



GCV-2020 | 21

VII - Congresso Brasileiro sobre **Gestão do Ciclo de Vida**

Anais do VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

Coordenação do Evento

Ana Carolina Badalotti Passuello

Editoração

Vinícius Gonçalves Maciel

Volume I

UFRGS
Gramado
2020

Comissão Organizadora

Presidente da Associação Brasileira de Ciclo de Vida

Gil Anderi da Silva (ABCV)

Coordenação do Evento

Ana Carolina Badalotti Passuello (UFRGS)

Comitê Científico e Técnico

Cássia Maria Lie Ugaya (UTFPR) – Coordenadora Comitê Científico

Yuki Kabe (BRASKEM) – Coordenador Comitê Técnico

Jaylton Bonacina de Araujo (UTFPR) – Apoio Comitê Científico

Aldo Roberto Ometto (USP)

Assed Naked Haddad (UFRJ)

Breno Barros Telles do Carmo (URFN)

Clandio Favarini Ruviano (UFGD)

Diogo Aparecido Lopes Silva (UFSCAR)

Ênio Leandro Machado (UNISC)

Fernanda Belizario Silva (IPT)

Fernando Rodrigues Teixeira Dias (Embrapa)

José Adolfo de Almeida Neto (UESC)

Luciano Rodrigues (UESB)

Luiz Alexandre Kulay (PQI-EPUSP)

Malaquias Zildo Antonio Tsambe (UFRGS)

Marcella Ruschi Mendes Saade (TU Graz)

Maria Cléa Brito de Figueiredo (EMBRAPA)

Marília Folegatti (EMBRAPA)

Renzo Mori Junior (IPT)

Thiago Oliveira Rodrigues (IBICT)

Tiago Braga (IBICT)

Vanessa Gomes Da Silva (UNICAMP)

Yara de Souza Tadano (UTFPR)

Comitê Organizador Local

Ângela Danilevicz (UFRGS)

Cláudia Glitzenhirn (UFRGS)

Janaína Timm (UFRGS)

Juliana Klas (UFRGS)

Matheus Mainardi (UFRGS)

Rafael Zortea (IFSUL)

Vinícius Maciel (UFRGS)

Editoração

Vinícius Gonçalves Maciel (UFRGS)

Catálogo na Publicação (CIP)

C749 Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (7. : 2021 : Gramado, RS)

Anais do VII Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida : volume 1 [recurso eletrônico] / Organização do evento Ana Carolina Badalotti Passuello; editoração Vinícius Gonçalves Maciel. – Gramado : UFRGS, 2020. 672 f. : il.

Data do evento: 28 de setembro a 01 de outubro de 2021.
Modo de acesso: www.ufrgs.br/qcv2020.

ISBN 978-65-86232-90-5

1. Gestão do ciclo de vida. 2. Economia circular. 3. Bioeconomia. 4. Avaliação do ciclo de vida. 5. Inventário do ciclo de vida. 6. Gestão ambiental. 7. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida. I. Passuello, Ana Carolina Badalotti, coord. II. Maciel, Vinícius Gonçalves, edit. III. Título.

CDU 504

Elaborada pela Biblioteca do Campus Litoral Norte da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fatores para seleção de abordagem em processos multifuncionais: caso da estampagem de Gaiolas automotivas

Marilise Garbin ¹

Ruane Fernandes de Magalhães ²

Juliano Libraga da Silva ³

Guilherme Almeida Souza ⁴

Ana Passuello ⁵

Vinicius Gonçalves Maciel ⁶

Feliciane Andrade Brehm ⁷

Rafael Batista Zortea ⁸

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

³Instituto Federal Sul-rio-grandense - IFSUL

mgarbin@edu.unisinos.br

Resumo

O ciclo de vida de determinados produtos pode apresentar alto nível de complexidade, necessitando que as avaliações ambientais adotem estratégias mais robustas e específicas para diferentes casos industriais. Nesse sentido, a maior complexidade das modelagens ambientais geralmente está relacionada à escolha entre abordagens de alocação. O presente estudo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam a seleção da abordagem para avaliações ambientais de processos multifuncionais, a partir de discussões da literatura. Para tanto, tais fatores foram analisados, com foco em questões de particionamento entre abordagens consequenciais e atribucionais, quais sejam: i) definição; (ii) justificativa de uso; e (iii) critérios de escolha. A partir de tal análise, foi obtido, como principal resultado, um fluxo de apoio à tomada de decisão, o qual buscou esclarecer os aspectos mais relevantes para seleção adequada da abordagem de alocação. Como forma de analisar sua aplicabilidade, essa estrutura foi empregada como estudo de caso ao processo multifuncional de estampagem de uma Gaiola automotiva. Tal processo foi analisado devido ao potencial de utilização, por outras indústrias, dos resíduos metálicos e de óleo gerados no processo do produto principal. Dessa forma, com base no fluxo de decisão obtido, foi possível selecionar a

abordagem de alocação potencialmente mais adequada ao estudo de caso, sendo essa a abordagem atribucional, apesar das possíveis consequências mercadológicas relacionadas à substituição proposta. A seleção de abordagem foi baseada na disponibilidade de dados de mercado e a representatividade das alterações no mercado nacional.

Palavras-chaves: *Alocação, Processo multifuncional, Abordagem consequencial, Indústria automotiva.*

Introdução

A avaliação dos impactos ambientais potenciais, ao longo do ciclo de vida de um produto, pode subsidiar a identificação de oportunidades para melhorias de seu desempenho ambiental. Dessa forma, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser considerada como um importante mecanismo para os tomadores de decisão na indústria, contribuindo com a seleção de indicadores ambientais e com o desenvolvimento de estratégias de mercado (ABNT, 2009). No entanto, o ciclo de vida de determinados produtos pode apresentar alto nível de complexidade, acarretando que as avaliações ambientais adotem abordagens mais aprofundadas e específicas para diferentes casos industriais (PALAZZO; GEYER, 2019).

Nesse sentido, a maior complexidade das modelagens ambientais geralmente está relacionada às abordagens adotadas na fase de análise de inventário do ciclo de vida (SUH *et al.*, 2010). As abordagens empregadas em diferentes estudos, expressas na norma NBR ISO 14040, são a atribucional e a consequencial, que diferem em dois aspectos principais: a vinculação de entradas nos processos a fornecedores médios ou irrestritos; e os procedimentos para se chegar a um sistema de produto único, em situação de produção conjunta. O segundo caso trata especificamente de processos

multifuncionais, em que podem ser aplicados procedimentos de particionamento (alocação mássica ou econômica) do sistema de múltiplos produtos em dois ou mais sistemas de produto único, quando empregada abordagem atribucional. Por outro lado, a abordagem consequencial busca analisar a substituição (expansão do sistema) do produto, eliminando subprodutos e incluindo a análise de elasticidade dos mercados afetados, considerando a oferta (WEIDEMA *et al.*, 2013).

Ainda de acordo com o recomendado pela NBR ISO 14040, a alocação em processos multifuncionais deve ser evitada sempre que possível, sendo preferencial a aplicação de abordagens que incluam a expansão do sistema (ABNT, 2009). Contudo, a abordagem consequencial exige a obtenção de dados específicos de inventário, bem como a análise rigorosa de possíveis alterações em mercados marginais para caracterização das consequências das escolhas realizadas, os quais nem sempre estão disponíveis (REBITZER *et al.*, 2004). Além disso, o estudo de abordagens consequenciais tende a ser mais amplo (EKVALL *et al.*, 2016), ocasionando a necessidade de conhecimento de outros processos produtivos, além do principal estudado.

Assim sendo, o presente estudo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam a seleção da abordagem para avaliações ambientais de processos multifuncionais, a partir de discussões da literatura. Por fim, para ilustrar a tomada de decisão em relação à abordagem a ser escolhida, foi empregado, como estudo de caso, o processo multifuncional de estampagem de uma Gaiola automotiva.

Método

O método de trabalho empregado foi exploratório, baseado em estudos de ACV de processos

multifuncionais em diferentes cenários, presentes na literatura. Dessa forma, foram analisados e comparados três fatores principais de abordagens atribucional e consequential: (i) definição; (ii) justificativa de uso; e (iii) critérios de escolha.

Posteriormente, com base na revisão bibliográfica realizada acerca das diferenças entre as abordagens foi desenvolvida uma tabela comparativa, que serviu como base na construção do fluxo de apoio à tomada de decisão para a modelagem do processo multifuncional de estampagem da Gaiola automotiva.

Abordagens em processos multifuncionais

Em relação ao primeiro fator analisado, **definição** das abordagens, os seguintes pontos devem ser considerados:

Sonnemann e Vigon (2011) definem que inventários atribucionais vinculam processos, impactos e benefícios do sistema de acordo com uma regra normativa (física ou econômica), enquanto inventários consequenciais incluem atividades em que são esperadas alterações, como consequência de uma mudança na demanda da unidade funcional. Já, Ekvall e Weidema (2004) relatam que inventários atribucionais buscam descrever fluxos físicos relevantes para o meio ambiente e para seus subsistemas; ao passo que inventários consequenciais descrevem tais fluxos com foco no sistema tecnológico que poderá provocar mudanças no ciclo de vida principal. Nesse sentido, Werner *et al.* (2016) destacam a questão de substituição, em que abordagens consequenciais fazem uso desse mecanismo para evitar alocação completa, empregando fornecedores marginais em vez de médios.

Na expansão do sistema, os insumos do produto principal subtraem insumos relacionados ao subproduto em uma produção alternativa externa (WEIDEMA; SCHIMIDT, 2010). Além disso, estudos de previsão de demanda são importantes para avaliação de consequências, principalmente devido a esses terem como foco a modelagem de impacto de uma mudança específica no sistema de produto investigado, considerando variações temporais de mercado (SUH *et al.*, 2010). Por isso, para Ekvall *et al.* (2016), as abordagens respondem a diferentes perguntas. Enquanto a atribucional busca a descrição de trocas entre um sistema ou produto e o meio ambiente, em uma janela temporal determinada, a consequential avalia fluxos que podem se alterar de acordo com as decisões tomadas, reagindo às mudanças em um processo dinâmico (REBITZER *et al.*, 2004).

Para a **justificativa de uso**, os autores expressam o seguinte:

Para Ekvall e Weidema (2004), a abordagem atribucional pode resultar em informações incompletas, uma vez que desconsidera processos que estejam fora do sistema de produto principal, tal como é realizado na expansão dos sistemas. Su *et al.* (2010) destacam que a expansão do sistema é essencial para modelagens econômicas integradas às ambientais. Weidema e Schmidt (2010) discutem as possíveis falhas de abordagens atribucionais quanto à sua eficácia em preservar balanços de massa e energia. Os autores argumentam que, quando aplicada alocação mássica, por exemplo, o equilíbrio de massa é realizado adequadamente, no entanto, os balanços energéticos e de fluxos elementares podem apresentar falhas. Por outro lado, os autores destacam que, em virtude da expansão dos sistemas, os equilíbrios de massa e energia podem ser

adequadamente mantidos. Por fim, Weidema (2000) defende que as ACVs consequenciais devem ser preferencialmente aplicadas em estudos comparativos, dado que podem apoiar com maior precisão a formulação de políticas, considerando as possíveis substituições do objeto de estudo em sistemas de produtos alternativos existentes. No entanto, cabe ressaltar que outros autores (Ekvall, Finnveden 2001; Guinée *et al.* 2002; Heijungs, Guinée 2007; Pelletier 2010; Pelletier, Tyedmers 2011; Brander, Wylie 2011; Zamagni *et al.* 2012 apud Pelletier *et al.* 2015) consideram essa uma justificativa falha, argumentando que, justamente devido à expansão dos sistemas, os escopos de estudo se tornam tão diversos que tornam problemática a sua comparação.

Quanto aos **critérios de escolha** das abordagens, devem ser considerados:

Para Ekvall e Weidema (2004), os critérios de escolha entre as abordagens devem considerar o quanto a alocação pode ser significativa para as conclusões do estudo, considerando pesquisas semelhantes e os impactos do coproduto sobre a demanda do produto principal. No caso em que esses impactos não são relevantes, a abordagem de alocação atribucional pode ser empregada. Por outro lado, uma vez que outros processos relacionados possam ser alterados por uma mudança de mercado do produto principal, a abordagem consequential pode ser considerada como a mais adequada. Os autores tratam ainda três casos específicos para exemplificar os critérios de escolha:

- se o produto principal e o coproduto são produzidos de forma independente, pode ser empregada a abordagem atribucional, como o caso de produção de dois lotes diferentes na

mesma planta de produção;

- se a produção do coproduto é dependente da demanda do produto principal, pode ser empregada a expansão do sistema para inclusão de todos os processos relacionados, como o caso de um coproduto que é disponibilizado no mercado em decorrência da demanda pelo produto principal, e não devido à sua própria demanda;
- se a produção do produto principal é dependente da demanda pelo coproduto, o sistema investigado deve considerar os usos alternativos do resíduo proveniente do produto principal, em uma abordagem consequencial. Isso porque o aumento de uso do produto principal não afeta o processo multifuncional, contudo, quando parte do produto principal é empregado como resíduo em outros sistemas, a expansão é capaz de capturar os efeitos de uso desse resíduo sobre os fluxos investigados, ainda que, em uma primeira análise, a demanda pelo produto principal não seja relevante.

Assim sendo, é possível verificar que, em processos multifuncionais, ambas as abordagens podem ser empregadas, dependendo da questão a ser respondida pela ACV e das características desses processos; tendo em vista que a decisão de abordagem é realizada antes da análise de inventário. Outro importante critério a ser considerado, segundo Ekvall *et al.* (2016), são análises para efeitos de decisões para curto ou longo prazo. As decisões de curto prazo são aquelas focadas em mudanças na forma de produção existente, considerando-se componentes e processos de produção consolidados, mas que podem ser otimizados. Os efeitos de longo prazo envolvem possíveis mudanças na tecnologia de produção, considerando, por exemplo, a entrada no

mercado de produtos inovadores, os quais afetarão outros sistemas, e não somente os processos produtivos principais estudados. No entanto, em diversos setores da indústria, as previsões de mercado, necessárias para modelagem das mudanças mercadológicas proporcionadas por esses novos produtos, podem ser ainda insipientes, tornando as análises consequenciais incompletas ou inadequadas.

Rebitzer *et al.* (2004) ressaltam que é necessário definir o objetivo da ACV para escolha da abordagem, assim como a forma de coleta de dados (EKVALL; WEIDEMA, 2004), a fim de apoiar a resposta adequada para a realização da ACV. Além desses critérios, o foco do estudo de ACV deve ser estabelecido: para estudos focados em produtos e componentes físicos, a abordagem atribucional é mais adequada; nos estudos com foco em funções desempenhadas pelos produtos, a abordagem consequencial é indicada (REBITZER *et al.*, 2004). Para esse tipo de análise, contudo, os dados de mercado devem estar consolidados, de forma que os resultados obtidos reflitam previsões consistentes com os cenários considerados.

Na Tabela 1 é apresentado um resumo comparativo, elaborado com base na revisão bibliográfica realizada, acerca das abordagens atribucional e consequencial.

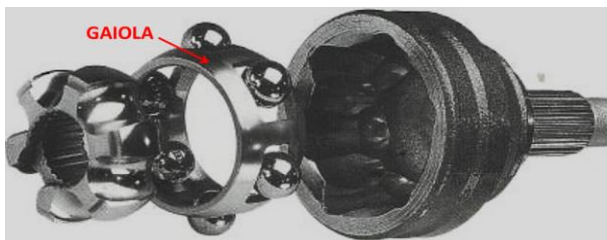
Tabela 1: Comparativo entre as abordagens atribucional e consequencial

<i>Atribucional</i>	<i>Consequencial</i>
Mais adequado para estudos de curto prazo (<i>short-term</i>).	Mais adequado para estudos de Longo prazo (<i>long-term</i>).
Fluxo linear. Janela temporal específica.	Fluxo dinâmico. Pode se alterar de acordo com a tomada de decisão, orientado pelas mudanças.
Não tem como foco processos que estejam fora do sistema de produto.	Considera as atividades em que são esperadas alterações como consequência da tomada de decisão.
Balço de massa e energia limitados ao sistema de produto.	Balço de massa e energia mais abrangente - Expansão do Sistema.
Perspectiva restritiva. Foco na melhoria específica de determinados produtos e componentes (físicos).	Perspectiva ampla. Foco nas funções desempenhadas pelos produtos e a consequência de suas alterações sobre mercados marginais.
Estático, não trabalha as mudanças que ocorrem no processo.	Avalia as possíveis substituições do objeto de estudo em sistemas de produtos alternativos existentes. Caracterização das consequências das escolhas.
Procedimentos de alocação mássica ou econômica não são significativos para a conclusão do estudo.	Procedimentos de alocação podem afetar os resultados do estudo.
Uso de dados de fornecedores médios.	Uso de dados de fornecedores marginais.
Menor nível de complexidade.	Maior nível de complexidade.

Estudo de caso: Gaiola automotiva

A partir da análise da literatura uma avaliação atribucional e consequencial foram conduzidas tendo como estudo o processo de estampagem das janelas da Gaiola automotiva. A Gaiola é produzida com uma liga conhecida, AISI 8617H, contendo Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Molibdênio (Mo) na sua composição, é um dos componentes da junta homocinética e tem a função de alojar as esferas do rolamento, Figura 1, que são responsáveis pela transmissão do torque, junto à parte fixa do semieixo, permitindo que as rodas do automóvel se desloquem livremente (GM, 2010).

Figura 1: Vista explodida da junta homocinética (Adaptada de Baumhardt Neto, 2012)



O processo de estampagem visa conferir forma pela deformação plástica do metal (SOUZA, 2016) e é realizado em uma empresa localizada no município de Porto Alegre/RS, com produção média mensal de 620.000 Gaiolas. Nesse processo, tem-se, além do produto Gaiola estampada, a geração de dois tipos de resíduos: o “chips” metálico e os óleos consumíveis.

O resíduo “chips”, Figura 2, é gerado no momento da estampagem das janelas da Gaiola (Figura 3). Durante o processo, são utilizados o óleo mineral refrigerante, responsável pela estabilização da temperatura da peça no momento da punção, e os óleos consumíveis, os quais recebem essa

denominação por serem óleos consumidos no maquinário, ao longo do processo. Conforme descrito por Garbin. *et al.* (2018), os “chips” são coletados separadamente dos demais resíduos metálicos, devido às suas características, dimensões e composição de aço, e posteriormente encaminhados como matéria-prima para uma empresa de fundição, localizada a 9,5 km da empresa geradora, sendo classificado, portanto, como um coproduto gerado no processo de estampagem.

Figura 2: Resíduo “chips” metálico



Figura 3: Gaiola estampada



Mercado nacional de molibdênio

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2016), a produção de molibdênio no Brasil, em 2015, foi considerada inexistente, devido à baixa expressividade de produção. No Brasil, as reservas de molibdênio são restritas e estão associadas a depósitos de tungstênio em skarnitos (Rio Grande do Norte e Paraíba), mineralizações de urânio (Minas Gerais e Santa Catarina), subproduto/coproduto em pegmatitos (Bahia), depósitos de granito (Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Roraima) e depósitos de cobre (Pará). A produção mundial desse elemento, no ano de 2014, foi de 270.000 toneladas, distribuída entre China (40%), EUA (22,6%), Chile (13,5%), Peru (6,3%) e outros países (16,8%). Em 2013, as

importações totais de molibdênio foram de 9.920 toneladas pelo mercado brasileiro (DNPM, 2014).

Logo, a carência do molibdênio no contexto nacional e o seu significativo valor agregado, dada a importância de sua utilização na indústria, geram a valorização do resíduo “chips”, o qual passa a ser inserido como matéria-prima em outro processo produtivo, com potencial redução de impactos associados à extração do mineral virgem.

Processo de rerrefino

O resíduo de óleos consumíveis é encaminhado para rerrefino, que é caracterizado como uma categoria de processos industriais de remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, conferindo aos mesmos as características de óleos básicos (SINDIRREFINO, 2018). Segundo Tsambe *et al.* (2017), a produção anual brasileira de óleos lubrificantes é de aproximadamente 1,8 bilhões de litros, sendo coletados 380 milhões de litros de óleos usados ou contaminados para rerrefino, com produção estimada de óleo básico rerrefinado de 250 milhões de litros, por ano.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018), a demanda nacional por óleos básicos lubrificantes não é atendida pela produção brasileira, fazendo com que o país seja dependente de importação desse produto, o que reforça a necessidade e os benefícios do tratamento dos resíduos de óleos consumíveis, aplicável ao processo multifuncional de estampagem da Gaiola.

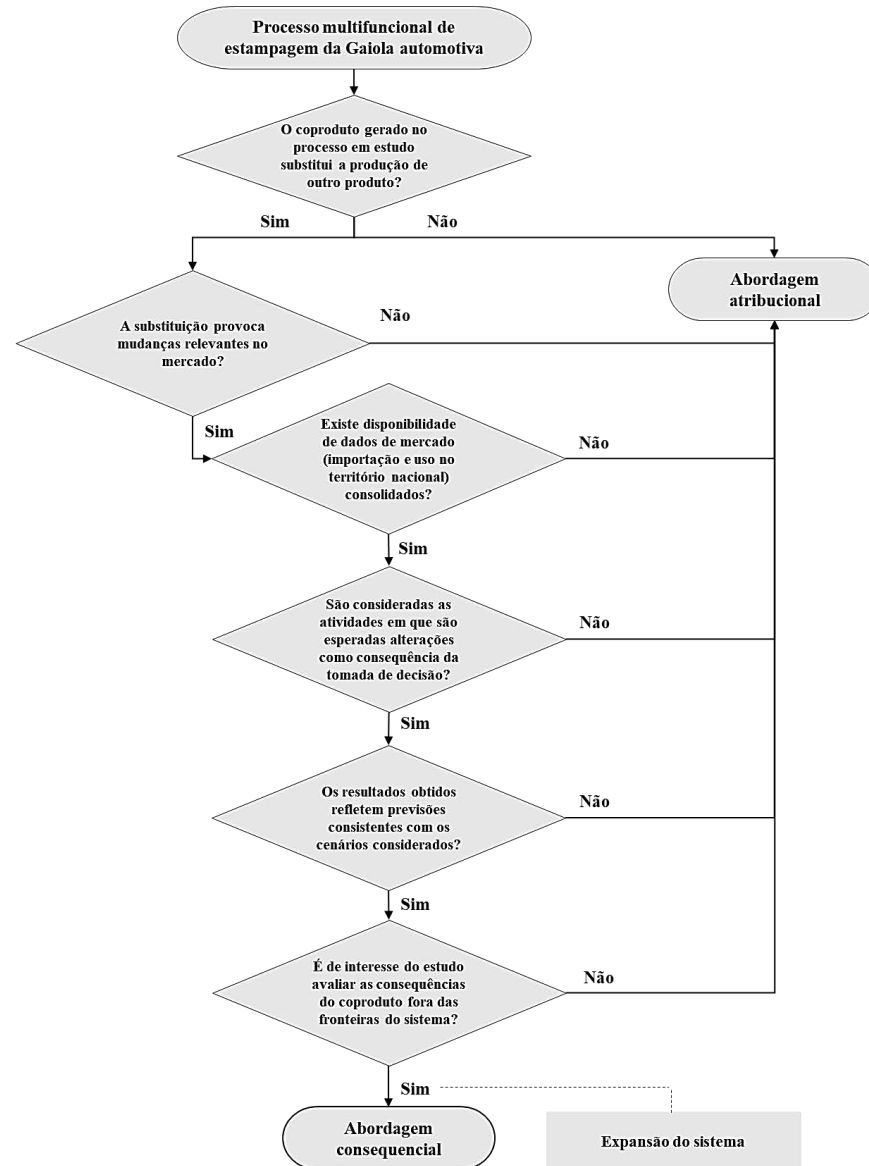
Abordagem para o processo multifuncional da Gaiola Automotiva

Para definição da abordagem mais apropriada ao processo multifuncional de estampagem da Gaiola, foi elaborado um fluxo de apoio à tomada de decisão, desenvolvido com base na revisão bibliográfica (Figura 4). Para tanto considerou-se o impacto evitado pela substituição de molibdênio na liga Ni-Cr-Mo, pelo resíduo “chips” metálico, em processo externo à indústria automotiva; assim como o resíduo de óleo para óleo base. Ponderou-se a disponibilidade de dados mercadológicos de importação e uso do molibdênio no Brasil, a fim de proporcionar a adequada avaliação das consequências geradas pela substituição proposta no mercado de molibdênio brasileiro, a qual pode ser determinante para a decisão de emprego da abordagem consequencial. Além disso, levou-se em conta qual poderia ser o efeito dessas substituições nos mercados de importação de molibdênio e de óleos básicos, a partir das quantidades geradas.

Nesse sentido, com base no fluxograma da Figura 4, foi possível verificar que o estudo possui aderência para emprego da abordagem consequencial, de acordo com os fatores de análise considerados. Contudo, foram encontradas dificuldades para obtenção de dados mercadológicos de importação e uso do molibdênio no Brasil, o que pode afetar a confiabilidade das análises, conforme já destacado por Pelletier *et al.*, (2015). Por outro lado, avaliou-se que a substituição, no caso estudado, poderia desencadear consequências pouco significativas no mercado nacional. Assim sendo, definiu-se que a abordagem atribucional conjunta, das empresas envolvidas no processo, poderia ser a mais

adequada para o estudo proposto. A expansão do sistema, contudo, deveria ser mantida, com o estudo aprofundado de ambas as empresas (geradora e receptora do resíduo “chips”).

Figura 4: Fluxo de apoio à tomada de decisão na escolha da abordagem



Conclusões

A decisão em procedimentos de alocação empregada em avaliações do ciclo de vida envolve a análise de diversos fatores, os quais dependem do processo estudado e de suas implicações. Da mesma forma, a abordagem de alocação está relacionada ao tipo de resultado esperado e aos dados disponíveis, de acordo com os fluxos incluídos na fronteira do sistema. Assim, a seleção de abordagem de alocação foi explorada, neste estudo, com base na literatura, de forma a ampliar e sistematizar o conhecimento acerca dos fatores a serem considerados em processos multifuncionais. Dessa análise, foi obtido um fluxo de apoio à tomada de decisão, o qual busca esclarecer os aspectos mais relevantes para seleção mais adequada da abordagem de alocação. Os resultados obtidos foram aplicados ao caso do processo multifuncional de estampagem da Gaiola automotiva; tendo em vista o potencial de utilização, pela indústria, do coproduto “chips” metálico e do resíduo de óleo, provenientes do processo avaliado. Apesar das possíveis consequências no mercado econômico, pela substituição de matérias-primas por resíduos, considerou-se que o modelo atribucional, para o processo de estampagem da Gaiola automotiva, pode ser o mais adequado, tendo em vista a escassa disponibilidade de dados mercadológicos e a representatividade das alterações no mercado nacional.

Outro fator que pode ser verificado neste estudo, ao trazer as teorias dos modelos atribucional e consequencial para um caso real da indústria automotiva, é a necessidade de que o modelo consequencial deve obedecer a, pelo menos, seis critérios. Conforme modelo sugerido no estudo (Figura 4), verifica-se que o não obedecimento de pelo menos um desses seis requisitos estipulados

demonstra que a aderência pelo modelo atribucional pode ser a melhor escolha, ao se considerar a importância dos resultados da ACV como uma ferramenta de tomada de decisão. A dificuldade em utilizar a abordagem consequencial, devido ao grande número de exigências, é verificado por Bamber *et al.* (2020) que, ao avaliar 2687 estudos de caso de ACV, constatou que a ampla maioria utilizou a abordagem atribucional: 94%, contra somente 6% de estudos de caso que optaram pela abordagem consequencial.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelas bolsas de pesquisa.

Referências bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009. Versão Corrigida: 2014
- Bamber, N., Turner, I., Arulnathan, V. et al. (2020). <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01663-1>
- Baumhardt Neto, Victor Frederico. (2012) **Otimização geométrica de um semieixo automotivo**. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2012.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Panorama do Refino e da Petroquímica no Brasil**. Nota Técnica DPG-SPT Nº 04/2018. Rio de Janeiro, 2018.
- Brasil. Departamento de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral**. Brasília. DNPM, 2014. 141 p.: il.; 29 cm.
- Brasil. Departamento de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral**. Brasília. DNPM, 2016. 113 p.: il.; 29 cm.
- Chiaverini, Vicente. 2015. Aços e ferros fundidos, 7ª ed. ABM, São Paulo.

Ekvall, T.; Azapagic, A.; Finnveden, G.; Rydberg, T.; Weidema, B. P.; Zamagnis, A. (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-015-1026-0>

Ekvall, T.; Weidema, B. P. (2004). <https://doi.org/10.1065/lca2004.03.148>

Juntas Homocinéticas. **Verdade Genuína GM**. Ano II, nº 17, novembro de 2010.

Garbin, M.; Brehm, F. A.; Zortea, R.; Moraes, C. A. M.; Maciel, E. F. Avaliação do ciclo de vida simplificada do processo de produção do componente automotivo denominado gaiola. *In:* GCV 2018: Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2018, Brasília. **Anais eletrônicos [...]** Brasília: Ibict, 2018.

Palazzo, J.; Geyer, R. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.12.001>

Pelletier, N., Ardente, F., Brandão, M. et al. (2015). <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0812-4>

Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T.; Schmidt, W.P.; Suh, S.; Weidema, B. P.; Pennington, D. W. (2004). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>

SINDIRREFINO. Sindicato Nacional da Indústria do Refino de Óleos Minerais. **A externalidade positiva da atividade de refino:** Efeitos sociais, ambientais e econômicos. São Paulo, 2018.

Sonnemann, G.; Vigon, B. (2011). Global guidance principles for life cycle assessment databases.

Souza, André João de. **Processos de Fabricação por Usinagem**. Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Automação em usinagem. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. Apostila.

Suh, S.; Weidema, B.; Schmidt, J. H.; Heijungs, R. (2010). <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00235.x>

Weidema, B. P. (2000). <https://doi.org/10.1162/108819800300106366>

Weidema, B. P.; Bauer, C.; hischier, R.; Mutel, C.; Nemecek, T.; Reinhard, J.; Vadenbo, C. O.; Wernet, G. **Overview and methodology**. Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent Report 1(v3). St. Gallen: The ecoinvent Centre. 2013.

Weidema, B.P.; Schmidt, J. H. (2010). <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00236.x>

Weidema, B.P.; Simas, M. S.; Schmidt, J.; Pizzol, M.; Lokke, S.; Brancoli, P.L. (2019). <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01628-4>

Wernet, G.; Bauer, C.; Bernhard, S.; Reinhard, J.; Moreno-Ruiz, E.; Weidema, B. P. (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>