

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UMA CAPOTA MARÍTIMA AUTOMOTIVA AUTOMOTIVE SOFT TONNEAU COVER LIFE CYCLE ASSESSMENT

Cristiane de Brito Rech* E-mail: crisbrech@gmail.com
Carla Eliana Todero Ritter* E-mail: cetodero@gmail.com

*Centro Universitário (UNIFTEC), Caxias do Sul, RS, Brasil

Resumo: A Avaliação do Ciclo de Vida do Produto é uma ferramenta de gestão ambiental utilizada para levantamento dos aspectos e impactos ambientais significativos de produtos, considerando não apenas seu processo produtivo. As entradas do sistema de produto, subsistemas envolvidos, saídas, utilização pelo cliente final e seu descarte são consideradas nessa avaliação. Nesta pesquisa foram estudados os requisitos das Normas ISO: NBR 14.040, 14.041 e 14.001 que regulamentam a aplicação desta ferramenta para avaliar os métodos utilizados na produção de uma capota marítima, bem como sua abrangência e limitações. Foi utilizado o software SimaPro para construir o inventário de ciclo de vida e, ao modelar, avaliar os impactos ambientais significativos durante o processo desde a extração da matéria-prima. O estudo permitiu identificar que as peças em alumínio por unidade produzidas apresentaram maior impacto na emissão de 71,7Kg de CO₂ eq, contribuindo com o efeito estufa. Quando houve a substituição das mesmas por nylon houve a redução de 30,74% na emissão de gás carbônico. Já a pegada de carbono G2G da capota equivale a 1,09 kg CO₂ apenas 2,65% do impacto gerado pela capota.

Palavras-chave: Meio ambiente. Gestão Ambiental, Sustentabilidade. Ciclo de Vida. Capota Marítima.

Abstract: Product Life Cycle Assessment is an Environmental Management tool used to survey significant environmental aspects and impacts of products, not only considering their production process. Product system inputs, subsystems involved and outputs until end-use and disposal are considered in this assessment. In this research we studied the requirements of ISO Standards: NBR 14.040, 14.041 and 14.001 that regulate the application of this tool to understand the methods used, as well as its scope and limitations. The SimaPro software was used to build the life cycle inventory and calculate the significant environmental impacts of an automotive soft tonneau cover produced in the southern region of Brazil. The study identified that the aluminum parts per unit produced had a greater impact on the emission of 71.7 kg of CO₂ eq, contributing to the greenhouse effect. When they were replaced by nylon, there was a 30.74% reduction in carbon dioxide emissions. The G2G carbon footprint of the hood is equivalent to 1.09 kg CO₂, only 2.65% of the impact generated by the soft tonneau cover.

Keywords: Environment. Environmental Management. Sustainability. Life Cycle. Soft Tonneau Cover.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do ciclo de vida do produto (ACV) é uma ferramenta de análise que expande a compreensão do sistema em que o produto está inserido a partir da

descrição e quantificação de suas entradas e saídas ao longo da vida do produto do berço ao túmulo: desde a extração da matéria-prima (berço), fabricação, uso, manutenção e o descarte no fim de sua vida útil (túmulo).

A metodologia de ACV se insere dentro de um pensamento de ciclo de vida como uma das abordagens essenciais na transição para uma economia verde. Existem muitas abordagens, programas e atividades que foram desenvolvidas para auxiliar na tomada de decisão em todos os níveis com relação ao desenvolvimento, produção, aquisição e descarte final de produtos (LIFE CYCLE INITIATIVE, 2020).

Para o entendimento da aplicação da metodologia de ACV, avaliou-se as regulações existentes da família ISO 14000, sobre a implementação e certificação de um sistema de gestão ambiental e as regulações específicas para o desenvolvimento do perfil ambiental de um produto. Nessas normas estão descritas a forma de conduzir a análise e os requisitos mínimos que devem ser atendidos para a sua correta aplicação.

A região da serra gaúcha se destaca como polo metalmecânico, produtora e fornecedora de equipamentos rodoviários para as empresas locais e montadoras do Brasil e América Latina. Um dos setores industriais que mais geram impactos ambientais é o de produção de veículos automotores e autopeças, tanto na fabricação quanto no uso dos veículos (EPA, 2020).

Assim, neste trabalho de pesquisa, o objeto estudado se enquadra dentro do mercado automotivo, seguindo as regras de sistemas de qualidade da ISO 14.001:2015 e da IATF 16494:2016, com todas as suas ferramentas implementadas e aprovadas. Por uma questão de ampliação do foco ambiental, seguindo a tendência global, este trabalho objetiva modelar o perfil de desempenho ambiental da capota marítima automotiva, utilizando a ferramenta de ACV conforme a metodologia normalizada na NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009).

Para tanto, foi utilizado um software de avaliação de ciclo de vida e o modelamento do ACV da capota foi detalhado neste estudo com todas as suas fases, conforme determina a norma. Desde a primeira etapa de definição do objetivo do estudo, escopo e delimitação do sistema, passando pelo inventário com a identificação e tratamento dos dados do produto tanto coletados quanto os disponíveis nas bibliotecas do programa.

Como objetivos complementares estão o levantamento e delimitação do sistema de produção da Capota Marítima, incluindo o conceito do berço ao túmulo da ferramenta ACV. A verificação da classificação dos impactos ambientais selecionados através das iterações realizadas por software, para realizar uma comparação dos Indicadores Ambientais dos processos produtivos com os resultados obtidos no inventário para validar ou propor ajustes a fim de melhorar o produto e processo de fabricação

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

O conceito de ciclo de vida de um produto está inserido numa visão ambiental e sistêmica. A produção de itens para consumo passou a ser analisada para que, além de lucro para as companhias, os produtos não sejam poluentes e seu processo de produção seja mais eficiente para evitar desperdícios e os seus riscos ambientais significativos controlados (JUNIOR, 2006).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas empregadas com o objetivo de incluir a questão ambiental no processo de gestão e tomada de decisão das organizações. A utilização desta técnica de análise foi iniciada nos anos 1970 e difundida nos anos seguintes na indústria de petróleo, fluidos lubrificantes e de embalagens. No Brasil, possui seu método próprio de aplicação normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nas normas NBR ISO 14040:2014 e NBR ISO 14044:2014. ABNT (2009)

Conforme a definição da norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), o ciclo de vida é visto como “estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto (ou serviço), desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração, a partir de recursos naturais até a disposição final”. Ou seja, baseia-se nos aspectos e impactos ambientais causados pela sua manufatura, desde a extração das matérias primas, processos produtivos utilizados e os resíduos gerados tanto pela indústria quanto pelo consumidor final.

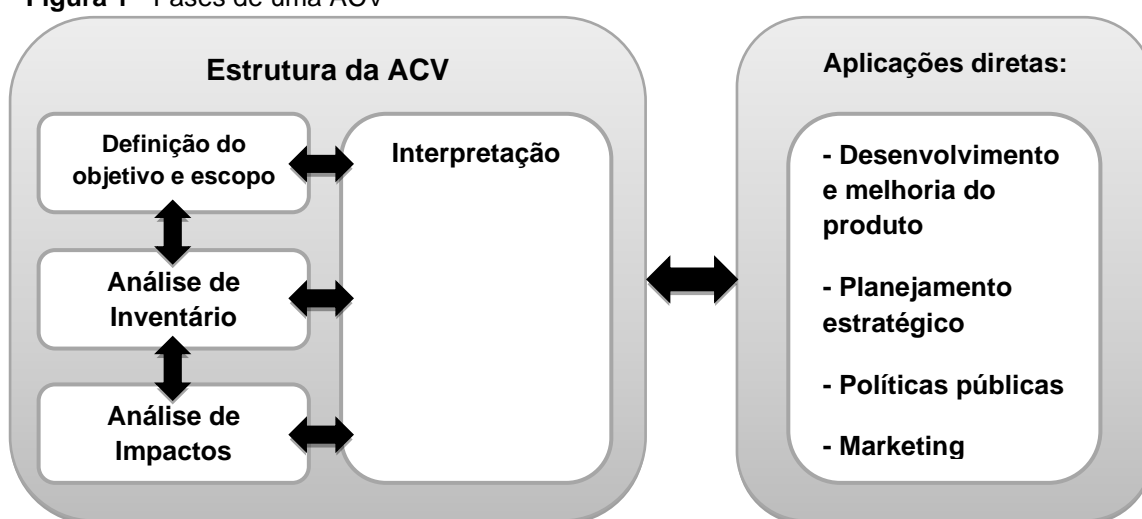
A ACV é realizada a partir da descrição e quantificação, quando possível, de todas as entradas e saídas de um produto, processo ou serviço ao longo de sua vida útil, considerando que toda entrada deve ser convertida em produto ou resíduo,

baseando-se nos princípios da conservação da massa e da energia. (BRAGA *et al.*, 2005). Em resumo, esta avaliação é feita pela identificação quantitativa das entradas de recursos materiais e energéticos e saídas dos rejeitos ao longo do ciclo, seguida pela avaliação quantitativa dos impactos ambientais associados a essas entradas e saídas.

Para a descrição dos sistemas se faz necessária a realização de balanços de massa e energia para se determinar a geração de emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. Por este motivo, alguns pesquisadores referem-se ao trabalho como uma análise dos recursos e perfis ambientais, e com esta ferramenta pode-se avaliar e tomar decisões gerenciais de forma a contribuir para a melhoria e conservação do meio ambiente (KBA, 2000).

A ACV é dividida, conforme a série de normas NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009), em quatro etapas distintas (Figura 1), numa relação iterativa onde um alimenta o outro conforme o estudo vai sendo desenvolvido.

Figura 1 - Fases de uma ACV



Fonte: ISO 14040:2009

Na primeira fase, a definição do escopo e a limitação das fronteiras do sistema da ACV deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes, para atingir os objetivos pretendidos. (ABNT, 2009).

Nesta etapa também devem ser definidos outros aspectos do desenvolvimento da ACV como função e unidade funcional do sistema, fluxo de

referência, fontes de dados, definição das restrições do estudo, os requisitos da qualidade dos dados como o período de tempo, área geográfica e tecnologias cobertas, incerteza da informação.

A análise de inventário é a etapa mais complexa da ACV, pois envolve toda a parte de coleta de dados e procedimentos de cálculo. Nela são quantificadas todas as entradas e saídas do sistema, sejam elas: massa, energia, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos e/ou outros. (ABNT, 2009)

Segundo Ferreira (2004), esta etapa é iterativa, pois, à medida que os dados são obtidos, percebe-se a necessidade de outros dados ou identificam-se novas limitações que às vezes demandam modificações nos procedimentos de coleta de dados para que os objetivos já estabelecidos sejam alcançados.

Após a sua coleta, os dados devem ser tratados de forma a permitir a sua operacionalização, enfim, é preciso manipulá-los para fins de obter resultados para cada uma das unidades de processo. O resultado desse tratamento de dados é basicamente uma tabela contendo os valores agregados dos aspectos ambientais em relação a uma quantidade de produto denominada unidade funcional. A partir dessa tabela pode ser feita a avaliação dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida do produto estudado (JUNIOR, 2006).

Estes procedimentos de cálculo da ACV podem ser bastante elaborados e, para auxiliar nesta prática, foram desenvolvidos alguns programas computacionais que auxiliam a conduzir esta atividade. Os softwares permitem a modelagem e análise dos dados e contam com uma completa base de dados de inventário. Neste trabalho foi utilizado o SimaPro, software desenvolvido pela Pré Consultants, Holanda. Este programa possui vários métodos de avaliação de impacto e bancos de dados que podem ser editados e ampliados sem limitação.

Os estudos de caso automotivo, que servem de modelo de ACV para o presente estudo, utilizaram dois dos softwares com mais usuários no mundo. No ACV de quinta-roda realizado por D'Agostini (2010) foi utilizado o SimaPro na versão 7.1, e o modelo de análise foi o Eco-indicador 95 (EI'95). Já na análise realizada por Lopes Silva (2017) nas válvulas de escape, foi utilizado o GaBi 6.5, sendo que os dados referentes à realidade geopolítica europeia foram adotados devido à indisponibilidade das respectivas informações para o caso do Brasil.

A etapa de análise de impactos, segundo Junior (2006), consiste no exame do sistema de produto a partir dos dados levantados no inventário. É um processo quantitativo e/ou qualitativo para classificar, caracterizar e analisar os efeitos das interações ambientais identificadas na etapa anterior.

Na etapa de interpretação devem ser indicadas maneiras de melhorar o desempenho ambiental do produto ou serviço, baseadas na interpretação das potencialidades e restrições detectadas nas etapas anteriores. Em suma, esta etapa envolve a exposição das conclusões e recomendações do estudo (ABNT, 2009).

Os resultados da ACV devem ser relatados à audiência a que se dedica de forma transparente e exata em forma de relatório para permitir ao leitor compreender as complexidades do estudo e ainda permitir que os resultados e a interpretação sejam usados de modo consistente com os objetivos definidos na primeira etapa (ABNT, 2009).

Os resultados fornecidos devem ser consistentes com o objetivo inicial. Na interpretação, é possível comprovar a confiabilidade do estudo e dos dados selecionados, obtendo um relatório preciso e satisfatório, com indicações e recomendações claras. Porém, no relatório também devem estar descritas as limitações que foram encontradas ao longo do estudo e como foram solucionadas.

2.2 Materiais e Métodos

Neste projeto, realizou-se a pesquisa aplicada quanti-qualitativa, pois através da ferramenta de ACV serão identificados, analisados e interpretados dados numéricos sobre o produto-objeto. Assim como a pesquisa aplicada, o estudo de caso se configura como um método que abrange o planejamento, construção e análise de dados, a fim de investigar um fenômeno dentro do seu contexto, respondendo a perguntas como e por quê para a solução dos problemas definidos. Os estudos de caso permitem um conhecimento amplo e detalhado a respeito dos objetos estudados (YIN, 2015).

Quanto a abordagem, foi utilizado o sistema ILCD (International Reference Life Cycle Data) "... que oferece orientações técnicas para o desenvolvimento de estudos detalhados de Avaliações de Ciclo de Vida (ACV) e uma base técnica

específica de critérios, guias e ferramentas simplificadas para diferentes produtos” (IBICT, 2014, p.8).

O princípio de modelagem utilizado neste ACV foi atribucional, o que significa que o modelo de ciclo de vida representa a cadeia de abastecimento real ou prevista, específica ou média, e também sua cadeia de valor de uso e fim de vida. O sistema existente ou previsto é incorporado a uma tecnosfera estática. Este é o modelo indicado no ILCD para ACVs da situação A, que se referem tipicamente a questões relacionadas a produtos e as decisões no nível micro. Dessa forma, para estudos atribucionais desenvolvidos com base no estágio de uso de produtos de consumo, o sistema de primeiro plano seria o uso do produto e a seleção da gestão de resíduos inicial.

O produto analisado neste trabalho, uma capota marítima automotiva, é um acessório produzido em uma empresa de Flores da Cunha com certificações IATF 16949:2016 e ISO 14.001:2015. Mesmo já sendo produzida em conformidade com estas normas, utilizando as ferramentas dos sistemas de gestão tanto ambiental quanto automotivo, a ampliação do sistema da capota marítima para análise de ciclo de vida ainda não havia sido realizada.

O item é instalado sobre a caçamba de picapes leves e pesadas para proteção da carga e do veículo. O modelo escolhido para análise é composto por estrutura de perfis de alumínio extrudado e cobertura de lona de vinil (PVC) com forro interno de poliéster trançado. Conta ainda com cantoneiras de nylon estrutural e sistema de abertura e fechamento com travas de alumínio injetado. (Figura 2)

Figura 2 - Capota Marítima



Fonte: [http:// keko.com.br](http://keko.com.br) (2020).

Como a finalidade da capota marítima é garantir a proteção dos objetos transportados na caçamba das picapes, os componentes são projetados com o propósito de criar um modelo de alta resistência, praticidade e rapidez no manuseio. Para fins da realização da ACV, foi delimitado um dos modelos de capota marítima representativo para os balanços de massa e energia necessários. Mas o estudo pode representar o perfil ambiental de todos os modelos que utilizarem os mesmos materiais e processos e forem produzidos nas mesmas instalações.

Quadro 1 - Produto, Função, Unidade Funcional e Fluxo de Referência

Produto	Função	Unidade Funcional	Fluxo de Referência
Capota Marítima de lona de vinil com estrutura de alumínio	Proteger carga e interior da caçamba do veículo	Uma capota instalada por 3 anos em picape pesada movida à diesel.	A produção de uma capota marítima do modelo caracterizado.

Fonte: elaborado pelas autoras.

Para a fabricação da capota marítima são utilizados processos de fabricação de baixa complexidade e empregados em grande escala na indústria metal mecânica, como: corte de perfis e travessas em serra-fita, injeção dos componentes poliméricos, calandrar perfis e travessas, corte e costura das lonas, montagem e embalagem dos componentes.

A extração das matérias primas e sua transformação também possuem seus processos produtivos, mas nesta avaliação por delimitação do tempo e recursos estes processos realizados por terceiros não foram caracterizados detalhadamente. Isso se faz necessário para redução da extensão dos processos avaliados sem comprometer o objetivo do estudo ou o entendimento geral do processo e seus impactos. O mesmo ocorre com os processos das matérias primas de uso direto, que são muitas e variadas na capota marítima.

Na fase de inventário foram utilizados os fluxos e listas de materiais levantados previamente na caracterização do produto e do processo. Dados complementares necessários foram coletados na empresa quando possível, ou buscados em fontes de literatura ou bancos de dados disponíveis.

Os dados coletados para a realização das análises foram tanto primários como secundários. Os dados referentes a manufatura do produto são primários, uma vez que estão disponíveis nos documentos de projeto e produção da empresa e podem ser verificados e contabilizados nos registros fabris. Já as informações

referentes aos ciclos da energia, água, materiais e matérias primas de terceiros, combustíveis e consumíveis são secundários, uma vez que foram utilizados os bancos de dados disponíveis no *software* de modelagem.

2.3 Avaliação de Ciclo de Vida

2.3.1 Definição de Objetivo e Escopo

A aplicação da ferramenta de ACV neste projeto teve como objetivo a análise dos impactos ambientais mais relevantes ao longo do ciclo de vida da capota marítima definida.

O público-alvo deste projeto foi a própria empresa, que pode utilizar os resultados apresentados para tomada de decisões, revisão de indicadores ambientais, controles operacionais e ações de melhoria nos seus produtos e processos. Além disso, a sistematização dos dados do inventário deste projeto pode ser utilizada em demais desenvolvimentos de produtos ou processos que envolvam análises preliminares das variáveis ambientais dos mesmos materiais aqui analisados.

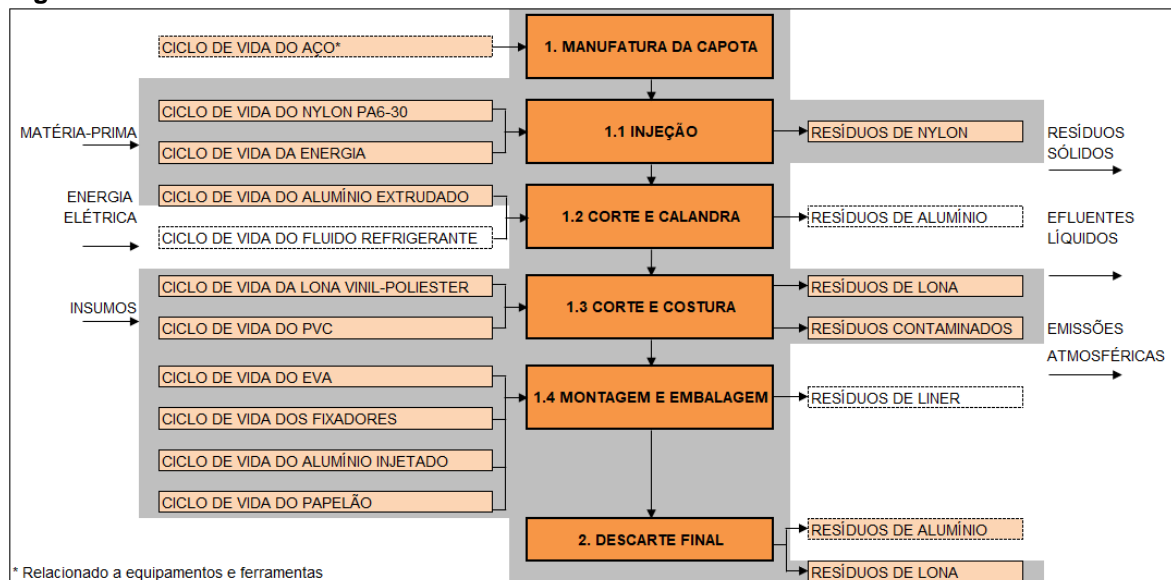
Para a definição das fronteiras do sistema foram considerados os ciclos dos materiais que compõem o volume de massa principal da capota, seus impactos de extração e produção. Assim como a definição das matérias primas e seus fornecedores, os processos internos de produção também foram considerados, pois estão dentro do controle e gerenciamento da empresa e representam os principais pontos de ação e melhoria nos impactos causados ao meio ambiente.

Na etapa de uso da capota marítima, a utilização do veículo e a inclusão da queima de combustível no ciclo de vida da capota representou mais de 98% de impacto na categoria de aquecimento global, o que acabou distorcendo o resultado, já que a etapa de manufatura não teve participação nos gráficos. Em razão disso, esta etapa não foi incluída no sistema.

Na figura 3, seguindo o modelo preconizado pela ISO 14.044, as fronteiras são definidas através do plano de fundo cinza, ou seja, todos os subsistemas sombreados na figura foram incluídos no cálculo deste ACV. Os demais ciclos não foram contabilizados pelas limitações elencadas no modelamento, sejam falta de

recursos de dados primários ou secundários, sejam restrições de contribuição percentual do ciclo excluído.

Figura 3 - Fronteiras do Sistema



Fonte: elaborado pelas autoras.

2.3.2 Inventário de Ciclo de Vida - ICV

Nesta etapa do estudo de ACV foram realizados os balanços de massa e energia preliminares dos processos de produção interna, preparação dos dados coletados, modelamento dos fluxos no software SimaPro com as definições dos bancos de dados e posterior cálculo do inventário. Em seguida, para a verificação dos impactos ambientais, a caracterização e a classificação foram calculadas pelas iterações modeladas e apresentados os gráficos gerados pelo programa.

O agrupamento dos materiais se fez importante para o balanço de massa, além de definir um critério de corte de alguns materiais para simplificar a etapa de modelamento. Os materiais que representam menos de 1% foram excluídos, com exceção do nylon 6-30 que é injetado na empresa. A embalagem foi incluída no cálculo, pois sua massa e impacto são representativos no produto.

Foi possível verificar que a estrutura da capota em alumínio, tanto extrudado (41,21%) quanto injetado (10,25%) representou uma massa majoritária na análise. A produção dos materiais de alumínio possui processos de extração e produção complexos e de alto custo ambiental e pode-se esperar que em decorrência disso, os impactos no ACV da capota também o sejam.

Em seguida, a lona e demais componentes de PVC contribuem com 27,18%. Neste percentual está considerado apenas o peso líquido dos materiais, mas os resíduos do processo de corte e montagem do conjunto são altos, chegando a 18% de perda somente na capota estudada.

Os resíduos de lona representam um volume significativo no processo de corte. Este é um resíduo difícil de reciclar por ter dois tipos de polímeros que não podem ser separados na sua composição: PVC (policloreto de vinila) e poliéster. O PVC é um dos polímeros que apresentam maior risco poluente, por gerar organoclorados tóxicos e persistentes, além de outros compostos nocivos como as dioxinas e ftalatos (plastificantes) (E-cycle, 2020).

Como a incineração deste material não é permitida por liberar os organoclorados na atmosfera, as opções de rotas tecnológicas para descarte são a reciclagem (utilização do material para produção de outros itens) ou a disposição em aterro sanitário, o que acarreta um valor financeiro e ambiental significativo. No ano de 2019, a empresa em estudo enviou 43 toneladas de resíduo de lona para aterro, o que corresponde a 215 m³ do material.

Em seguida, foram calculados os balanços de energia dos processos com os dados primários coletados na documentação, bem como os balanços de massa com as perdas de processo (Tabela 1) com os valores agrupados por processo e por tipo de material.

Tabela 1 - Balanço de Massa e Energia Processos Internos

	Entrada	Unidade	Qt/capota	Produto	Resíduo
Corte perfis	Al 6063	Kg	4,15850	3,98000	0,17850
	Energia	KWh	0,05100	-	-
	Lona	Kg	2,38580	1,95760	0,42820
Corte e costura	PVC	Kg	0,63380	0,60540	0,02840
	EPDM	Kg	0,11900	0,11220	0,00680
	Energia	KWh	9,09010	-	-
	Pa6-30	Kg	0,15232	0,09240	0,05992
Injeção pa6-30	Energia	KWh	0,25592	-	-
	Água	m ³	0,00025	-	-
	Sae 305	Kg	0,98800	0,98800	-
Montagem	EVA	Kg	0,12400	0,12400	-
	Fixadores	Kg	0,26600	0,26600	-

Fonte: elaborado pelas autoras.

Para os dados secundários referentes aos materiais comprados e processos externos à empresa foram utilizados bancos de dados de inventário disponíveis no software para realizar o modelamento e cálculo deste ACV.

Nem todos os materiais e processos da capota estão contemplados nas bibliotecas existentes, ou bancos de dados nacionais. Isso gerou a necessidade de adaptação dos bancos de dados para realização da análise. Conforme Chiumento (2016), a adaptação é uma alternativa que permite se valer dos dados dos bancos para outros processos, uma vez que o desenvolvimento e coleta para o um banco de dados consolidado exige investimentos em tempo, recursos e capacitação técnica nem sempre disponíveis para os ACVs brasileiros.

No quadro 2 estão relacionados os materiais e suas descrições nos bancos de dados utilizados neste ACV, para facilitar a identificação dos mesmos nos relatórios de análise gerados pelo SimaPro.

Quadro 2 - Descrição dos Bancos de Dados

Material/Processo	Descrição - Banco de Dados Ecoinvent
PVC lona	<i>Polyvinylchloride, bulk polymerised {RoW} Cut-off, U</i>
Trama de Poliéster	<i>Fibre, polyester {RoW} polyester fibre production, finished Cut-off, U</i>
Plastificante	<i>Isophthalic acid based unsaturated polyester resin {RoW} production Cut-off, U</i>
Calandra	<i>Calendering, rigid sheets {BR} calendering, rigid sheets Cut-off, U</i>
Perfil de Alumínio Extrudado	<i>Section bar extrusion, aluminium {RoW} processing BR Cut-off, U</i>
Travas Alumínio Injetado	<i>Casting, aluminium {RoW} processing BR Cut-off, U</i>
Injeção PA6-30	<i>Injection moulding {RoW} processing PA6, glass filled Cut-off, U</i>
Fixadores	<i>Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, U</i>
EVA's	<i>Polystyrene, expandable {RoW} production Cut-off, U</i>
Mangueiras PVC	<i>Polyvinylidenechloride, granulate {RoW} market Cut-off, U</i>
Caixa de Papelão	<i>Corrugated board box {RoW} market Cut-off, U</i>
Transporte	<i>Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro3 {RoW} Cut-off, U</i>
Coleta Municipal - aterro	<i>Municipal solid waste (waste scenario) {RoW} Treatment, landfill Cut-off, U</i>
Descarte de embalagem	<i>Packaging waste (waste scenario) {US} treatment of packaging waste Cut-off, U</i>

Fonte: elaborado pela autora.

A etapa seguinte para proceder o cálculo do inventário foi a escolha do método de caracterização dos impactos ambientais e sua configuração no SimaPro. Dentro das opções do programa, algumas foram testadas nas iterações iniciais para teste de sensibilidade, comparação das categorias e valores gerados. Os métodos mais utilizados são o ReCiPe (midpoint e endpoint), que é global, e o IMPACT 2002+

que é uma combinação de quatro métodos: IMPACT 2002, Eco-indicator 99, CML e IPCC.

As categorias, descrições e organização do método IMPACT 2002+ facilitam o entendimento para o usuário e conseqüentemente para o público alvo deste estudo de caso. Também foi levado em consideração os métodos utilizados nos ACVs automotivos que serviram de referência para este projeto. Assim, o IMPACT 2002+ foi o método escolhido para realização dos cálculos de ICV e AICV, por se basear amplamente no Eco-indicator 99.

2.3.3 Avaliação de Impactos de Ciclo de Vida - AICV

Com base nos inventários calculados no SimaPro pela rede de materiais e processos modelados previamente, foi gerada uma tabela que correlaciona os impactos caracterizados pelo método com as suas quantidades de unidades equivalentes. No quadro 3 são apresentados os valores totais de cada impacto e para cada ciclo de vida que compõem a capota marítima conforme definido no diagrama de rede.

Quadro 3 - Caracterização de Impactos Ambientais

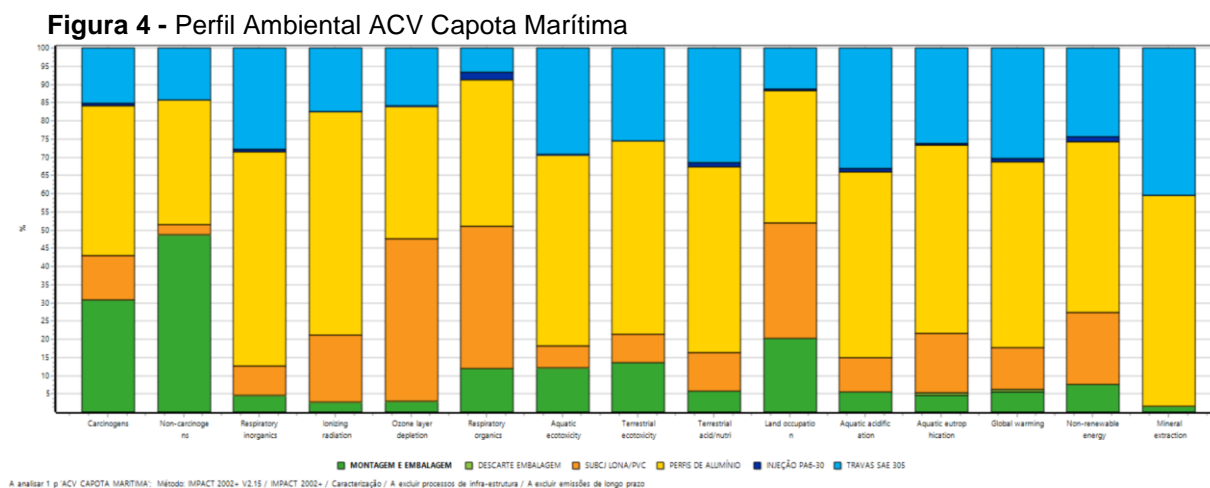
Categoria de impacte	Unidade	Total	MONTAGEM E EMBALAGEM	DESCARTE EMBALAGEM	SUBCJ LONA/PVC	PERFIS DE ALUMÍNIO	INJEÇÃO PA6-30	TRAVAS SAE 305
Carcinogens	kg C2H3Cl eq	2,96	0,91	0,0013	0,36	1,21	0,0239	0,448
Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	8,43	4,1	0,00936	0,226	2,89	0,00393	1,21
Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,11	0,00486	6,2E-5	0,00884	0,0648	0,000554	0,0306
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	149	3,88	0,106	27,6	91,3	0,167	25,9
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	4,44E-6	1,26E-7	2,05E-9	1,99E-6	1,61E-6	7,73E-9	7,04E-7
Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,0248	0,00297	1,02E-5	0,00965	0,01	0,000465	0,00168
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1,59E4	1,9E3	19	984	8,32E3	37,1	4,63E3
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	3,45E3	466	0,563	268	1,84E3	4,71	879
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	1,28	0,0732	0,00127	0,133	0,653	0,0129	0,403
Land occupation	m2org.arable	1,03	0,207	0,00186	0,326	0,373	0,00355	0,117
Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,387	0,0214	0,000324	0,0362	0,198	0,00352	0,128
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00941	0,000431	6,04E-5	0,00155	0,00486	4,64E-5	0,00246
Global warming	kg CO2 eq	71,7	4,02	0,427	8,25	36,5	0,789	21,7
Non-renewable energy	MJ primary	940	71,1	0,281	185	441	13,5	229
Mineral extraction	MJ surplus	8,24	0,129	2,17E-5	0,00396	4,77	0,000106	3,34

Fonte: SimaPro 9.0.

Cada categoria de impacto é independente, mas pode-se realizar comparações dos impactos dos componentes em cada categoria. Os valores das unidades equivalentes de cada categoria de impacto não podem ser comparados entre si. Assim, é incorreto considerar 940 MJ primary, de energias não renováveis, superior a 8,24 MJ surplus, equivalente ao impacto de extração mineral.

Mesmo categorias que possuem mesma unidade equivalente, como no caso da ecotoxicidade terrestre e aquática, que são medidas pela massa de TEG (trietileno glicol) no solo e na água, não podem ser comparadas entre si diretamente. Não se pode afirmar que pelos valores destas categorias estarem na casa dos milhares, o impacto ambiental seja maior do que da categoria de depleção da camada de ozônio, por exemplo, que apresenta quantidade de CFC (cloro flúor carboneto) de 0,00044 kg.

A partir dos valores calculados no quadro 3, é gerada a figura 4 que representa o perfil ambiental da capota marítima em porcentagem por ciclo de vida para poder comparar visualmente a contribuição de cada um com cores definidas na legenda abaixo do gráfico.



Fonte: SimaPro 9.0.

O valor grifado de 71,7 kg CO₂ eq (Quadro 3) na linha do impacto de aquecimento global (Global Warming) representa a pegada de carbono total da capota marítima modelada neste estudo. Destes, 81,17% são consequência dos itens de alumínio, perfis extrudados e travas.

Em uma iteração prévia que foi realizada, considerando a utilização do veículo por um ano (15.000 km), o valor da pegada de carbono foi de 4.200 kg CO₂ eq. Também por isso não foi considerada a etapa de uso, uma vez que distorceria o objetivo do estudo de avaliar o ciclo de vida da capota marítima com seus impactos de produção e descarte.

Os materiais de alumínio representam mais da metade dos impactos potenciais caracterizados devido a sua representatividade tanto no balanço de

massa, quanto pela extração da matéria prima alumínio e seu processamento serem altamente poluentes e agressivos ao meio ambiente. Porém esses valores altos são gerados antes do processo de produção da capota, nas plantas dos fornecedores que fazem a extrusão dos perfis de alumínio e na injeção sob pressão das travas.

O mesmo ocorre com o subconjunto lona, cuja contribuição reflete o consumo dos materiais e processamento da lona no fornecedor. O subconjunto lona vem na sequência da participação nos impactos, bem como na contribuição do balanço de massa. Seus maiores impactos são nas categorias de *ozone layer depletion* (camada de ozônio), *respiratory organics* (particulados orgânicos) e *land use* (uso da terra) devido ao alto consumo de PVC.

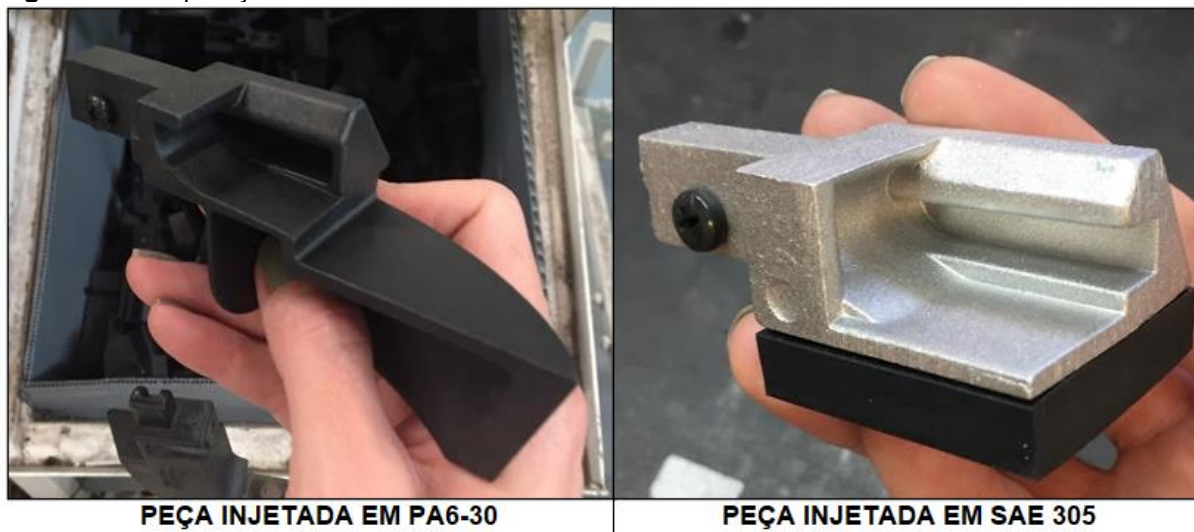
No item Montagem e Embalagem analisado estão agrupados os fixadores, mangueiras de PVC e espumas expandidas além da caixa de papelão. Este mix de itens apresentou baixos valores em todos os impactos, mas se destacou na categoria NC (*Non Carcinogenics*), com 48,63% dos impactos. Nesta parcela, 0,541 Kg dos itens de PVC representa 77,2%, enquanto a caixa de papelão de 1,5 Kg contribui apenas com 1,4%.

Com os dados modelados dessa maneira, os resultados permitiram a verificação do impacto dos materiais antes da entrada nos portões da fábrica e uma análise com foco na cadeia de valor dos itens que compõem o produto capota marítima. Alterações nos itens que mais impactam ambientalmente poderiam ser sugeridas para melhorar o desempenho ambiental da mesma.

O alumínio utilizado nas travas poderia ser substituído por nylon com fibra. Devido a sua excelente resistência mecânica e ao envelhecimento natural, boa resistência ao impacto e à fadiga, a poliamida está entre os plásticos de engenharia que mais se destacam na indústria automobilística (WIEBECK, 2005).

Em um desenvolvimento recente, a empresa realizou a substituição do material nas multitravas superior e inferior por poliamida para um modelo de capota produzido sob encomenda para veículo de outra montadora. A função a que se destinam e as geometrias das peças são muito semelhantes (Figura 5). As travas plásticas foram testadas e aprovadas nas validações de laboratório, bancada e de rodagem solicitados pelo cliente. Os relatórios dos ensaios realizados não foram disponibilizados para o presente estudo por serem de propriedade do cliente que encomendou o projeto citado.

Figura 5 - Comparação de Materiais Multitravas



PEÇA INJETADA EM PA6-30

PEÇA INJETADA EM SAE 305

Fonte: linha de produção (outubro, 2020)

Para verificar a ocorrência de ganho ambiental dessa substituição, o material das travas de alumínio da capota marítima foi substituído por PA6-30 no software para comparar os dois produtos e assim, a existência de diferença nos impactos e se realmente ocorre redução nos mesmos (Quadro 4).

Quadro 4 - Caracterização Travas PA6-30

Sel	Categoria de impacte	Unidade	Totalt	MONTAGEM E EMBALAGEM	DESCARTE EMBALAGEM	SUBCJ LONA/PVC	PERFIS DE ALUMÍNIO	INJEÇÃO PA6-30
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	2,61	0,91	0,0013	0,36	1,21	0,126
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	7,24	4,1	0,00936	0,226	2,89	0,0207
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,0815	0,00486	6,2E-5	0,00884	0,0648	0,00292
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	124	3,88	0,106	27,6	91,3	0,882
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	3,77E-6	1,26E-7	2,05E-9	1,99E-6	1,61E-6	4,08E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,0251	0,00297	1,02E-5	0,00965	0,01	0,00245
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1,14E4	1,9E3	19	984	8,32E3	195
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	2,6E3	466	0,563	268	1,84E3	24,8
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0,929	0,0732	0,00127	0,133	0,653	0,068
<input checked="" type="checkbox"/>	Land occupation	m2org.arable	0,926	0,207	0,00186	0,326	0,373	0,0187
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,274	0,0214	0,000324	0,0362	0,198	0,0186
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00715	0,000431	6,04E-5	0,00155	0,00486	0,000245
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	53,4	4,02	0,427	8,25	36,5	4,16
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable energy	MJ primary	769	71,1	0,281	185	441	71,3
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral extraction	MJ surplus	4,9	0,129	2,17E-5	0,00396	4,77	0,000559

Fonte: SimaPro 9.0.

Os valores gerados no software indicam que a substituição reduz os impactos gerados e a pegada do carbono da capota marítima seria reduzida de 77,1 para 53,4 kg CO2 eq, uma diminuição considerável de 30,74 %. Na categoria de energias não renováveis, a redução verificada de foi 18,2%, reduzindo o impacto de 940 MJ para 769 MJ primary.

Para poder analisar os processos internos de produção foi realizada uma iteração G2G – Gate to Gate, ou seja, de portão a portão. Dessa forma a análise permitiu verificar quais dos processos e resíduos gerados em primeiro plano mais impactam na produção da capota e tomar ações pontuais.

Os processos analisados foram os descritos no diagrama de rede G2G da capota marítima, corte e costura do conjunto lona, injeção das peças plásticas e corte dos perfis de alumínio.

Estes processos internos já estavam modelados no ACV completo calculado anteriormente, porém devido a sua baixa contribuição nos impactos ambientais quando comparados aos da matéria prima, acabavam ficando imperceptíveis no inventário gerado. A pegada de carbono G2G da capota equivale a 1,09 kg CO₂ (Quadro 6), apenas 2,65% do impacto gerado pela capota conforme calculado no Quadro 3.

Quadro 5 - Caracterização Impactos G2G Capota Marítima

Sel	Categoria de impacto /	Unidade	Totalt	INJEÇÃO NYLON 6-30	CORTE E COSTURA LONA	CORTE DE PERFIS AL
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,024	0,00287	0,0206	0,000518
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0,0229	0,000472	0,0217	0,000708
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,00155	6,64E-5	0,00145	3,72E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	3,48	0,0201	3,38	0,0873
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	4,2E-8	9,28E-10	3,99E-8	1,18E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,00043	5,58E-5	0,000368	9,53E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	118	4,45	106	8,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	42,3	0,565	40,7	1,04
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0,0324	0,00155	0,0301	0,000764
<input checked="" type="checkbox"/>	Land occupation	m ² org.arable	0,265	0,000426	0,259	0,00622
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic acidification	kg SO2 eq	0,00869	0,000423	0,00807	0,000196
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,00014	5,57E-6	0,000134	3,23E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	1,09	0,0947	0,976	0,0238
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable energy	MJ primary	11,1	1,62	9,21	0,236
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral extraction	MJ surplus	0,00039	1,27E-5	0,000376	9,52E-6

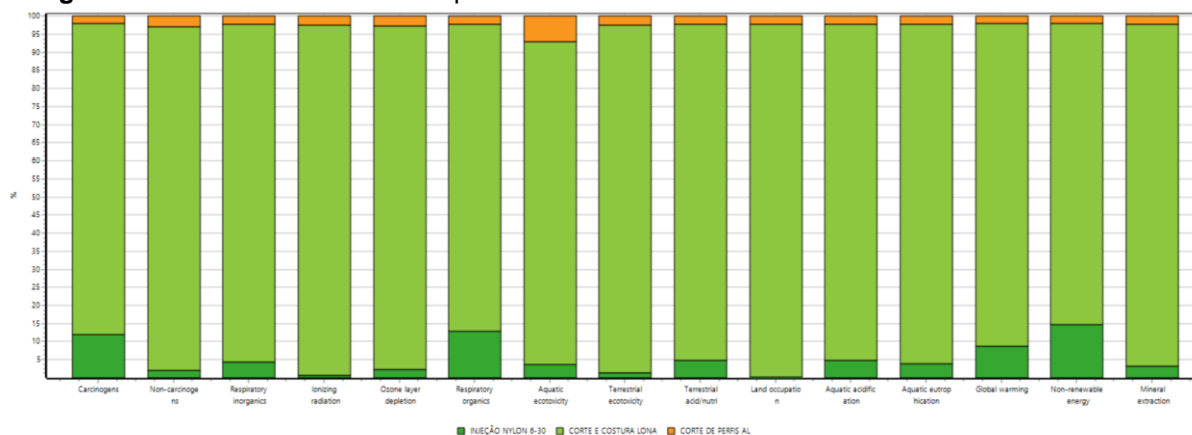
Fonte: SimaPro 9.0.

Pelos gráficos calculados no SimaPro (Figura 6 e 7), o processo de corte e costura da lona se confirma como principal gerador de impactos ambientais. Na categoria de energia não renovável este processo corresponde a 82,97% do impacto. Confirmando o verificado no balanço energético (Tabela 1), como o processo que mais consome tempo e energia elétrica para sua produção.

Assim como no perfil ambiental da capota com os materiais (Quadro 3), as categorias de impacto de ecotoxicidade aquática e terrestre (*Aquatic e Terrestrial*

Ecotoxicity) apresentam os valores mais elevados., e também representam o impacto da geração da energia na matriz sul-brasileira do banco de dados utilizado.

Figura 7 - Perfil Ambiental G2G Capota Marítima



A análise 1 p. 100 CAPOTA MARÍTIMA: Método IMPACT 2002+ V2.15 // IMPACT 2002+ / Caracterização / A emitir processos de infra-estrutura / A emitir emissões de longo prazo

Fonte: SimaPro 9.0.

2.3.4 Interpretação

Este estudo de ACV apresentou vários níveis de avaliação de ciclo de vida, passando do nível macro incluindo todas etapas com uso, depois com as matérias primas e processos e por fim, apenas as etapas produtivas realizadas na empresa. Isso se fez necessário para poder focalizar as análises cada vez mais no detalhe, a fim de atingir o objetivo definido na primeira fase.

As limitações encontradas na utilização da ferramenta se deram pela disponibilidade dos dados, seja pela coleta dos dados secundários dos fornecedores ou pela falta de bancos de dados regionais. Os graus de incerteza dos dados utilizados calculada são de 20,25% (indicador de 1,2025) na Matriz *Pedigree*.

Outras dificuldades encontradas com os bancos de dados também são compartilhadas com outros pesquisadores em estudos de ACV brasileiros: escassez de informações e de inventários, gestão das incertezas dos dados de inventário e qualidade dos dados (SILVA, 2016).

Apesar das limitações e incertezas, as iterações geradas no estudo dos impactos do ciclo de vida da capota marítima, permitiu compreender melhor quais os pontos ambientalmente relevantes para poder sugerir alterações que gerem melhorias nos hot-spots ambientais do produto.

O peso e importância dos materiais comprados ficou evidente na apresentação dos gráficos, especialmente os de alumínio. A escolha dos materiais e da cadeia de fornecedores ganham destaque no gerenciamento ambiental do produto. Seja substituindo materiais ou exigindo certificações ambientais dos mesmos.

3 CONSIDERAÇÕES

A utilização da ferramenta de ACV demonstrou ser muito prática para comparação de materiais e poderia ser utilizado nas entradas de projeto para escolha de materiais mais ecológicos. Uma vez que os produtos e processos estivessem todos parametrizados, poderiam ser criadas bibliotecas de bancos de dados com informações regionais e especificidades dos produtos e suas funções, facilitando a inclusão de novos itens e a sua comparação entre si e com itens de concorrentes.

A substituição das travas de alumínio por peças similares de nylon realizada pela ferramenta de ACV, além de ser apresentar menor impacto ambiental (redução de 30,74% na categoria de aquecimento global do produto), representaria uma redução de custo para a empresa. O que dificulta esta alteração são os valores de investimento iniciais necessários para construção de novos ferramentais e testes de validação. Para novos produtos, entretanto, essa possibilidade deveria ser considerada nos dados de entrada de novas capotas desenvolvidas pela empresa.

Dos processos internos de produção da capota marítima, o de corte e costura foi o que apresentou impacto ambiental mais significativo na avaliação de ciclo de vida realizada. Uma das ações de melhoria que poderia ser proposta para redução do resíduo de lona gerado no processo de corte está sendo implementada na empresa desde setembro de 2020. Trata-se do aproveitamento dos retalhos gerados para confecção de tiras de lona utilizadas como debrum no acabamento do subconjunto lona.

Como sugestão de trabalhos futuros fica a ampliação do estudo da ABNT ISO/TS 14067:2015, que dispõe sobre requisitos e orientações sobre quantificação e comunicação dos gases de efeito estufa e pegada de carbono de produtos. O tema surgiu durante a etapa de avaliação de impactos e representa um campo de

rotulagem ambiental que não foi contemplada na fundamentação teórica pesquisada inicialmente.

Outra alternativa seria a realização de outros ACVs na empresa, utilizando o banco nacional de inventários de Ciclo de Vida (SICV Brasil) e contribuindo para inclusão de dados de produtos nacionais. O SICV Brasil é vinculado ao IBCT, e consiste num sistema gerenciador de bases de dados que visa um conjunto consolidado dos inventários brasileiros. O que implica diretamente no aumento da competitividade da indústria nacional e a um melhor desempenho ambiental de produtos e serviços.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040**: Gestão ambiental: análise do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.044**: Gestão Ambiental: análise do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARBIERI, José Carlos; **Gestão ambiental empresarial**: conceitos, modelos e instrumentos. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

CHIUMENTO, Giovanna. **Priorização de processos elementares e adaptação de bases de dados de inventários de ciclo de vida (ICVs)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.

DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

D'AGOSTINI, Marina. **Projeto de melhorias ambientais identificadas através da aplicação da ferramenta de análise de ciclo de vida de uma quinta-roda**. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, RS, 2010.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

JUNIOR, Alcir Vilela. DEMAJOROVIC, Jacques. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental**: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: SENAC São Paulo, 2006.

UGAYA, Cássia Maria Lie. **Análise de ciclo de vida**: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2001.

União Europeia. **Manual do sistema ILCD : sistema internacional de referência de dados do ciclo de produtos e processos** : guia geral para avaliações do ciclo de vida : orientações detalhadas. Brasília: IBICT, 2014.

UNEP - Un Environment Programme, 2020. Disponível em: <http://www.unep.org>. Acesso em: 02 maio 2020.

WHAT is life cycle thinking?: life cycle initiative, 2020. Disponível em: <https://www.lifecycleinitiative.org>. Acesso em: 02 maio 2020.

WIEBECK, Heitor. ET AL. **Plásticos de engenharia**: tecnologia e aplicações. São Paulo, SP: Artliber Editora, 2005.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos [recurso eletrônico]. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.



Artigo recebido em: 22/12/2020 e aceito para publicação em: 01/03/2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v21i1.4198>