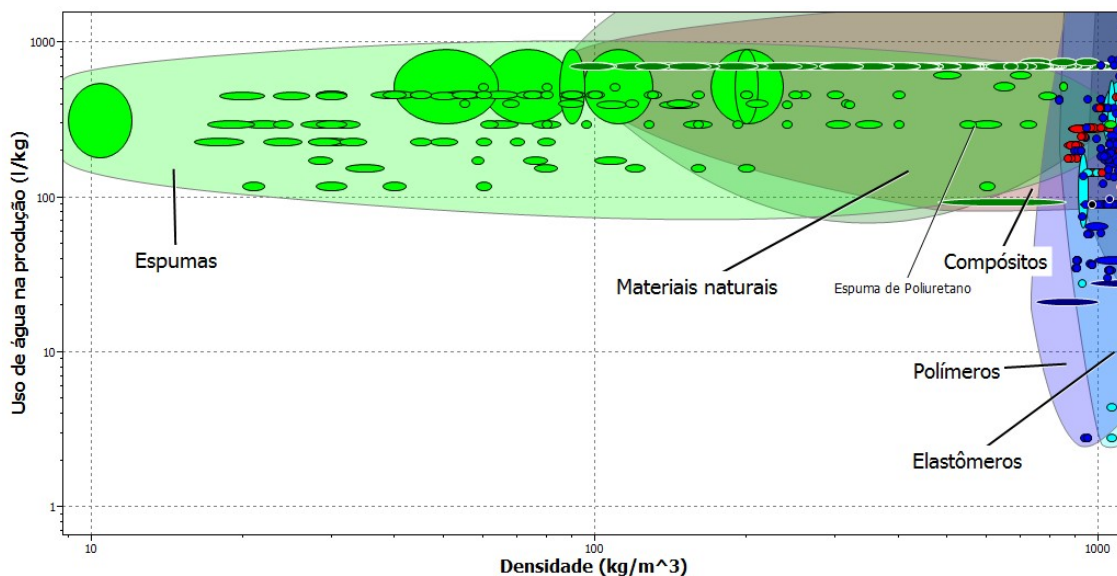
Fonte: (CES Edupack, 2017).

Considerando a quantidade de água na produção, foi obtido o terceiro índice de mérito (IM 3), uma vez que um maior IM 3 implicaria em menores quantidades de água na produção.

$$IM\ 3 = \frac{1}{\text{Uso de água na Produção}} \quad (l/Kg) \quad (3)$$

Focando no IM 3 e limitando os valores de módulo de Young foi elaborado o diagrama da Figura 14. E a partir desse diagrama foi obtida a Tabela 6, com os melhores candidatos para o projeto, considerando o uso de água. Nessa tabela, a espuma de polipropileno apareceu novamente. Agora, como terceiro material com maior índice de mérito 3.

**Figura 15 - Diagrama do uso de água na produção em função da densidade focando no índice de mérito 3 (IM 3).**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

**Tabela 6 - Materiais com maiores valores para o índice de mérito 3 (IM3).**

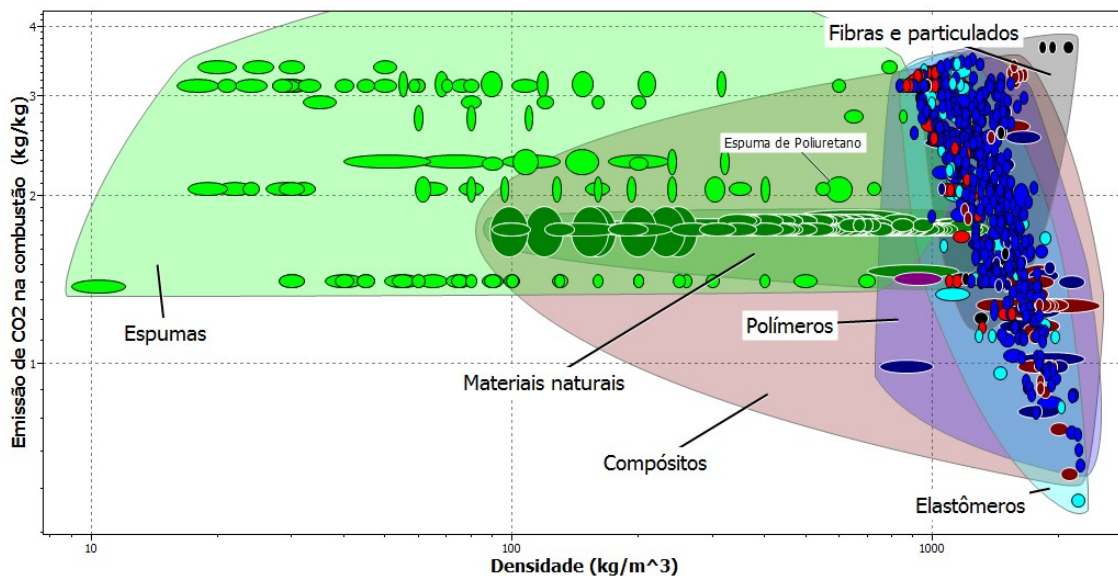
	Material	Uso de água	IM 3
1	Polietileno	58,2	0,0172
2	Espuma de Cordierite	95,45	0,0105
3	Espuma de Polipropileno	118	0,0085
4	Espuma de Poliuretano	295	0,0034
5	Espuma de Estireno Acrilonitrila	405,5	0,0025
6	Policaprolactona	443	0,0023
7	Espuma de Polimetacrilamida	597,5	0,0017
8	Espuma PVC	622	0,0016
9	Madeiras	700	0,0014
10	Espuma de Tereftalato de Polietileno	798	0,0013

Fonte: (CES Edupack, 2017).

## 5.4 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NA COMBUSTÃO

Por último, foi avaliada a emissão de CO<sub>2</sub> na combustão. Foi elaborado o diagrama exibido na Figura 15 evidenciando as possíveis famílias candidatas e ainda sem limitação para o valor de Modulo de Young.

**Figura 16 - Gráfico da emissão de CO<sub>2</sub> na combustão em função da densidade para todas as possíveis famílias candidatas do projeto.**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

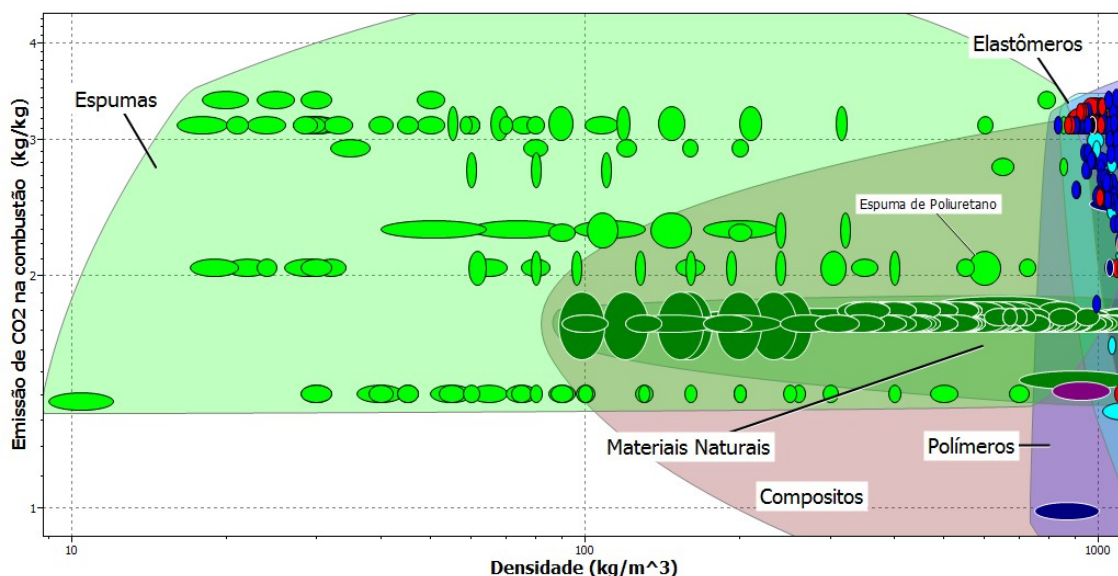
Como trata-se de um projeto com foco no Ecodesign, uma característica interessante é que a emissão de CO<sub>2</sub> na combustão do material seja o menor possível. Para isso, foi estabelecido o quarto índice de mérito, inversamente proporcional à emissão de CO<sub>2</sub> na combustão.

$$IM\ 4 = \frac{1}{\text{Emissão de CO}_2 \text{ na combustão}} \quad (Kg/Kg) \quad (4)$$

Foi elaborado o gráfico exibido na Figura 16 após limitar os valores para o Módulo de Young e, a partir dele, foi montada também a Tabela 7, evidenciando os dez materiais considerados melhores candidatos para o projeto, de acordo com o atributo ecológico em análise.



**Figura 17 - Gráfico do uso de água na produção em função da densidade evidenciando os principais candidatos a partir do índice de mérito 4.**



Fonte: (CES Edupack, 2017).

**Tabela 7 - Lista dos melhores candidatos para o projeto, considerando a emissão de CO<sub>2</sub> na combustão e o índice de mérito 4 (IM 4).**

	Material	CO <sub>2</sub> na combustão	IM 4
1	Espuma PVC	1,405	0,712
2	Couro	1,425	0,702
3	Madeiras	1,735	0,576
4	Espuma de Poliuretano	2,050	0,488
5	Espuma de Tereftalato de Polietileno	2,295	0,436
6	Espuma de Polimetacrilamida	2,300	0,435
7	Policaprolactona	2,315	0,432
8	Polietileno	3,140	0,318
9	Espuma de Polipropileno	3,140	0,318
10	Espuma de Estireno Acrilonitrila	3,160	0,316

Fonte: (Adaptado, CES Edupack, 2017).

Após a determinação do quarto índice de mérito, foi feito um somatório de todos os valores de índice de mérito encontrados, exibido na Tabela 8. Esse somatório foi realizado no intuito de comparar os atributos avaliados. Além disso, todos os materiais que não fossem espumas foram descartados dessa tabela, por não se adequarem imediatamente ao projeto.

**Tabela 8 - Somatório dos índices de mérito encontrados para os materiais candidatos do projeto.**

<b>Material</b>	<b>IM1</b>	<b>IM 2</b>	<b>IM 3</b>	<b>IM 4</b>	<b>SOMA IM</b>
Espuma de Tereftalato de Polietileno	21,05	0,19	0,00	0,44	21,68
Espuma de Polipropileno	5,50	0,39	0,01	0,32	6,21
Espuma PVC	0,10	0,30	0,00	0,71	1,11
Espuma de Polimetacrilamida	0,10	0,27	0,00	0,43	0,80
Espuma de Poliuretano	0,10	0,21	0,00	0,49	0,80
Espuma de Estireno Acrilonitrila	0,10	0,24	0,00	0,32	0,66
Espuma de Cordierite	0,10	0,29	0,01	0,00	0,40
Espuma Zircônia	0,10	0,11	0,01	0,00	0,22

**Fonte:** (Próprio Autor, 2017).

Alguns valores apresentados na Tabela 8, para o índice de mérito 3 foram iguais a zero , pois, de acordo com o software CES Edupack, não haviam informações sobre o uso de água na produção da espuma de PVC, de polimetacrilamida, de poliuretano e da espuma de estireno acrilonitrila. O mesmo ocorreu para os dados referente à emissão de CO<sub>2</sub> na combustão das espumas de cordielite e de zircônia.

## 6 CONCLUSÃO

A partir do método de seleção de materiais desenvolvido por Ashby foram determinadas algumas possíveis alternativas em relação ao material utilizado como espuma de bancos automotivos. Atualmente, o poliuretano é a escolha para esta aplicação, porém, do ponto de vista ecológico, não é uma escolha muito interessante. Os quatro atributos ecológicos foram analisados para auxiliar a escolha do material. Como segunda forma de seleção do material, foram elaborados diagramas e estes demonstraram as famílias de materiais candidatas para o projeto.

De acordo com cada atributo ecológico, foi encontrado um índice de mérito e os materiais com os maiores índices foram registrados. Dessa forma, a partir do somatório dos índices de mérito foi possível verificar que o material que apresentou o maior valor para a soma foi a espuma de tereftalato de polietileno, apresentando um valor de aproximadamente 21,68 englobando todos os índices de mérito analisados. Porém, esse valor se deve principalmente ao fato de que para o primeiro índice de mérito encontrado, a espuma de tereftalato de polietileno apresentou um valor de 21,05 para o IM1, o que consiste em um valor quatro vezes maior que a espuma de polipropileno, que é o segundo material com maior valor para o somatório dos índices de mérito. Assim, quando comparamos separadamente os IM encontrados percebemos que a espuma de polipropileno também seria uma interessante escolha, apresentando um somatório para os IM de 6,21.

## **7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestão para trabalhos futuros propõe-se:

- Análise das propriedades mecânicas dos principais candidatos encontrados.
- Fabricação da espuma de polipropileno e da espuma de tereftalato de polietileno.
- Estudo de fibras naturais como substitutas das espumas de poliuretano.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C.; ALVES, D.E.; FERRÃO, P.M.C; FREITAS, M.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, A.J. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 313-327, 2009.

ARAUJO, M. R.; NAVEIRO, R. M. Desenvolvimento de novos materiais e novos produtos na indústria automobilística. 2005.

ASHBY, M. F. *Materials Selection – The basics*. In: ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford: Elsevier, 2011.

BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARROS, G. Indústria automobilística investe na produção de peças “verdes”. *Plástico Industrial. Set.*, 2010.

BOTELHO, R. D. *Ecodesign e seleção de materiais como ferramentas para o transportation design – Estudo de processos*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. REDEMAT, 2003.

CANGEMI, J. M.; MARLI, A.; NETO, S. C. Poliuretano: De Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil. *Química e Sociedade*. Vol. 31, N° 3, AGOSTO 2009.

CARVALHO, V. A. *A influência do fator ambiental na decisão de compra de automóveis premium: um estudo com consumidores brasileiros*.

Dissertação do curso de mestrado em Sistema de Gestão, da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2006.

COLE, G. S.; SHERMAN, A. M. Lightweight Materials for Automotive Applications. Elsevier. Ford Motor Company, Dearborn. 1995.

D'ERRICO, F. Materials Selection by a Hybrid Multi-Criteria Approach. Milan: Springer, 2015.

DIAS, M. R. ; GONTIJO, L.A. Método Permutus para seleção de materiais. XXXI Encontro nacional de engenharia de produção (ENEGEP). Belo Horizonte, MG, Brasil, Outubro de 2011.

DUTRA, Heloisa Ponzo. O Contexto Éco-Design. P&D Design de 98, AEnD-BR, Estudos em Design. V. 2. 1998. P.771-780.

GORNI, A. A. Seleção de materiais para aplicações automotivas: competição ou simbiose? CINTEC – Congresso de Inovação Tecnológica – Fundação. 2012.

LUCHEZI, T. F. O Automóvel como Símbolo da Sociedade Contemporânea. Anais do VI Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul. Rio Grande do Sul, 2010.

LUEDEMANN, M. S. Transformações na indústria automobilística mundial: o caso do complexo automotivo no Brasil - 1990 – 2002. Universidade de São Paulo, 2003.

MARQUES, F. O.; MEIRELES, L.A. Tendências da reciclagem de materiais na indústria automobilística. CETEM/MCT – Centro de Tecnologia Mineral. Série Estudos e Documentos, 2006.

MEDINA, H. V.; GOMES, D. E. B. A indústria automobilística projetando para reciclagem. Cetem – Centro de Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro. Outubro, 2002.

MEDINA, H. V. de.; GOMES, D. E. B. Reciclagem de automóveis: estratégias, práticas e perspectivas. CETEM. Rio de Janeiro, 2003. (Série Tecnologia Ambiental).

MEDINA, H. V.; NAVEIRO, R.M. Materiais Avançados: Novos Produtos e Novos Processos na Indústria Automobilística. Produção. Belo Horizonte, Vol 8, N° 1, p.29-44. 1998.

MENOCIN, G.; YEN-TSANG, C.; MANZINIC, R.; ALMIDA, N. Sustentabilidade socioambiental: um estudo bibliométrico da evolução do conceito na área de gestão de operações. Scielo Brasil, 2011.

MIKHAILOVAL, I. Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. Revista Economia e Desenvolvimento, n° 16, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Ecodesign. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 20 set. 2016.

OLIVEIRA, Alfredo Jefferson de. Éco-Design e Designações Similares: diferenças e aproximações. Rio de Janeiro. P&D Design de 98 AEnDBR, Estudos em Design V. 2. 1998. P. 781-790.

ORSATO, R.J.; WELLS, P. The Automobile Industry and Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p. 989-993, 2007.

PATTEN, W. N.; SHA, S.; MO, C. A vibrational model of open celled polyurethane foam automotive seat cushions. Volume 217, October 1998, Pages 145-161.

PINHEIRO, M. S. M. Aplicação do poliuretano na fabricação dos pára-choques de automóveis. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. XVIII CREEM, Erechim. Novembro, 2011.

RIBEIRO, E.C.C. Reciclagem Química de Espumas de Poliuretano. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Fevereiro, 2010.

SANTINI, A ; HERRMANN, C.; LUGER, T.; MORSELLI, L. PASSARINI, F; VASSURA, I. Assessment of Ecodesign potential in reaching new recycling targets. *Resources, Conservation and Recycling* , v. 54, p. 1128-1134, 2010.

SOFTWARE CES EDUPACK 2017. Granta Material Intelligence. University of Cambridge.

SOUZA, K. R. Desafios ambientais na indústria automobilística: uma análise do processo de reciclagem e reutilização de materiais. UNESP - Faculdade de ciências e letras de Araraquara, Departamento de Economia. 2010.



STROPA, K.C. Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://www.revista.com.br/blog/karla-cristinastropagoulart/desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 10 jan, 2016, 19:20.

ZAH, R.; BRAUN, I.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L. Curauá fibers in the automobile industry e a sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p. 1032-1040, 2007.