



UnB

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

JULIANA GERHARDT

**A SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DA RECICLAGEM: A INFLUÊNCIA DAS
RELAÇÕES DE QUALIDADE ENTRE MATERIAL PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO**

Brasília

2018

JULIANA GERHARDT

**A SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DA RECICLAGEM: A INFLUÊNCIA DAS
RELAÇÕES DE QUALIDADE ENTRE MATERIAL PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão da Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Armando Caldeira-Pires

Brasília

2018

JULIANA GERHARDT

**A SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DA RECICLAGEM: A INFLUÊNCIA DAS
RELAÇÕES DE QUALIDADE ENTRE MATERIAL PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO**

Dissertação apresentada ao Centro de Desenvolvimento Sustentável – CDS, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão da Sustentabilidade.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Cosme Roberto Moreira da Silva
Departamento de Engenharia Mecânica – ENM

Prof. Dr. João Nildo de Souza Vianna
Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS

Prof. Dr. Armando Caldeira-Pires
Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS
Professor Orientador – Presidente da Banca Examinadora

Brasília, 29 de agosto de 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade da vida e do aprendizado constante.

À toda minha família, que é meu porto seguro e que mesmo de longe sempre me deu suporte e apoio. Mãe, irmãos, cunhadas, tias, tios, primos e primas, gato, cachorro, minha vizinha que partiu recentemente e meu paizinho que observou tudo lá do alto e com certeza torceu por mim.

Às amigas e amigos gaúchos que me acompanharam e torceram mesmo de longe.

À amiga Raiza, que me apresentou o curso e o Centro de Desenvolvimento Sustentável, além de me dar todo o apoio na mudança à Brasília. Obrigada pelo carinho, amizade e chimarrões de prosa e desabafos. Por matar minha saudade de ouvir o sotaque gaúcho e me dar a honra de ver nascer e conviver com o Raulzinho.

Ao meu orientador Armando Caldeira-Pires, agradeço pela orientação, pela paciência, pela eficiência, pelos ensinamentos e por ter sido presente em todos os momentos que precisei.

Ao Centro de Desenvolvimento Sustentável, professores e funcionários.

Aos colegas de turma pela rica convivência com outras culturas e sotaques. Obrigada por todas as trocas de conhecimento, pelos happy hours, festas, risadas e momentos de desabafo.

Ao encontro do meu amor durante o mestrado, Jean. Agradeço por todo o apoio e incentivo, paciência, carinho, comidinhas, chimarrão e por ter sido o ombro amoroso e firme que precisei em vários momentos.

Aos amigos que fiz pelo bloco G.

À dona Cida, funcionária da limpeza do bloco G que sempre me acolheu com seu sorriso, seu ombro amigo e seu abraço apertado que várias vezes me confortou.

A todas as pessoas que conheci e amigos de diversos lugares do Brasil e do mundo que fiz nessa cidade de clima seco, mas de um céu azul esplendoroso e de Ipês maravilhosos.

À FAPDF por ter financiado minha ida à Portugal para apresentar parte dos dados dessa dissertação.

Ao site SCI-HUB por ter disponibilizado muitos dos artigos consultados para esse trabalho.

Aos professores Cosme Silva e João Nildo Vianna por terem aceitado fazer parte e contribuir na minha banca de defesa e ao professor Maurício Amazonas pelas contribuições dadas na banca de qualificação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Uma nação que destrói seu território, destrói a si mesma”.

Franklin Roosevelt

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo principal investigar em que medida o conhecimento das relações de qualidade entre material primário e secundário contribui para discutir impactos ambientais, econômicos e sociais no mercado da reciclagem. Esta análise será aplicada ao estudo de caso da liga $AlSi_7Mg$. A partir da metodologia de avaliação do ciclo de vida e do uso da fórmula integrada para fim de vida de produtos (testada no programa de Pegada Ambiental do Produto da Comissão Europeia), foram realizadas análises comparativas entre 15 cenários dentro da modelagem para reciclagem de final de vida da liga, com o uso do software GaBi 6.0 - versão educacional. Foram avaliadas a razão de qualidade em relação ao alumínio primário na entrada de alumínio secundário (Q_{sin}/Q_{pin}) para o modelo de produção de 1 kg da liga de alumínio $AlSi_7Mg$. E avaliada a razão (Q_S/Q_P) ao final de vida da liga, após o processo de reciclagem, que determinará o valor de crédito ou débito que será dado à produção primária no próximo ciclo, corrigida por essa relação de qualidade entre alumínio secundário e primário. O melhor resultado quanto à diminuição dos impactos foi alcançado pelo cenário SE0,5:SS1 (onde $Q_{sin}=0,5$ e $Q_S=1$), com entrada de 100% de alumínio secundário, onde a redução de potencial de aquecimento global foi de 145,7%, depleção abiótica (148,4%), demanda de energia primária (139,8%) e consumo de bauxita 150,9% em relação ao pior cenário (qualidade "inexistente"). Já o menor resultado pertence ao cenário SE0,8:SS0,1 (onde $Q_{sin}=0,8$ e $Q_S=0,1$) com 20% de entrada de alumínio secundário, que comparado ao cenário "inexistente", apresenta reduções de 13,8%, 12,9%, 13,1% e 14,2% respectivamente. Logo, quanto maior o valor da relação de qualidade entre alumínio primário e secundário no parâmetro Q_S , e maior o percentual de entrada de alumínio secundário, menores são os impactos quanto ao consumo de bauxita, de depleção abiótica, de demanda de energia primária, e, conseqüentemente, de emissão de gases de efeito estufa. A conversão dos fluxos ambientais das categorias escolhidas em unidades monetárias, e em função dos seus preços de mercado, demonstrou que quanto maior a qualidade do alumínio de saída, ou seja, pós reciclagem, menores são os custos associados aos impactos ambientais. Portanto, podemos concluir que conhecer e quantificar as relações de qualidade entre materiais primário e secundário, como no caso do alumínio, pode contribuir para discutir a sustentabilidade de cadeias de reciclagem.

Palavras-chave: alumínio secundário; reciclagem; qualidade de materiais

ABSTRACT

The present study's main objective is to investigate to what extent the knowledge of the quality relation between primary and secondary materials contributes to the discussions of environmental, economic and social impacts in the recycling market. This analysis will be applied to the AlSi7Mg alloy case study. Using Life Cycle Assessment methodology and a product end-of-life integrated formula (tested within European Commission Environmental Footprint initiative), comparative analysis were conducted between 15 scenarios within the modelling about the alloy's end-of-life recycling, through GaBi 6.0 software – educational version. The ratio of quality to primary aluminum at the secondary aluminum inflow (Q_{sin} / Q_{pin}) was evaluated for the production model of 1 kg of AlSi7Mg aluminum alloy. The ratio (Q_S / Q_P) is evaluated at the end of the life of the alloy, after the recycling process, which will determine the credit or debit value that will be given to the primary production in the next cycle, corrected by this quality ratio between secondary aluminum and primary. The best result was the SE0.5: SS1 scenario (where $Q_{sin} = 0,5$ and $Q_S = 1$), with secondary aluminum input of 100%, in which the global warming reduction potential was 145,7%, abiotic depletion (148,4%), primary energy demand (139,8%) and bauxite consumption 150,9% in relation to the worst case scenario ("nonexistent" quality). The lower result corresponds to the SEQ: SE0,8: SS0,1 scenario (where $Q_{sin} = 0,8$ and $Q_S = 0,1$) with 20% secondary aluminum input, which compared to the "nonexistent" scenario, presented reductions of 13,8%, 12,9%, 13,1% and 14,2%, respectively. Therefore, the higher the value of the quality ratio between primary and secondary aluminum in the Q_S parameter, and the higher the input percentage of secondary aluminum, the lower are the impacts on the consumption of bauxite, abiotic depletion, primary energy demand and, consequently, the the greenhouse gas emissions. The conversion of the environmental flows of the chosen categories into monetary units, and according to their market prices, showed that the higher the quality of the output aluminum, that is, post-recycling, smaller are the costs associated with environmental impacts. Therefore, we can conclude that knowing and quantifying the quality relations between primary and secondary materials, as in the case of aluminum, can contribute to discuss the sustainability of recycling chains.

Keywords: secondary aluminum; recycling; quality of materials

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Perda de qualidade e diluição | 35 |
| Figura 2- Representação gráfica e esquemática da fórmula integrada | 51 |
| Figura 3- Modelo construído no GaBi para aplicação da FI no estudo da produção da Liga AlSi ₇ Mg | 68 |
| Figura 4- Descrição dos cenários..... | 69 |
| Figura 5- Impactos ambientais para entrada de 20% de alumínio secundário | 72 |
| Figura 6- Impactos ambientais para entrada de 50% de alumínio secundário | 73 |
| Figura 7- Impactos ambientais para entrada de 100% de alumínio secundário | 74 |
| Figura 8- Impactos ambientais para todos os cenários juntos | 75 |
| Figura 9- Análise paramétrica com as três categorias de impacto variando-se em simultâneo os parâmetros Qsin e QS entre seus valores mínimos e máximos..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1- Variáveis e parâmetros da fórmula integrada..... | 52 |
| Tabela 2- Análise SWOT da Política Nacional de Resíduos Sólidos..... | 61 |
| Tabela 3- Custos associados ao uso de antimônio (U\$\$) | 787 |
| Tabela 4- Custos associados à demanda de energia primária (US\$)..... | 78 |
| Tabela 5- Custos associados às emissões de CO2 equivalente (US\$)..... | 80 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| A3P | Agenda Ambiental da Administração Pública |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| ACV | Avaliação de Ciclo de Vida |
| ADP | Abiotic Depletion Potential |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CBO | Classificação Brasileira de Ocupações |
| DAP | Declaração Ambiental de Produto |
| DE | Demanda de Eletricidade |
| DEP | Demanda de Energia Primária |
| EC | Economia Circular |
| EEA | European Environment Agency |
| ELV | End-of Life Vehicles |
| EoL | End of Life |
| ETS | Emissions Trading System |
| FI | Fórmula Integrada |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GT | Grupo de Trabalho |
| GWP | Global Warming Potential |
| IAI | International Aluminium Institute |
| ICAO | International Civil Aviation Organization |
| ILCD | International Life Cycle Platform |
| INDCs | Intended Nationally Determined Contributions |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LME | London Metal Exchange |
| MCTIC | Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MTE | Ministério do Trabalho e Emprego |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| OECD | Organisation for Economic Co-operation and Development |
| OEF | Organisation Environmental Footprint |

| | |
|--------|--|
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PEF | Product Environmental Footprint |
| PEFCRs | Product Environmental Footprint Category Rules |
| PIP | Política Integrada dos Produtos |
| PMR | Partnership for Market Readiness |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PPCS | Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis |
| PRM | Product Recovery Management |
| RCP | Regras de Categoria de Produtos |
| REEE | Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| RS | Resíduos Sólidos |
| RUaEP | Resource Use and Emissions Profile |
| SWOT | Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats |
| UE | União Europeia |
| UNEP | United Nations Environment Programme |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| INTRODUÇÃO | 13 |
| 1. Contextualização dos temas | 18 |
| 1.1 <i>Panorama das políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos no Brasil e União Europeia</i> | <i>18</i> |
| 1.2 <i>Panorama das políticas públicas voltadas à economia circular, produção e consumo responsável na China, União Europeia e Brasil</i> | <i>20</i> |
| 1.3 <i>O mercado da reciclagem</i> | <i>27</i> |
| 1.4 <i>Sobre a qualidade dos materiais secundários</i> | <i>31</i> |
| 1.5 <i>O alumínio</i> | <i>36</i> |
| 2. Método | 40 |
| 2.1 <i>ACV, Reciclagem e Multifuncionalidade</i> | <i>40</i> |
| 2.2 <i>Pegada Ambiental de Produtos e Organização (PEF/OEF)</i> | <i>44</i> |
| 2.3 <i>Fórmula Integrada</i> | <i>48</i> |
| 2.4 <i>Caracterização da Fórmula Integrada</i> | <i>50</i> |
| 2.5 <i>Indicadores Ambientais</i> | <i>53</i> |
| 2.5.1 <i>Depleção de Recursos Abióticos (kg Sb-Equiv.)</i> | <i>53</i> |
| 2.5.2 <i>Mudança Climática (GWP 100 anos) (kg CO₂-Equivalente)</i> | <i>55</i> |
| 2.5.3 <i>Demanda de energia primária a partir de fontes renováveis e não renováveis (MJ)</i> | <i>55</i> |
| 2.6 <i>Análise de Entrevistas e SWOT da Política Nacional de Resíduos Sólidos</i> | <i>56</i> |
| 3. Análise das entrevistas e análise SWOT da Política nacional de resíduos sólidos ... | 58 |
| 3.1 <i>Resultado da análise das entrevistas</i> | <i>58</i> |
| 3.2 <i>Resultado da SWOT da PNRS</i> | <i>60</i> |
| 3.3 <i>Declaração Ambiental de Produto (DAP) e suas contribuições</i> | <i>62</i> |
| 4. Estudo de CASO | 66 |
| 4.1 <i>Resultados</i> | <i>70</i> |
| 4.1.1 <i>Impactos Ambientais</i> | <i>70</i> |
| 4.1.2 <i>Análise paramétrica</i> | <i>75</i> |
| 4.1.3 <i>Monetização dos fluxos ambientais</i> | <i>76</i> |
| 4.2 <i>Considerações sobre o estudo de caso</i> | <i>81</i> |
| 5. Conclusões | 87 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 91 |
| ANEXO A | 99 |
| ANEXO B | 101 |

INTRODUÇÃO

Todos os anos, aproximadamente 11,2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são coletados em todo o mundo e o aumento do volume e da complexidade de resíduos coloca em risco a saúde humana e dos ecossistemas (UNEP, 2011). Só no Brasil, são gerados anualmente 79,9 milhões de toneladas (ABRELPE, 2015). Entretanto, muitos desses resíduos podem tornar-se recurso para a produção industrial ou geração de energia (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Nos últimos 40 anos a extração de material global triplicou, crescendo de 22 bilhões de toneladas em 1970 para cerca de 70 bilhões de toneladas em 2010 (UNEP, 2016b). Esse aumento da extração gerou e ainda gera uma grande pressão ambiental sobre os recursos do planeta, deixando claro que a busca por eficiência demandará um grande esforço político e econômico com vistas a adequar nossos meios de produção a um caminho mais sustentável.

Parte desses esforços, em conjunto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), devem apontar na direção de 4 perspectivas fundamentais nessa discussão: 1) a disponibilidade futura de recursos; 2) preços crescentes e voláteis de recursos; 3) o atual uso insustentável dos recursos renováveis; e 4) os impactos ambientais da extração e uso de recursos (UNEP, 2016a). Pensar nesses elementos é fundamental para a promoção de estratégias em busca de uma produção e um consumo mais sustentáveis, como dita o ODS 12.

Diante da crescente preocupação com o esgotamento de matérias primas e recursos e com o aumento acelerado da geração de resíduos sólidos no mundo, como mostrado nos dados citados nos parágrafos acima, torna-se essencial abordar essas questões a partir de novas perspectivas. Nesse sentido a presente dissertação foi elaborada, trazendo como enfoque a investigação de como a qualidade dos materiais secundários, aqueles provenientes da transformação dos resíduos, pode afetar a sustentabilidade da cadeia de reciclagem.

O uso dos recursos naturais é vital para a sobrevivência humana e de outros organismos vivos, e por isso é destaque nos ODS da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, onde vários deles estão diretamente ligados à gestão sustentável dos recursos naturais (ONU, 2015). Principalmente o objetivo número 12: “assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”.

Sendo assim, o aumento da eficiência do uso desses recursos gera benefícios a curto e longo prazo, leva a melhorias na resiliência econômica e ambiental, e ainda proporciona segurança para o desenvolvimento humano em equilíbrio com a proteção do meio ambiente (UNEP, 2016a). Além disso, de acordo com o IPCC (2014), o aumento da eficiência do uso de

recursos e materiais diversos na indústria, através de instrumentos políticos, também pode promover a mitigação das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

Hoje a maioria das nações busca pelas mais diferentes soluções para a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, tendo em vista a crescente complexidade e volume dos mesmos (ANNEPU, 2016; GENEROWICZ, 2014; PRZYDATEK, 2016; SHANMUGAM, 2013). Para a União Europeia, por exemplo, um dos objetivos é reduzir a produção de resíduos em termos absolutos, a fim de dissociar o crescimento econômico da utilização dos recursos e dos impactos ambientais (EEA, 2016).

Outro caminho é aumentar a eficiência no uso de recursos, que busca maior benefício por unidade de consumo de recursos naturais e poluição (HOEKSTRA; WIEDMANN, 2014). E mesmo que o aumento da eficiência na utilização dos recursos naturais não seja suficiente para diminuir o uso dos mesmos, a ecoeficiência poderá auxiliar na combinação de uma economia desejável, pensada a partir da utilização de recursos indesejáveis (FIGGE et al., 2017).

Vivemos em um planeta finito onde, apesar dos processos naturais reporem recursos como solo e combustíveis fósseis, o fazem a uma taxa extremamente lenta na perspectiva humana (DALY; FARLEY, 2004), o que significa que muitas das matérias primas transformadas em bens econômicos podem deixar de existir. O esgotamento dos recursos naturais já era uma preocupação do relatório para o Clube de Roma (MEADOWS et al., 1972), e fazia parte de uma lista de tendências a serem responsáveis pelo colapso do planeta caso não fossem impostos limites ao crescimento.

Em 1971, no clássico “The Entropy Law and the Economic Process”, Georgescu-Roegen também demonstrava preocupação com o papel dos recursos naturais no processo biofísico do desenvolvimento econômico, uma vez que os recursos naturais de valor (baixa entropia) eram transformados em resíduos sem valor (alta entropia). Sua tese alertava para a necessidade de levar em consideração a finitude dos recursos naturais e a geração de resíduos nas operações de produção e processos econômicos.

Se o desenvolvimento de um sistema econômico é limitado pela disponibilização de recursos naturais, torna-se crucial entender como a economia é sustentada pelo ecossistema global e como este é afetado pelo crescimento econômico (DALY; FARLEY, 2004). Portanto, a reciclagem deve colaborar para a diminuição da pressão sobre os recursos e contribuir para a criação de um movimento de energia e matéria cada vez mais circular e menos impactante.

Um dos maiores benefícios ambientais da reciclagem e do reuso está na sua capacidade potencial de deslocar a produção de material primário, e por isso, a necessidade de estudar e conhecer quais os mecanismos de mercado que governam esse deslocamento (ZINK; GEYER; STARTZ, 2016). No que diz respeito ao comércio de sucata na Europa, por exemplo, fatores como qualidade e necessidade impactam nas taxas de importação e exportação de sucata, e consequentemente nas taxas de reciclagem (BUCHNER et al., 2015).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) destaca a importância do papel da reciclagem ao colocar como um dos seus objetivos o incentivo à indústria da reciclagem, através do uso de matérias-primas e insumos oriundos de materiais recicláveis e reciclados (BRASIL, 2010).

Entretanto, para o funcionamento de programas de reciclagem, tanto para resíduos sólidos urbanos (RSU) quanto para resíduos sólidos industriais (RSI), pressupõe-se a existência de um mercado de recicláveis. Além disso, é importante pensar nas demais etapas que o envolvem: a coleta e segregação dos materiais; a valoração dos materiais; e a destinação final, ou seja, a reinserção dos materiais no ciclo produtivo (IPEA, 2012).

Por isso, é de extrema necessidade que estudos como esse possam de alguma maneira contribuir para o aumento da eficácia da reciclagem, estimulando ações políticas e de mercado, tendo em vista não só os benefícios ambientais, como sociais e econômicos, em busca de perspectivas mais sustentáveis.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo investigar em que medida o conhecimento das relações de qualidade entre material primário e secundário contribui para discutir impactos ambientais, econômicos e sociais no mercado da reciclagem. A investigação será realizada a partir de um estudo de caso com a liga de alumínio $AlSi_7Mg$, utilizada para fabricação de rodas automotivas.

A fim de alcançar o objetivo deste trabalho, optou-se por estudar o alumínio, um material muito utilizado no mundo inteiro para fabricação de diversos produtos e já inserido no mercado da reciclagem por ser um material 100% reciclável. Ainda, segundo a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), a produção de alumínio primário é eletrointensiva e, portanto, absorve uma considerável parcela do sistema energético do País.

Além disso, o conteúdo de alumínio em automóveis, tanto os de combustão interna quanto os elétricos, vêm aumentando devido às suas características de leveza e resistência, contribuindo para a redução do consumo de combustível, redução das emissões de CO_2 e segurança dos veículos. No Brasil, a lei do desmanche - Lei 12.977/2014 (BRASIL, 2014), foi

regulamentada em 2014, contribuindo para um maior fluxo de sucatas de alumínio e de possibilidades de reciclagem, tornando o mercado ativo e valorizado.

Entretanto, o alumínio é um elemento que nunca está sozinho, geralmente ele é utilizado em uma combinação de elementos que formam uma liga. Por isso, optou-se em realizar um estudo de caso utilizando especificamente a liga de alumínio $AlSi_7Mg$, que tem aplicação em um produto cada vez mais utilizado hoje: as rodas automotivas de liga de alumínio.

Ao planejar sistemas de reciclagem é importante escolher uma abordagem para o tratamento de fim de vida capaz de envolver tanto as questões técnicas e científicas, como também as questões políticas, econômicas e sociais. Nesse contexto, a Comissão Europeia definiu a abordagem de pegada ambiental do produto (na literatura inglesa, Product Environmental Footprint - PEF), com objetivo de avaliar desempenho ambiental de produtos, serviços e organizações (MANFREDI et al., 2012), buscando promover a criação de um mercado único para produtos verdes e também apoiar o mercado de materiais secundários (MENGARELLI et al., 2017).

Com isso, diferentes abordagens e fórmulas foram criadas para a contabilização de ônus e créditos do processo de reciclagem, tanto a partir da perspectiva do produto quanto do material. Dentre essas diferentes fórmulas, a fórmula integrada descrita por Wolf e Chomkham Sri (2014) foi escolhida para este trabalho, pois ela considera em seus cálculos as relações de qualidade entre material primário e secundário (WOLF; CHOMKHAM SRI, 2014).

A dissertação está dividida em 4 capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma contextualização de assuntos chave que embasam o trabalho, dividido em 4 temas: i) apresentação de um panorama das políticas públicas voltadas à economia circular, produção e consumo responsável e resíduos sólidos no Brasil e União Europeia; ii) o mercado da reciclagem; iii) a qualidade dos materiais secundários; e iv) sobre o alumínio.

O segundo capítulo versará sobre os métodos utilizados no trabalho. O capítulo 3 traz o estudo de caso com a liga de alumínio, apresentando resultados e algumas considerações. O capítulo 4 apresenta a análise SWOT da PNRS em conjunto com entrevistas realizadas com importantes atores na discussão da expansão do mercado de material secundário. Por fim, segue o capítulo de conclusões, para o fechamento do trabalho.

Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo investigar em que medida o conhecimento das relações de qualidade entre material primário e secundário contribui para discutir impactos ambientais, econômicos e sociais no mercado da reciclagem a partir do estudo de caso da liga AlSi₇Mg.

Objetivos Específicos

- I. Traçar um panorama das principais políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos no Brasil e União Europeia, e à economia circular, produção e consumo responsável na China, União Europeia e Brasil.
- II. Identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da Política Nacional de Resíduos Sólidos no âmbito geral dos resíduos sólidos, a fim de identificar oportunidades para expansão no uso de material secundário na perspectiva de produtores de material secundário e fabricantes.
- III. Compreender de que forma uma Declaração Ambiental de Produto (DAP) pode contribuir para o incentivo da reciclagem no Brasil.
- IV. Desenvolver um estudo de caso aplicando a metodologia de ciclo de vida em conjunto com a fórmula integrada para caracterizar impactos ambientais, econômicos e sociais resultantes de diferentes proporções de qualidade do material secundário na fabricação e reciclagem de uma liga de alumínio.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DOS TEMAS

O presente capítulo traz uma contextualização de assuntos chave que embasam o trabalho, partindo do pressuposto de que esses são aspectos importantes nas discussões que envolvem reciclagem e o mercado de matérias-primas secundárias. As duas primeiras seções, apresentadas como 1.1 e 1.2, atendem especificamente ao objetivo específico I.

1.1 Panorama das políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos no Brasil e União Europeia

As políticas voltadas aos resíduos sólidos na União Europeia são mais antigas que as do Brasil. Inicia com a publicação da Diretiva 75/442/CEE relativa a resíduos (COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPEIA, 1975), para fazer a regulamentação quanto à eliminação dos resíduos e ao incentivo da recuperação dos resíduos e utilização dos mesmos, a fim de preservar os recursos naturais. Em 2006, reafirma as diretrizes já estabelecidas e realiza uma renovação da mesma com a publicação da Diretiva 2006/12/CE (PARLAMENTO EUROPEU, 2006).

Posteriormente em 2008, a Diretiva de 2006 é revogada e substituída pela Diretiva 2008/98/CE. A nova diretiva estabelece um novo sistema de gestão de resíduos, baseado nas áreas de prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, outros tipos de recuperação, incluindo recuperação de energia e descarte (DEL-MORAL-AVILA et al., 2016). A diretiva busca reforçar a necessidade da prevenção e de introduzir uma abordagem que leve em consideração todo ciclo de vida dos produtos e materiais, e não apenas a fase de resíduo. Assim como reduzir os impactos ambientais da geração e gestão de resíduos, reforçando a valorização econômica e seu uso.

Em 2001, surge a Política Integrada dos Produtos (PIP), também conhecida como “Livro Verde” (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2001), a qual consistiu em uma estratégia de reforço e de reorientação das políticas ambientais em matéria de produtos, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de um mercado favorável à comercialização de produtos mais ecológicos e promover um debate público sobre o tema.

A Política Integrada dos Produtos afirma ser essencial a participação de todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida dos produtos. Isso significa investimento da indústria em produtos que respeitem o meio ambiente, as empresas de distribuição colocar os produtos verdes à disposição dos consumidores e informá-los sobre sua existência e vantagens, e por fim, ser uma opção dos consumidores escolher produtos com maior durabilidade e menor impacto ambiental.

Outras observações destacadas pelo Livro Verde no que diz respeito à otimização de mercado são: a possibilidade de taxas de impostos diferenciadas em função do desempenho ambiental do produto; preço do produto refletindo o seu custo ambiental; e ampliação da responsabilidade do produtor para outros setores além dos veículos em fim de vida útil e equipamentos elétricos e eletrônicos.

Destaca-se a necessidade de uma educação dos consumidores e das empresas como forma de incentivo a um consumo mais ecológico, com base em informações técnicas claras e relevantes, que poderiam ser adquiridas através da rotulagem dos produtos e de outras fontes de informação.

No Brasil, as questões envolvendo resíduos sólidos e sua gestão, passaram a ser orientadas pela lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. A normativa dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos, assim como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos; às responsabilidades dos geradores e poder público; e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Dentre os diversos objetivos estabelecidos pela lei, destaca-se a sequência de: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; e incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

No objetivo que diz respeito a dar prioridade nas aquisições e contratações governamentais, podemos destacar: a) produtos reciclados e recicláveis; b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis; c) integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; d) estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; e) incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético; f) estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Este último objetivo reforça uma série de instrumentos que podem ser utilizados para dar um caráter sustentável à política, fomentando e reforçando ideias discutidas anteriormente a respeito da economia circular e à produção e consumo responsáveis.

1.2 Panorama das políticas públicas voltadas à economia circular, produção e consumo responsável na China, União Europeia e Brasil

Nos últimos anos a economia circular (EC) tem se destacado como modelo para repensar os atuais padrões de produção e consumo. A adoção de um padrão de produção em ciclo fechado, ou seja, onde o resíduo resultante do processo de produção possa retornar para o mesmo processo, promove a sustentabilidade dentro de um sistema econômico, pois possibilita uma relação mais equilibrada entre economia, meio ambiente e sociedade.

A Fundação Ellen MacArthur, que tem como missão acelerar a transição rumo a uma economia circular, agrupa a Economia Circular em 3 princípios básicos, que são: 1) eliminar resíduos e poluição por princípio; 2) manter produtos e materiais em ciclos de uso; 3) regenerar sistemas naturais. Além deles, outras questões e temas também estão diretamente envolvidos e podem ser abordados, como o ecodesign, o pensamento do ciclo de vida e a manutenção e durabilidade de produtos.

Segundo Ghisellini et al. (2016), as raízes da economia circular surgiram da economia ecológica e ambiental e da ecologia industrial, e possui como objetivo final dissociar pressão ambiental do crescimento econômico. O estudo também afirma que a implementação da EC ainda está em estágios iniciais em todo o mundo, com foco principalmente em reciclagem.

A economia circular pode ser vista como uma alternativa para ecossistemas industriais, através da minimização de desperdícios, da reutilização, da reciclagem, da reparação e da remanufatura, além de gerar empregos, economizar energia, reduzir o consumo e o desperdício de recursos (STAHEL, 2016).

Na China, a economia circular despertou nos anos 90, após reconhecer riscos econômicos e ambientais resultantes da superexploração dos recursos do país. Com isso, o governo chinês viu na economia circular uma oportunidade de lidar com eles, como fizeram Alemanha e Japão (MATHEWS; TAN, 2016). Diversas agências do governo adotaram políticas fiscais e taxações, além de incentivar os parques industriais e se tornarem eco-industriais e conceder incentivos fiscais às empresas do setor de reutilização. Órgãos e agências do governo chinês passaram a adotar princípios de economia circular e a promover casos de simbiose industrial, como por exemplo o da Zona de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico de Rizhao.

Ao adotar a economia circular como prioridade o governo chinês implementou várias ações para construção de políticas regulatórias. A primeira delas com a “Promoção da Produção Mais Limpa”, lei que entrou em vigor em 2003. Posteriormente, a Lei sobre Prevenção da

Poluição e Controle de Resíduos Sólidos em 2005. Em 2008, foi criada a Lei de Promoção da Economia Circular com o objetivo de promover o desenvolvimento da economia circular, melhorar a eficiência de uso dos recursos, proteger o ambiente e realizar o desenvolvimento sustentável (GENG et al., 2012).

O regulamento foca em estratégias e ações de ecodesign e produção mais limpa a nível das empresas, e à nível inter-empresarial, foca no incentivo do desenvolvimento de parques e redes eco-industriais. À nível nacional, busca promover atividades de produção e consumo sustentáveis, orientada para a reciclagem.

À frente das regulamentações centradas na EC está a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (National Development and Reform Commission- NDRC), onde o Departamento de Conservação de Recursos e Proteção Ambiental é o responsável pela elaboração das políticas nacionais de EC (GENG et al., 2012). A NDRC iniciou diversos projetos piloto nacionais de EC, fomentando a participação de empresas, parques industriais e diversas províncias e cidades.

A experiência europeia na implementação de uma economia circular começou a nascer na elaboração de políticas a partir de 2008, com a publicação da diretiva 2008/98/CE relativa a resíduos, e da Comunicação Europa 2020 - uma estratégia para o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo - publicado pela Comissão Europeia em 2010.

Logo em 2011, a Comissão Europeia lançou a COM (2011) 571, intitulada “Roteiro para uma Europa Eficiente na utilização de recursos” (COMISSÃO EUROPEIA, 2011), elucidando o que será necessário fazer para colocar a UE na via de um crescimento sustentável e eficiente na utilização de recursos, e de proporcionar uma perspectiva estável para a transformação da economia.

Em 2014, a Comissão Europeia publicou a Comunicação COM (2014) 398, intitulada: “Para uma economia circular: programa para acabar com os resíduos na Europa” (COMISSÃO EUROPEIA, 2014). O documento destaca que a busca pela economia circular exige mudanças que vão desde a criação dos produtos, passando por alterações nos modelos empresariais e de mercado, até novos padrões de comportamento dos consumidores.

Em 2015, a Comissão lançou um plano de ação em busca da economia circular, descrito pela Comunicação COM (2015) 614 (COMISSÃO EUROPEIA, 2015). Nele, destaca-se que a transição para uma economia circular passa pela busca de manter o valor dos produtos, materiais e recursos o máximo de tempo possível na economia, reduzindo a produção de resíduos.

O plano de ação, em conjunto com outras legislações relativas aos resíduos, busca reduzir a deposição em aterros e aumentar as taxas de reutilização e reciclagem. A ideia é incentivar os Estados-Membros a investirem cada mais na gestão de resíduos, promovendo incentivos econômicos e ampliando a responsabilidade do produtor.

O documento salienta que a economia circular aumenta a proteção das empresas contra a escassez de recursos e a volatilidade dos preços, contribuindo para a impulsão da competitividade da UE. Além disso, estimula a inovação em relação a formas mais eficientes de produção e consumo, diminuição do uso de energia e busca evitar danos irreversíveis causados pelo uso de recursos acima dos limites de suporte da Terra.

O plano de ações propõe alterações em várias áreas para apoiar a transição para uma economia circular na UE. Na área de produção (concepção de produtos e processos); na área de consumo; gestão de resíduos; incentivo ao mercado das matérias-primas secundárias e a reutilização da água; prioridade para os setores que enfrentam desafios específicos no âmbito da economia circular, devido a especificidade dos seus produtos ou cadeias de valor; inovação, investimento e outras medidas; e por fim, uma avaliação dos progressos realizados em busca de uma economia mais circular e a eficácia das medidas tomadas a nível nacional e da UE.

O “pacote” de ações inclui propostas a longo prazo para a gestão de resíduos e a reciclagem. Incluindo reciclar 65% dos resíduos urbanos até 2030; reciclar 75% dos resíduos de embalagens até 2030; reduzir a disposição dos resíduos urbanos em aterro a um máximo de 10% até 2030; proibição da deposição em aterro de resíduos recolhidos separadamente; promoção de instrumentos econômicos para desestimular a deposição em aterro; definições simplificadas e melhoradas e métodos de cálculo harmonizados para as taxas de reciclagem em toda a UE (COMISSÃO EUROPEIA, 2018).

Como parte do esforço para tornar a economia da UE mais sustentável e colocar o Plano de Ação em ação, em janeiro de 2018, a Comissão Europeia adotou um novo conjunto de medidas, incluindo:

- Estratégia da UE para Plásticos na Economia Circular em toda a Europa, a fim de transformar a maneira como plásticos e produtos plásticos são projetados, produzidos, utilizados e reciclados. Estabelece que até 2030, todas as embalagens plásticas devem ser recicláveis;

- Uma Comunicação abordando a interface entre a legislação e avaliando como as regras sobre resíduos, produtos e produtos químicos se relacionam entre si;

- Um quadro de acompanhamento dos progressos no sentido de uma economia circular a nível da UE e nacional;

- Um Relatório sobre Matérias-Primas Críticas e a economia circular, destacando 27 materiais críticos com potencial para tornarem-se circular.

Além desse arcabouço documental e legislativo que a União Europeia vem construindo ao longo dos últimos anos a respeito de economia circular, podemos destacar alguns trabalhos científicos que de alguma maneira contribuem para as discussões a respeito do tema.

Dentre os diversos instrumentos descritos na nova política ambiental da UE, a adoção de um modelo econômico que preze pela busca de produtos e serviços com maior ciclo de vida possível pode auxiliar a moderar os efeitos negativos das mudanças climáticas (WYSOKIŃSKA, 2016). A economia circular também está diretamente ligada à eco inovação, e por isso, Smol et al. (2017) propõem indicadores de economia circular baseados em fatores de eco inovação, criados a partir de uma base de dados já existentes.

Interessante analisar que o conceito de economia circular pode ter diferentes entendimentos no discurso político. McDowal et al. (2017) apresenta evidências sobre os diferentes entendimentos para o governo chinês e europeu. Para o primeiro, a perspectiva é ampla, e para além da preocupação com resíduos e recursos, engloba poluição e outras questões. Já para a União Europeia o escopo ambiental fica mais restrito ao desperdício, recursos e oportunidades para negócios.

Bocken et al. (2017) levantam alguns aspectos para a que a circularidade aumente de nível, tais quais: a viabilidade e o valor de aumentar esforços para replicação e escala da circularidade; avaliação rigorosa do real benefício ambiental a partir de fluxos de materiais, uso de recursos e design de produtos; criação de modelos de negócios inovadores, mudanças institucionais e ações políticas.

No Brasil não são encontrados documentos do governo que legislem especificamente sobre a economia circular. A temática ainda é emergente, sendo que somente a partir de 2006 há publicações sobre economia circular na base Web of Science, com a China liderando em número de publicações e a América Latina com baixa representatividade (DEUS et al., 2017).

Apesar da falta de legislação e publicações a respeito da economia circular no Brasil, a Fundação Ellen MacArthur, uma líder global de pensamento que tem por objetivo inserir a economia circular na agenda de tomadores de decisão no mundo dos negócios, governo e academia, reuniu em um documento, alguns casos de atividades de economia circular já existentes no Brasil. O documento faz parte do programa CE100 Brasil, lançado em 2015 pela

Fundação, concebido especialmente para organizações que tenham identificado oportunidades no mercado brasileiro.

Para o Brasil, vamos encontrar aspectos da economia circular nas definições de logística reversa, reciclagem, responsabilidade compartilhada e reutilização, instituídas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, (BRASIL, 2010). Isso porque todas incorporam a ideia de manter o valor dos produtos, materiais e recursos o máximo de tempo possível na economia, reduzindo a produção de resíduos. Mas hoje, não há nenhuma política destinada especificamente ao fomento da economia circular.

Em janeiro de 2016 entrou em vigor os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, aprovados por líderes mundiais em setembro de 2015 em uma Cúpula da ONU. Dentre eles encontra-se o de número 12 “consumo e produção responsáveis”, que tem como objetivo assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

O objetivo nº 12 estabelece diretrizes para diminuição do uso de recursos, degradação e poluição ao longo do ciclo de vida, aumentando ganhos de bem-estar das atividades econômicas e de qualidade de vida. Requer uma abordagem sistêmica e cooperativa entre diferentes atores, desde os que atuam na cadeia de fornecimento, passando por produtores e consumidores finais. A proposta é engajar e conscientizar consumidores por meio de padrões, rótulos e outros tipos de comunicação, sobre o consumo sustentável.

Para a União Europeia, o consumo e a produção sustentáveis são destaques tanto no Plano de Ação sobre Tecnologias Ambientais quanto na Estratégia Europa 2020, e destina-se a promover o crescimento econômico e a coesão social sem prejudicar a qualidade ambiental. Por isso o investimento da Comissão Europeia em adotar o pacote sobre economia circular publicado em 2015 (COMISSÃO EUROPEIA, 2016).

Em 2008, a Comissão Europeia publicou na Comunicação COM (2008) 397 o “Plano de Ação para um Consumo e Produção Sustentáveis e uma Política Industrial Sustentável” (COMISSÃO EUROPEIA, 2008), que apresenta um conjunto de medidas e instrumentos políticos, com o objetivo de estimular um consumo e produção mais sustentáveis, tornando a economia europeia mais competitiva.

O elemento central do plano de ação é buscar a melhoria do desempenho energético e ambiental dos produtos e incentivar a utilização desses produtos pelos consumidores. Enfim, o desafio é melhorar o desempenho ambiental global dos produtos, promover a procura por produtos e tecnologias de produção mais adequados e auxiliar os consumidores em escolhas

mais conscientes por meio de informações disponibilizadas por um sistema de rotulagem coerente e simples.

O “Roteiro para uma Europa Eficiente na utilização de recursos”, lançado na comunicação COM (2011) 571, possui uma descrição de propostas com vistas a atingir uma maior promoção da produção e consumo sustentáveis. No que diz respeito especificamente a produtos, destaca-se a intenção de criar uma abordagem metodológica comum para permitir aos Estados-Membros e ao setor privado, avaliar e apresentar análises comparativas de desempenho ambiental de produtos e serviços, com base em avaliações de impacto ambiental ao longo do ciclo de vida (pegada ecológica).

Surge então, em 2013, a comunicação COM (2013) 196 “Construir o Mercado Único dos Produtos Ecológicos - Facilitar uma melhor informação sobre o desempenho ambiental de produtos e organizações” (COMISSÃO EUROPEIA, 2013). Tanto consumidores quanto produtores se deparam com obstáculos à comercialização e aquisição de produtos mais eficientes devido às incertezas sobre o que constitui um verdadeiro produto ecológico. Para melhorar a forma como é medido e comunicado o desempenho ambiental de produtos e organizações, a Comissão dá um passo importante ao estabelecer essa comunicação.

Em 2010, a Comissão Europeia publica o Manual do Sistema Internacional de Dados de Referência sobre o Ciclo de Vida (na literatura inglesa, International Life Cycle Platform - ILCD), que fornece orientações técnicas para estudos sobre Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e base técnica para elaboração de critérios, guias e instrumentos para categorias específicas de produtos. No mesmo ano, o Conselho da União Europeia convidou a Comissão a desenvolver um método comum para o cálculo da pegada ambiental dos produtos. São então desenvolvidos os métodos da Pegada Ambiental dos Produtos (na literatura inglesa, Product Environmental Footprint - PEF) e da Pegada Ambiental das Organizações (na literatura inglesa, Organisation Environmental Footprint - OEF) (COMISSÃO EUROPEIA, 2013).

As melhorias propostas pelos novos métodos incluíram: uma clara identificação das potenciais categorias de impacto ambiental a considerar numa ACV completa; a necessidade de quantificar e de estabelecer requisitos mínimos para a qualidade dos dados e; instruções técnicas mais claras quanto a alguns aspectos críticos do estudo de ACV, como por exemplo, a reciclagem.

Para permitir fazer comparações, os métodos PEF e OEF requerem o desenvolvimento de Regras de Categoria de Produtos-RCP (na literatura inglesa Product Environmental Footprint Category Rules – PEFCRs), de modo a permitir comparar resultados de avaliações

distintas dentro de uma mesma categoria de produtos ou setor. A Comissão também busca apoiar atividades específicas no desenvolvimento de métodos específicos para cada setor e categoria de produtos, trabalhando sempre para promover a compatibilidade entre métodos. Para isso, organizou uma fase piloto, que consistiu em um ensaio da aplicação dos métodos da pegada ambiental, entre os anos de 2013 e 2016.

Para auxiliar essa fase piloto, a comissão publicou em 2012 o Product Environmental Footprint (PEF) Guide, um guia que fornece um método para modelar os impactos ambientais dos fluxos de material/energia e as emissões e fluxos de resíduos associados a um produto ao longo de seu ciclo de vida. O guia orienta sobre como calcular um PEF, bem como sobre como desenvolver requisitos metodológicos específicos de categoria de produto para uso nas Regras de Categoria de Pegada Ambiental do Produto.

No Brasil, antes mesmo dos objetivos propostos pela ONU em 2015, o Brasil já havia lançado em 2011 o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (PPCS), com o objetivo de direcionar o país, tanto a nível de setor produtivo quanto de sociedade, a padrões mais sustentáveis de produção e consumo (MMA, 2011).

O plano, lançado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), foi criado para articular as principais políticas ambientais e de desenvolvimento do país, auxiliando no alcance de suas metas e incluindo práticas produtivas sustentáveis e de adesão do consumidor. Também se insere no debate mundial sobre economia verde, servindo como instrumento para a transição deste novo modelo.

As ações do primeiro ciclo do plano, que foi de 2011 a 2014 foram focadas em 6 áreas principais: (1) educação para o consumo sustentável; (2) varejo e consumo sustentável; (3) aumento da reciclagem; (4) compras públicas sustentáveis; (5) construções sustentáveis e; (6) agenda ambiental da administração pública – A3P.

São utilizados como instrumentos para sua implementação: pactos setoriais; ações governamentais; iniciativas voluntárias; ações de parceria e forças-tarefa. Através deles, o PPCS busca implementar ações públicas e privadas, individuais ou em parceria. O plano de ação é gerido por um Comitê Gestor, responsável pela sua elaboração e implementação.

Recentemente, em abril de 2018, o Comitê Gestor Nacional de Produção e Consumo Sustentáveis coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, por meio da Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental, coordenou a primeira reunião do ano. Na mesma, foi realizada uma oficina de trabalho que gerou encaminhamentos para fortalecer a agenda no Brasil.

A reunião serviu para discutir as diretrizes do 2º Ciclo do Plano de Ação para Produção e Consumos Sustentáveis - 2016-2020 (MMA, 2015b), buscando reforçar ações, parcerias e iniciativas desenvolvidas, e construir novas estratégias com o objetivo de alcançar a meta 12 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Na reunião também foi apresentado o relatório de gestão do PPCS.

Dentre desse plano de ação podemos destacar duas prioridades que dialogam mais de perto com a economia circular, discutida anteriormente. São eles, as compras públicas sustentáveis e o aumento da reciclagem de resíduos sólidos. No primeiro, a ideia é incentivar a administração pública a adotar um sistema de compras públicas que sigam pré-requisitos sustentáveis, a fim de incentivar setores industriais e empresas, aumentando a oferta de produtos e serviços sustentáveis. No segundo, a ideia é incentivar a reciclagem tanto a nível de consumidor quanto de setor produtivo, através de ações compatíveis com os princípios estabelecidos para resíduos na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

1.3 O mercado da reciclagem

Em parte, o que movimenta o mercado da reciclagem é a disponibilidade de materiais secundários, que em geral são resultantes do final de vida útil dos bens de consumo. Entretanto, muitas empresas utilizam esses materiais como insumo em suas operações comerciais (CHOI et al., 2011). Além disso, a demanda por recursos primários pode ser substancialmente reduzida ao aumentar a taxa de reciclagem de produtos em fim de vida (HENCKENS; DRIESSEN; WORRELL, 2014).

Hoje, a reciclagem além de desempenhar um papel essencial na gestão de resíduos, também entrou para o ramo de negócios lucrativos, tendo em vista o aumento dos preços dos recursos naturais (LU; QI; LIU, 2014). Um bom exemplo são os celulares, que possuem parte de seu peso composto por metais de alto valor econômico e cada vez mais escassos.

O aumento do uso de materiais secundários (sucata ou reciclados) é citado por diversos trabalhos como sendo uma estratégia chave na prevenção do esgotamento de recursos não renováveis, no uso sustentável de materiais, na redução do consumo energético e das emissões, e muitas vezes na redução dos custos de produção (GAUSTAD; OLIVETTI; KIRCHAIN, 2011; OLIVETTI et al., 2011).

Além do forte apelo ambiental, o fator de mercado também tem um peso a considerar quando pensamos a influência da reciclagem na economia de um país. Cada vez mais, as empresas não são só julgadas pelo seu desempenho econômico, mas também pelos

desempenhos ambiental e social, completando o famoso “Triple Bottom Line.” (ROWE; EKSIUGLU; EKSIUGLU, 2017), ou seja, o tripé da sustentabilidade.

A existência de um mercado internacional de materiais reciclados pode desempenhar um papel importante no aumento do incentivo econômico para reciclagem em alguns países, reduzindo danos ambientais e fornecendo uma fonte adicional de materiais (GRACE; TURNER; WALTER, 1978).

Para Del-Moral-Avila et al. (2016), a necessidade de estudos a respeito de níveis de reciclagem e sobre os fatores que podem influenciá-la são essenciais nesse momento em que há uma valorização, do ponto de vista socioeconômico, das atividades envolvendo coleta e tratamento de resíduos e da reciclagem nos países desenvolvidos, incluindo a geração de empregos “verdes”.

Na Espanha, por exemplo, um estudo introduz um índice de reciclagem a fim de examinar a influência de fatores como densidade populacional, nível de industrialização, qualidade de vida das famílias, tipo de área (urbana ou rural) e clima local, sobre o tipo e a quantidade de resíduos gerados. Os resultados do estudo apontaram como maiores influências: o padrão de vida, a atividade econômica predominante e o clima na região. Sugeriu-se também uma crescente conscientização da população sobre o assunto, que poderia estar levando a um aumento progressivo nas taxas de reciclagem (DEL-MORAL-AVILA et al., 2016).

Mesmo que a reciclagem tenha nascido por uma questão de economia de materiais e produção, o crescimento dos mercados de várias classes de materiais recicláveis deve-se em grande parte aos incentivos de políticas públicas (NICOLLI; JOHNSTONE; SÖDERHOLM, 2012). Os autores citam que algumas medidas, tais como: coleta de resíduos, sistemas de restituição de depósitos e compras públicas podem apoiar diretamente o desenvolvimento de mercados de reciclagem. E indiretamente, através da internalização de externalidades, tanto na parte de gestão de resíduos quanto na fase de extração de matérias-primas.

Já em 1995, Thierry et al. (1995) falavam sobre a necessidade de as empresas manufactureiras desenvolverem uma política de gerenciamento de recuperação de produtos ou PRM (na literatura inglesa, Product Recovery Management). A PRM abrange o gerenciamento de todos os produtos, componentes e materiais usados e descartados por uma empresa de manufatura e tem como objetivo recuperar o máximo possível do valor econômico e ambiental, garantindo também a redução de resíduos e o uso de produtos descartados como fonte de componentes e materiais (THIERRY et al., 1995).

Em termos de mercado, os preços do material primário e secundário podem ser influenciados pelo aumento da reciclagem ou reutilização, afetando a demanda geral de material. Essa demanda pode afetar a taxa de deslocamento, ou seja, o quanto de material secundário substitui o primário, tornando o fenômeno complexo. A falta de deslocamento reduz os benefícios ambientais da reciclagem ou reutilização, portanto, é necessário um cuidado ao estimar taxas de deslocamento, já que as avaliações ambientais tendem a supor que elas ocorrem em uma base de um para um (ZINK; GEYER; STARTZ, 2016).

Ao calcular taxa de deslocamento, os resultados de Zink et al. (2016) indicam que é improvável que uma taxa de deslocamento chegue a 100% para materiais geralmente reciclados. Já o deslocamento zero é possível e ocorre em casos em que o material secundário é uma substituição ruim se tiver propriedades técnicas inferiores.

No quesito liderança de preço, o mercado com produtos feitos predominantemente de materiais virgens ou reciclados segue uma lógica interessante. Ao contrário do que intuitivamente se acha, que são os materiais virgens que definem os preços dos materiais reciclados, o trabalho de Chen e Liu (2014) demonstrou que são os preços de PET e papelão reciclados que definem os preços dos produtos baseados em materiais virgens (CHEN; LIU, 2014).

Outro fator atrelado ao mercado diz respeito à reciclagem em ciclo aberto, onde os encargos ambientais atribuídos à reciclagem de um produto afetam outros ciclos de vida, assim como os mercados. Ao usar um modelo conceitual baseado no pressuposto de que o material reciclado do ciclo de vida investigado substitui outros materiais de algum tipo, Ekvall (2000) demonstra que os efeitos indiretos da reciclagem em ciclo aberto podem ser estimados em termos de elasticidades de oferta e demanda quando a taxa de reciclagem é decidida por forças econômicas.

Nicolli et al. (2012) apontam que as causas fundamentais da falha de mercado nos mercados de reciclagem estão relacionadas a informações imperfeitas, custos de busca e transação, externalidades tecnológicas e de consumo e outros fatores. O autor argumenta que a inovação tecnológica pode desempenhar um papel significativo na superação dessas falhas, na medida que permitiria conhecer melhor as características dos diferentes materiais. Algumas dessas inovações são: a desmontagem de produtos, a fim de facilitar a recuperação de componentes recicláveis; a identificação e triagem de resíduos mistos, permitindo aumentar a “pureza” dos insumos reciclados; e o monitoramento e avaliação das propriedades físicas e

químicas de produtos ou componentes produzidos a partir de insumos reciclados (NICOLLI; JOHNSTONE; SÖDERHOLM, 2012).

Utilizando a teoria dos jogos cooperativos, Lu et al. (2014) examinam como diferentes empresas podem cooperar em suas decisões de reciclagem e preços a partir de operações de reciclagem em produções conjuntas e individuais com diferentes estruturas de custos. Os resultados demonstram que: 1) a cooperação em operações de reciclagem é possível através de decisões racionais tomadas pelas empresas; 2) mais produtos residuais seriam reciclados com mais empresas cooperando, o que deveria ser incentivado pelas autoridades centrais; 3) com a proposta de alocação central, a receita gerada por cada empresa não será compartilhada com outras, o que gera incentivo para que as empresas aumentem a eficiência de seus canais individuais de mercado; 4) os altos custos em instalações de reciclagem individuais incentivam as empresas a aumentar a eficiência através de economias de escala nas suas operações de reciclagem (LU; QI; LIU, 2014).

Diversos são os fatores que podem influenciar o preço dos materiais primários e secundários e, portanto, do mercado da reciclagem. Para aumentar o incentivo ao design para reciclagem, Chen e Liu (2014) indicam a necessidade da compreensão adequada, por parte das empresas, das suas operações relevantes; do marketing; dos componentes financeiros e competitivos; de estratégias e políticas, que venham a ser estratégicos para a projeção de produtos mais sustentáveis a partir do uso de material reciclado/reciclável.

Analisando setores formais e informais na área de processamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), Liu et al. (2016) constataram que a promoção do desenvolvimento saudável da indústria da reciclagem depende do ajuste de subsídios governamentais ao setor formal, já que o reciclador informal sempre tem um preço de aquisição melhor para capturar uma maior participação no mercado.

Quanto ao mercado brasileiro, os segmentos que possuem maior participação em termos de reciclagem no Brasil correspondem somente aos setores de alumínio, papel e plástico, que possuem associações representativas. Para o papel o Brasil registrou uma taxa de recuperação de 63,4% em 2015. Dentre os diversos tipos de plásticos utilizados, os dados disponíveis indicam um índice de 51% para a reciclagem de PET em 2015 (ABRELPE, 2017).

No que diz respeito ao alumínio, apesar da sua alta reciclabilidade, a relação entre sucata reciclada e consumo doméstico no Brasil situa-se em torno de 38,5% e a média mundial é de aproximadamente 27% (ABRELPE, 2017). Em 2015, foram recicladas 602 mil toneladas de alumínio no Brasil. Já o índice de reciclagem de latas de alumínio para bebidas alcançou 97,9%

em 2015 (ABRELPE, 2017). Apesar de estar acima da média mundial, o Brasil possui potencial para aumentar as taxas de reciclagem, utilizando as latas de alumínio como exemplo e meta para o restante dos produtos em alumínio e para outros materiais recicláveis.

Portanto, espera-se que estudo possa ajudar a enriquecer o debate sobre essas questões do mercado da reciclagem, inserindo na discussão as questões envolvidas com a qualidade dos materiais secundários. No item a seguir, uma contextualização sobre essas questões de qualidade no contexto da reciclagem.

1.4 Sobre a qualidade dos materiais secundários

O aumento da reciclagem é uma estratégia fundamental para o uso sustentável de materiais. Existem muitas barreiras para aumentar a reciclagem, incluindo problemas de qualidade no fluxo de sucata (GAUSTAD; OLIVETTI; KIRCHAIN, 2011) e também de logística.

De acordo com Nicolli et al. (2012), “qualidade” pode significar diferentes coisas, como por exemplo: a) presença de contaminantes em óleos usados; b) a resistência estrutural da sucata; c) a mistura de plásticos, etc. Tudo isso pode reduzir o valor de mercado dessa materiais, mas especificamente a presença de substâncias perigosas pode interferir diretamente no custo de recuperação de um material, ainda que ele carregue todo potencial para ser recuperado (NICOLLI; JOHNSTONE; SÖDERHOLM, 2012).

Por conseguinte, questões envolvendo a qualidade de materiais secundários tornam-se essenciais em termos de valoração do mercado de resíduos. No caso do couro, por exemplo, o valor do material reciclado está diretamente relacionado à qualidade ou pureza do reciclado produzido, quanto mais puro o material, maior o valor agregado (PRINGLE; BARWOOD; RAHIMIFARD, 2016). Isso exige o desenvolvimento ou a adaptação de tecnologias de reciclagem que acompanhem essas variações de qualidade, dependendo da complexidade do produto ou material.

A cada etapa de reciclagem os materiais em geral perdem qualidade devido à presença de contaminantes, por isso, uma estratégia utilizada é adicionar recursos primários de alta pureza ao processo, a fim de diluir contaminações indesejadas e elevar o grau de qualidade do material (AMINI et al., 2007). Essa queda de qualidade deve-se à forma como os átomos na estrutura do material estão dispostos, de tal maneira que suas propriedades diminuem, aumenta sua entropia devido à mistura de contaminantes e, às vezes, há reação com outros compostos (CASTRO et al., 2007).

Essa variabilidade na qualidade da matéria-prima é um dos problemas enfrentados por produtores que utilizam recursos reciclados, pois pode desvalorizar o produto. No entanto, é possível identificar portfólios de materiais secundários ou renováveis com características superiores às de qualquer material primário ou sintético. Para o planejamento no uso de materiais na indústria, isso pode possibilitar um maior gerenciamento de riscos e custos, o que reforça a importância em coletar informações sobre a qualidade da matéria-prima reciclada a ser utilizada na produção (OLIVETTI et al., 2011).

Por exemplo, quando o sistema de reciclagem de metais utiliza o sistema de trituração, a mistura entre ligas e metais comuns pode levar a um nível de contaminação dos metais secundários que poderá exigir a diluição com uso de metais primários (NAKAMURA et al., 2012; NAKAMURA; YAMASUE, 2010). Portanto, o nível de qualidade do material secundário dependerá também das: d) tecnologias empregadas e; e) dos processos de coleta e separação de materiais.

Para que um sistema de reciclagem tenha sucesso, é essencial a existência de mercados secundários que recebam os materiais recuperados. Por isso Pringle et al. (2016) alertam para a importância de conhecer: f) as propriedades físicas dos materiais recuperados, bem como, g) a necessidade de pré-processamentos, a fim de cumprir determinadas exigências ou requisitos funcionais dos clientes em relação a essas matérias primas originadas de resíduos. Esse cuidado também visa auxiliar o estabelecimento de preços competitivos.

Zink et al. (2016), ao estudarem os mecanismos envolvidos no deslocamento de produção de material primário quando há reciclagem ou reutilização de produtos ou materiais, sugeriram que as taxas de deslocamento diminuem à medida que os materiais secundários têm propriedades técnicas inferiores.

Já a melhoria na classificação, na limpeza e no pré-processamento dos materiais coletados pode fazer com que o material secundário atenda a determinadas especificações técnicas, tornando-o apto a substituir o material primário. Além disso, aumenta a disposição e a capacidade de os compradores de material primário mudarem para material secundário, aumentando a taxa de deslocamento (ZINK; GEYER; STARTZ, 2016).

Nessa mesma linha, Gaustad et al. (2010) avaliaram o uso de materiais reciclados na produção de ligas secundárias e as estratégias mais eficientes no aumento do uso de sucata, com o objetivo de minimizar custos de produção e garantir boas especificações de composição. Por exemplo, o fornecimento de uma análise detalhada dos fluxos de sucata de alumínio é

importante, uma vez que o valor da reciclagem é prejudicado quando as correntes de liga são misturadas, diminuídas ou diluídas durante a fusão (CULLEN; ALLWOOD, 2013).

Muitos dos produtos fabricados pelas indústrias são constituídos por diversos materiais, o que acaba por dificultar e tornar mais dispendioso o trabalho para os recicladores no processo de desmontagem dos produtos após seu descarte. Uma das etapas realizadas pelos recicladores inclui a trituração, que pode gerar contaminações devido à mistura de materiais, tornando algumas combinações de materiais incompatíveis com a reciclagem devido às perdas de propriedade do material reciclado e, portanto, sua desclassificação quanto ao uso destinado (CASTRO et al., 2007).

A avaliação de fluxos que interligam metais, ligas e produtos em fim de vida é muito difícil (AMINI et al., 2007). O controle e a previsão da qualidade, que está diretamente relacionada à composição da liga (presença ou não de contaminantes, óxidos, etc) e o poder calorífico (MJ/kg) das frações orgânicas, são essenciais para viabilizar os processos metalúrgicos e térmicos que permitam a produção de produtos metálicos de qualidade, com o mínimo de perdas e emissões (REUTER et al., 2006).

Ainda que possa acontecer a contaminação em processos de reciclagem, é necessário avaliar se ela de fato prejudica o material a ser recuperado. No trabalho de D. Nagolska (2007), o metal recuperado por reciclagem, usado para o processo de fabricação de compósitos, não mostrou crescimento significativo de contaminação e a análise química da composição mostrou apenas ligeiro desvio da composição da liga utilizada para a produção do compósito. Ainda assim, permite a obtenção de um metal que pode ser usado novamente na fabricação de compósitos.

No modelo testado por Reuter et al. (2006), baseado na física de separação e termodinâmica de alta temperatura da atual tecnologia de reciclagem, comprovou-se que é muito difícil ou mesmo impossível atingir uma taxa de 95% de reciclagem de materiais e recuperação energética para carros em final de vida, conforme objetivo da União Europeia.

No caso da sucata de aço disponível mundialmente, cerca de 10% (50 milhões de toneladas) são sucatas pós-consumo que estão contaminadas com elementos como cobre, zinco, estanho, cromo, níquel, molibdênio, fósforo e enxofre – e esses elementos afetam resistência mecânica, resistência à corrosão, podem ocasionar problemas para fundição e afetar propriedades do produto (REM; BROECK; BAKKER, 2012).

Rem et al. (2012) afirmam que para produzir aço de alta qualidade, os níveis de contaminantes na sucata pós-consumo devem ser reduzidos por seleção manual ou por seleção

de sensores. Segundo eles, o processamento mecânico e a seleção manual são utilizados como solução para reduzir os níveis de contaminação da sucata pós-consumo, porém, uma avaliação das tecnologias de purificação existentes deixa claro que ainda há possibilidades de ganho tanto em termos de custos do processo quanto de recuperação de valor.

Shabanov et al. (2014) introduziram a prática de classificar a sucata de aço com base no conteúdo de elementos residuais, para uso na produção de aço ferroviário. Ao usar sucata "limpa" e "semi-limpa", o consumo de ferro gusa diminuiu em 80,4 kg/tonelada na produção de ferro, além de baixar o custo da produção em 2 dólares por tonelada e melhorar a qualidade do ferro aço em termos de conteúdo de fósforo e elementos residuais.

Na área da construção civil, Vegas et al. (2015) avaliaram e discutiram o desempenho de soluções de triagem, com uso de sensor infravermelho, no fornecimento de agregados reciclados com qualidade técnica e ambiental maior para a fabricação de concreto. O uso dos sensores teve como objetivo remover partículas problemáticas a fim de recuperar agregados reciclados com maior qualidade. O tratamento de triagem com sensor apresentou melhorias à nível de constituintes indesejados (impurezas), impacto no meio ambiente (lixiviação de sulfato reduzida) e níveis reduzidos de sulfato total e solúvel.

No mercado brasileiro, foram constatadas informações incompletas e até mesmo errôneas quanto à identificação do tipo de resina presente em embalagens plásticas, assim como sobre o símbolo correto a ser utilizado (COLTRO; GASPARINO; QUEIROZ, 2008). Essa falta de padronização do mercado dificulta a cadeia de reciclagem do plástico, tendo em vista que a correta identificação possibilita uma maior eficiência na etapa de classificação das embalagens.

Na área de resíduos domésticos, inovações e tecnologias de processamento e triagem física desempenham um papel importante na resolução de problemas ligados à contaminação cruzada de resíduos na América do Norte e vários países europeus, com o objetivo de produzir produtos de alta qualidade (CIMPAN et al., 2015). No entanto, essa qualidade também depende de fatores como legislação sobre reciclagem; valorização da qualidade e valor de mercado e; desenvolvimento de tecnologias de classificação para os sistemas atuais (CIMPAN et al., 2015).

No setor de processamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) é comum encontrar setores formais e informais. Compreendendo os dois setores, Liu et al. (2014) analisou a concorrência de preços baseado na qualidade para o mercado de reciclagem de REEE e pode verificar que a qualidade do produto é um fator importante a considerar em um mercado de reciclagem competitivo (CHEN; LIU, 2014).

Dois pontos importantes quando abordado o assunto de reciclagem são a perda de qualidade e diluição. Nakamura et al. (2012) explica melhor isso a partir de um caso simplificado. Quando um produto consiste de duas espécies de metal (uma vermelha com massa c e uma branca com massa $x-c$), conforme mostrado na Figura 1, e estas são misturadas em seu fim de vida (na literatura inglesa, End of Life-EoL), resulta em uma sucata mista. Essa sucata teve sua qualidade perdida porque agora nenhum dos componentes é capaz de realizar a função original. Além disso, caso o grau de mistura ultrapassar algum padrão permissível estabelecido, a mistura deve ser diluída por uma determinada quantidade de material primário (espécies brancas neste exemplo).

Esse montante refere-se à perda de diluição, e caso a razão de diluição fique abaixo de 1, a mistura fica subutilizada em relação ao seu potencial de sucata e também à perda de lucro possível (NAKAMURA et al., 2012).

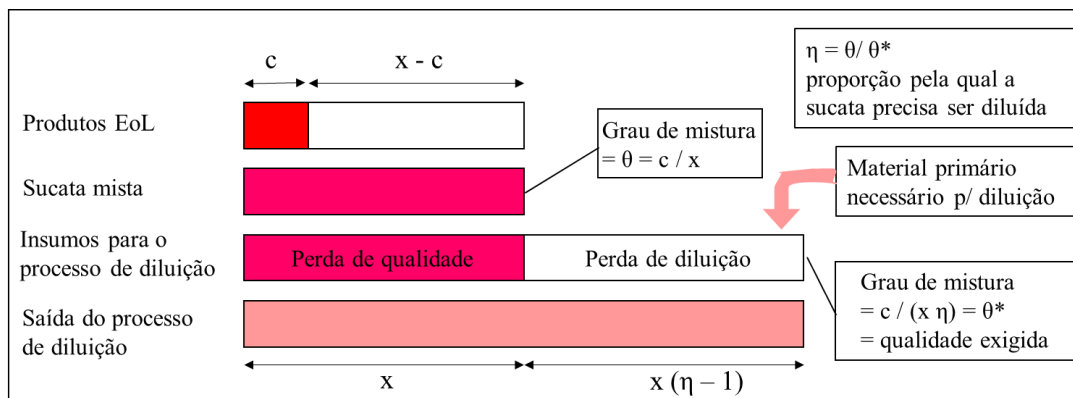


FIGURA 1- PERDA DE QUALIDADE E DILUIÇÃO

Fonte: adaptado de Nakamura et al. (2012).

Quando o processo de reciclagem acontece em um ciclo fechado, os resíduos são transformados novamente no mesmo produto que deu origem a ele. Já no ciclo aberto, esses resíduos darão origem a outros produtos, geralmente de menor qualidade e funcionalidade reduzida. Se os metais pudessem ser reciclados sempre em ciclo fechado e sem perder qualidade, poderiam ser reciclados infinitamente. Entretanto, a reciclagem de ciclo aberto é a mais comum para a sucata de metal recuperada de produtos em final de vida (EoL) porque a mistura de diferentes metais resulta em um material diferente do original (NAKAMURA et al., 2012).

A fim de quantificar perdas de qualidade e diluição na reciclagem de materiais ferrosos de veículos em fim de vida (na literatura inglesa End-of Life Vehicles - ELV) em função da mistura de cobre, Nakamura et al. (2012) demonstram diferentes respostas para evasão de perdas na produção de ferro-gusa, com sua produção diminuída em 33% se as perdas por

diluição forem evitadas, 32% se a perda da qualidade da sucata triturada for evitada, e 22% se a perda de qualidade da sucata desmontada for evitada também.

Todas essas características elencadas ao longo do capítulo, associadas à “qualidade” da sucata, como: a) presença de contaminantes; b) resistência estrutural; c) mistura de materiais; d) tecnologias empregadas; e) processos de coleta e separação de materiais; f) propriedades físicas e g) necessidade de pré-processamentos, são fatores de grande importância ao pensar sistemas de reciclagem e o mercado associado a eles.

Diversos trabalhos têm discutido essas questões de qualidade em torno do material secundário e fica evidente a necessidade de melhorias nas tecnologias de classificação, reciclagem e desmontagem dos materiais, diminuindo perdas de diluição e qualidade e permitindo uma identificação das propriedades químicas dos materiais secundários, a fim de facilitar a sua utilização em diferentes mercados. Por isso, cada vez mais torna-se essencial o conhecimento de características de qualidade do material secundário, a fim de facilitar o fluxo de resíduos e proporcionar maior fluidez ao mercado da reciclagem.

1.5 O alumínio

O alumínio está incluído em diversos produtos em nossas vidas e possui uma imensa versatilidade. De 1886, quando iniciou sua produção, até hoje, foram produzidos 1 bilhão de toneladas, sendo que 2/3 desse alumínio permanece em uso. O processo de fundição confere ao alumínio importantes propriedades físicas como leveza, resistência à corrosão, boa condutividade, força, impermeabilidade, flexibilidade, durabilidade e reciclabilidade, conferindo aplicabilidade para diversos campos (THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2018).

O alumínio pode ser reciclado quase ilimitadamente, além de possuir um alto rendimento de reprodução, principalmente para construção, energia e transporte, que tem uma longa vida útil. Isso significa que quando a taxa de recuperação do alumínio é alta, o suprimento de alumínio recuperado é limitado, pois está sempre em uso. Portanto, a fonte de consumo de alumínio no futuro dependerá tanto do alumínio primário quanto do secundário. Com uma previsão de demanda de alumínio global para 2020 de 100 Megatoneladas, prevê-se que 30% será de alumínio reciclado (THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2018).

Especificamente na área de veículos, os benefícios do uso do alumínio são diversos. Eficiência energética, redução de emissão de GEE e segurança nas estradas são pontos destacados pela Associação Europeia do Alumínio (EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION AISBL, 2011). Além disso, as propriedades de relação peso-força e rigidez-

tração de ligas de alumínio são comparáveis a outros metais como aço de alta resistência e titânio, e são levadas em consideração ao projetar um veículo. Portanto, o alumínio permanece material nobre mesmo após seu descarte, além da sucata possuir alto valor de mercado.

O alumínio também está presente na fuselagem, nas guarnições, painéis das asas e vários outros lugares das aeronaves. Segundo o relatório ambiental da International Civil Aviation Organization – (ICAO, 2016), estima-se que 17000 aviões comerciais deverão ser retirados de serviço até 2030, gerando mais uma demanda para reciclagem de alumínio.

Uma das ligas mais utilizadas na aviação é a 7075 (alumínio, zinco, magnésio e cobre), entretanto, ela geralmente é misturada com outros metais durante as operações de reciclagem, o que acaba diminuindo tanto o valor final quanto a aplicação dessa liga. A Bombardier, empresa canadense, junto com outros parceiros da indústria e universidades, liderou um projeto de pesquisa com o objetivo de encontrar novas maneiras de aumentar a capacidade de reciclagem e recuperação de metais, maximizando o valor das ligas de alumínio de alta qualidade e reduzindo a pegada ambiental da reciclagem (ICAO, 2016).

A produção secundária de alumínio usa sucata como matéria-prima, que deve ser coletada, classificada e limpa antes de ser usada na produção de metal. A triagem de sucata envolve a separação do alumínio de outros materiais e das diferentes formas de liga. A limpeza envolve a remoção de óleo, graxa e outros contaminantes. Outras etapas do pré-processamento podem incluir trituração e esmagamento, secagem e soldagem, e remoção de revestimentos da sucata, o que ajuda a reduzir a perda de alumínio dentro do forno de fusão e reduzir a emissão de poluentes (EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION AISBL, 2011).

Segundo o International Aluminium Institute (IAI), o uso de alumínio para os transportes tornou-se o mercado de uso final mais significativo, com uso de 43% no Japão e 35% do alumínio embarcado da América do Norte e Europa Ocidental (NAPPI, 2013), com a estimativa de que o uso de 1kg de alumínio por veículo pode reduzir as emissões de GEE em 20kg. Na década de 1990, a média de alumínio por veículo de passageiros era entre 40-80 kg, passando para 120-150 em 2012 e com projeção dessa média para 250kg até 2025 (THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2018).

Além do aumento previsto para uso em veículos, estima-se que até 2025 o consumo de alumínio aumentará 2,5 vezes, saltando para 120 Mt, em comparação com 45,3 Mt em 2006, representando uma taxa de crescimento de 4,1% ao ano (OECD, 2010). Os líderes no aumento de consumo serão China, Rússia, Brasil e Índia. Entretanto, para atender a essa projeção de

consumo, o mundo precisará produzir cerca de 570 Mt de bauxita e 230 Mt de alumina, consequentemente gerando maiores quantidades de resíduos.

A preocupação ambiental tem feito a indústria automotiva buscar alternativas para a construção automotiva mais leve, a partir de abordagens multimateriais, com vistas a diminuir a massa do veículo e consequentemente o consumo de energia (GOEDE et al., 2009). Dentre esses materiais, o Instituto de Conceito de Veículos (DLR Institute of Vehicle Concepts) usou alumínio e magnésio para projetar, construir e simular um módulo em um projeto da União Europeia, conseguindo reduzir o peso do veículo em 24 kg (GOEDE et al., 2009). Nesse sentido, as ligas de alumínio ganham destaque na substituição de aços convencionais e são preferidas para designs mais leves.

Além disso, a produção primária de alumínio consome muita eletricidade, e portanto, uma parte dos impactos ambientais dessa produção são atribuídos à geração dessa eletricidade. Também há outras preocupações ambientais como a produção de GEE, uso da terra para mineração e disposição de lama vermelha (resíduo resultante do processo de produção da alumina), além de resíduos da fundição.

Já a recuperação do alumínio provindo de sucata para produção de lingotes de alumínio secundário consome apenas 6% da energia necessária para produzir alumínio primário (OECD, 2010). E, de acordo com o Departamento de Energia Americano, apenas 10% dos custos de equipamento de capital. Também gases fluorocarbonados não são produzidos com fundição secundária. Por esses motivos, a ênfase à reciclagem do alumínio é de grande importância.

Tendo em vista que boa parte da produção de alumínio é utilizada no setor de transportes, a reciclagem na área automotiva envolve diversos desafios, dentre eles, dificuldade no processo de reciclagem devido à mistura de ligas de diversas aplicações. Para Cui e Roven (2010), algumas alternativas envolvem: 1) separação de ligas de alumínio umas das outras durante o processo de aprimoramento, 2) tecnologias para remoção de elementos de liga em excesso do alumínio fundido, 3) novos processos de reciclagem em estado sólido e 4) design de novas ligas de reciclagem amigáveis. Com isso, fica evidente a necessidade de classificar com precisão a sucata de alumínio em ligas individuais.

Uma quantidade crescente de ligas recicladas está entrando na produção de liga de alumínio para a área automotiva devido a questões econômicas e ambientais, o que exige a necessidade de controlar e remover impurezas e inclusões nesse tipo de liga (VELASCO; NINO, 2011), o que traz à discussão a qualidade do alumínio secundário. Para complicar, mais de 450 designações/composições de ligas foram registradas pela Aluminum Association, Inc.

para alumínio e ligas de alumínio (DAVIS, 1998), e hoje possivelmente esse número é ainda maior. No entanto, o elemento ferro (Fe) continua ser a principal impureza das ligas (PARASKEVAS et al., 2015).

Essa quantidade e diversidade de misturas de ligas e outros materiais durante diferentes fases do ciclo de vida de um produto acabam por dificultar o processo de reciclagem do alumínio. Além disso, a reciclagem em ciclo aberto costuma ser a prática mais comum para os metais do que a reciclagem em ciclo fechado. Nesse tipo, estão associados perdas de material; perdas de qualidade funcional original; dissipação de recursos escassos; e a necessidade de diluição das impurezas com materiais primários (PARASKEVAS et al., 2015). No mundo ideal, a reciclagem de qualquer material em si seria facilitada se fosse sempre dentro do sistema de ciclo fechado. Entretanto, não é o que acontece na prática.

No caso do alumínio, o modelo adotado pela indústria geralmente opera em cascata. No topo, produtos de baixa liga ou não ligados; no meio da cadeia, as ligas forjadas e por último, com limites de tolerância mais altos para resíduos, as ligas fundidas, que absorvem a maior parte da sucata degradada/misturada (PARASKEVAS et al., 2015). Entretanto, pesquisadores levantam preocupações quanto à sustentabilidade do modelo em cascata do alumínio. Os resultados do trabalho de Hatayama et al. (2012) por exemplo, apontam que a introdução de veículos elétricos vai levar a uma diminuição na demanda por ligas fundidas, o que gerará 6,1 Mt de sucata não-reciclável em 2030.

Se por um lado temos que pensar na redução dos impactos causados pela produção primária de alumínio, por outro temos que pensar em como melhorar o sistema de reciclagem de forma a proporcionar alumínio secundário de qualidade suficiente para continuar atendendo ao mercado de produtos desse material. Estratégias como minimizar o efeito downcycling (perda de qualidade) do material e diminuir o alumínio primário utilizado na diluição durante a fase de reciclagem contribuirá para mitigar impactos e promover o uso mais eficiente de recursos (PARASKEVAS et al., 2015).

Outra estratégia que será discutida nesse trabalho diz respeito à importância das outras etapas que envolvem a reciclagem, como coleta e separação dos resíduos. Os resultados de Hatayama et al. (2012) indicam que a eficácia da separação de sucata para veículos em fim de vida pode mitigar a geração de sucata não reciclável e reduzir o requisito de alumínio primário entre 15 e 25%.

2. MÉTODO

A metodologia a ser utilizada para alcançar o objetivo principal proposto neste trabalho será a clássica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), unida a uma metodologia inovadora de caracterização do fim de vida de materiais, que é a fórmula integrada. Essa fórmula já vem introduzida no software de ACV a ser utilizado que será o GaBi.

Num segundo momento, a fim de contemplar os demais objetivos específicos e complementar as discussões que englobam a sustentabilidade e o mercado da reciclagem junto à Política Nacional de Resíduos Sólidos, será utilizada uma metodologia qualitativa, conhecida como SWOT, que visa identificar forças, fraquezas, ameaças e oportunidades da PNRS.

Por fim, a análise SWOT será discutida em conjunto com as entrevistas de 3 atores relevantes para essa discussão, levantando algumas considerações frente aos resíduos sólidos, o mercado da reciclagem e o uso de materiais secundários na indústria.

Portanto, este capítulo tem por objetivo descrever mais detalhadamente sobre os métodos a serem utilizados, e fará uma breve descrição do método utilizado pela União Europeia conhecido como Pegada Ambiental de Produtos e Organização (PEF/OEF), porque é a partir dele que nasce a metodologia da fórmula integrada, utilizada neste trabalho. O próximo capítulo, de número 3, descreverá como essas metodologias foram aplicadas ao estudo de caso e quais foram os resultados obtidos.

2.1 ACV, Reciclagem e Multifuncionalidade

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método padronizado internacionalmente, utilizado para quantificar emissões, consumo de recursos, impactos ambientais e de saúde ao longo do ciclo de vida de bens e serviços, desde a extração de recursos, passando pela produção, uso e reciclagem, até a disposição final dos resíduos (EUROPEAN COMMISSION, 2010a). As normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 especificam a estrutura geral, princípios, requisitos e orientações para elaboração da ACV.

As avaliações de ciclo de vida têm sido muito utilizadas por sua versatilidade como ferramenta de análise. Alguns dos seus usos podem ser atribuídos à comparação de desempenho ambiental de diferentes opções de gerenciamento de resíduos sólidos (MANFREDI; TONINI; CHRISTENSEN, 2011); para avaliar impactos na recuperação de recursos por meio da reciclagem e utilização de agregados (ALLEGRIINI et al., 2015); para avaliar e comparar impactos ambientais de produção com e sem o uso de material reciclado (ROSADO et al., 2017); para identificar impactos em sistemas de reciclagem (ALCÁNTARA-CONCEPCIÓN; GAVILÁN-GARCÍA; GAVILÁN-GARCÍA, 2016).

Já o uso de avaliação de ciclo de vida com enfoque em produtos em final de vida tem sido ampliado. Existem diversas metodologias que auxiliam na modelagem de produtos em final de vida e na produção de materiais secundários, e em geral elas são incentivadas por iniciativas políticas que pensam o Consumo e Produção Sustentáveis e também a performance ambiental de produtos, serviços e empresas, baseado no estudo dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida (ALLACKER et al., 2014; WOLF et al., 2014).

Essas metodologias também auxiliam a encontrar novas alternativas de design com o objetivo de melhorar o desempenho dos produtos em seu final de vida (LEE; LU; SONG, 2014), assim como criar ferramentas que permitam conhecer as implicações resultantes da seleção de materiais (NICHOLSON et al., 2009) e entender como acontece a alocação de impactos quando do uso de determinados produtos ou materiais (TONIOLO et al., 2017).

A norma ISO 14044 esclarece que a hierarquia de alocação (processos compartilhados com outros sistemas de produto), quando aplicados para os casos de reciclagem, e que tanto o desenho do limite do sistema (entre ciclos) quanto o cuidado para qualquer mudança nas propriedades inerentes dos materiais requerem atenção (ABNT, 2009). Como procedimentos de alocação para reuso e reciclagem, a norma sugere a seguinte ordem: propriedades físicas (massa, por exemplo); valor econômico (relação de preços entre material reciclado e primário); e número de usos subsequentes do material reciclado.

Muitos processos contribuem para o fornecimento de mais de uma função, produzindo mais de um produto ou prestando serviços a mais de um ou realizando combinações entre. O grande problema desses processos multifuncionais é que na ACV um único sistema é analisado para determinar impactos ambientais relacionados ao seu ciclo de vida. Entretanto, na realidade, quase não existem sistemas isolados. Sendo assim, um co-produto nascido de um processo dentro de um sistema, provavelmente faz parte de outro sistema diferente também, e seus impactos ambientais poderão ser atribuídos a ambos (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

Uma situação clara de impactos compartilhados está associada à reciclagem do fim da vida útil de produtos e/ou resíduos durante sua produção ou uso. Um material pode ser reciclado, sua energia recuperada ou ele pode ser parcialmente reutilizado em um ou mais sistemas. Isso significa que o fornecimento de recursos ou bens secundários é outra função do sistema que gera o produto residual ou em fim de vida e, portanto, seus impactos devem ser compartilhados entre os sistemas que os utilizam (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

A reciclagem possui um aspecto diferenciado da multifuncionalidade, pois o bem secundário não é apenas uma cofunção do sistema, mas pode se tornar muitos coprodutos, uma

vez que é reciclado diversas vezes. Isso acaba gerando uma variação tanto nos aspectos quantitativos quanto qualitativos em cada ciclo que passa, e portanto, deve ser levado em conta ao procurar identificar um inventário para o bem secundário (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

A maneira correta de modelar a reciclagem tem sido amplamente discutida nas últimas duas décadas. Elas podem variar entre modelos que atribuem todos os encargos e benefícios da gestão de resíduos e dos bens secundários para um único sistema, até a uma ampla variedade de combinações entre produção primária, pré-tratamento de resíduos, etapas de reciclagem e o aterro de resíduos, com compartilhamento entre o primeiro e o segundo ciclo de vida, e até os subsequentes (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

A maioria das discussões a respeito de como modelar a reciclagem ocorrem entre o uso de uma modelagem atribucional ou consequencial primeiramente. Mas também as discussões recaem sobre se a modelagem deve seguir uma hierarquia ISO ou derivar do objetivo de melhoria da situação, buscando incentivar o uso de bens secundários e melhorias para a reciclabilidade dos produtos.

A modelagem atribucional descreve o sistema constituído dos bens e serviços que são fisicamente usados para produzi-lo, usá-lo ou para tratar seus resíduos. Para esse modelo é apropriado designar tanto o sistema gerador do resíduo ou o produto em fim de vida quanto aquele que utiliza o bem secundário e a parcela correspondente do estoque.

Já a modelagem consequencial reflete as consequências da reciclagem e da utilização do bem secundário, motivando-a tanto quantitativa como qualitativamente, assim como dando créditos quando a produção primária de alto valor é substituída. A estrutura dessa modelagem visa identificar as consequências de uma decisão sobre outros processos e sistemas da economia, e, portanto, não representa processos reais como no modelo atribucional (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

Seguindo a lógica da modelagem consequencial, surge a abordagem de substituição de reciclabilidade, também chamada de abordagem de "reciclagem de fim de vida" ou "potencial de reciclagem", que estimula a reciclabilidade tanto em quantidade quanto em qualidade. Nessa abordagem, o estoque evitado de produção primária de um bem é creditado ao produto ou resíduo em fim de vida, na medida em que ele é reciclável. Somente aquilo que não pode ser quantitativamente obtido de volta do bem secundário (perdas na coleta, perdas durante a reciclagem, etc.) é modelado como produção primária.

Sendo assim, essa abordagem recompensa uma alta reciclabilidade, tanto para bens e recursos valiosos, quanto para a reciclagem de bens secundários de alto valor. Além disso, o conteúdo reciclado compensa ainda mais quando são usados recursos secundários que não seriam utilizados ou seriam aterrados. Também é levada em consideração a qualidade do bem secundário. Se inferior, substitui menos produção primária ou aplica-se uma correção de valor.

Quando um material passa por um processo de acondicionamento, reciclagem ou recuperação, suas propriedades técnicas podem ser alteradas desfavoravelmente, limitando seu uso como bem secundário capaz de substituir um material primário. Ou poderá substituí-lo num grau limitado, ou somente após serem realizadas medidas adicionais (EUROPEAN COMMISSION, 2010b). Além disso, no caso de o material vir a sofrer degradação durante o uso ou o processo de reciclagem, isso limitaria o número de ciclos pelo qual ele poderia passar, independente das perdas quantitativas que possam ocorrer.

Essas questões de propriedades alteradas de material secundário remetem a pensar em consequências específicas e soluções possíveis. Em alguns casos, a substituição do material primário pelo secundário só poderá ocorrer em parte ou em algumas aplicações específicas, onde os requisitos para a propriedade alterada não sejam muito exigentes. Ou então, uma quantidade maior de material reciclado será necessária para proporcionar ou manter a funcionalidade do material. Ou ainda, o material secundário reciclado deve ser misturado com material primário ou material secundário de maior qualidade, a fim de diminuir o efeito downcycling.

Portanto, essas alterações do bem secundário devem sempre ser levadas em consideração para pensar os modelos de reciclagem. O manual ILCD sugere dois mecanismos para isso: modelagem quantitativa do processo ou sistema, se o uso específico ou os usos do bem secundário são conhecidos; caso contrário, aplica-se uma correção de valor, que tanto pode ser em razão do preço de mercado do bem secundário para o bem produzido substituído, quanto uma correção relacionada às propriedades técnicas do material.

Entretanto, o manual aponta algumas deficiências em relação a um provável fator de correção, como: a) o envolvimento de escolhas subjetivas para escolha da propriedade técnica a ser usada na correção. Isso porque reduziria a reprodutibilidade e porque poderia afetar várias propriedades que juntas definiriam o uso ou o valor técnico do bem secundário. Como as propriedades são medidas em diferentes unidades, não poderiam simplesmente ser adicionadas, além de que algumas podem ser apenas qualitativas; b) não reflete a questão da existência de

um mercado real associado ao bem secundário e o papel de uma percepção da imagem desse bem; c) maior dificuldade em obter ou medir a informação técnica do que os preços de mercado.

Buscando uma forma de entender essas e outras questões, utilizando ACV, surge o guia PEF (na literatura inglesa Product Environmental Footprint), que além de fornecer uma metodologia para modelagem de impactos ambientais associados a um produto ao longo de seu ciclo de vida, apresenta uma maneira de lidar com a multifuncionalidade, em particular para reuso, reciclagem ou recuperação de energia.

Essa metodologia apresenta o Perfil de Uso e Emissões de Recursos (na literatura inglesa Resource Use and Emissions Profile - RUaEP) geral resultante por unidade de análise. Ele pode ser estimado usando uma fórmula que pode acomodar downcycling, ou seja, quaisquer diferenças na qualidade entre o material secundário (material reciclado) e o material primário (material virgem). A seguir, será detalhado o que é e como funciona o PEF/OEF e será a apresentada a fórmula utilizada para gerar o RUaEP.

2.2 Pegada Ambiental de Produtos e Organização (PEF/OEF)

Como parte da estratégia Europa 2020 “Uma Europa eficiente em termos de recursos”, a Comissão Europeia publicou em 2013 a metodologia Pegada Ambiental de Produtos e Organização (PEF/OEF) - uma medida multicritério baseada no ciclo de vida do desempenho ambiental de produtos, serviços e organizações (LEHMANN; BACH; FINKBEINER, 2015). A metodologia está descrita no Guia PEF, que fornece um método para modelar os impactos ambientais dos fluxos de matéria/energia, e as emissões e fluxos de resíduos associados a um produto ao longo de seu ciclo de vida.

Complementar ao guia e para permitir apoiar comparações ou equivalências de desempenho ambiental de um produto com o outro, deverão ser elaboradas as Regras de Categoria de Pegada Ambiental do Produto (na literatura inglesa, Product Environmental Footprint Category Rules-PEFCRs). Essas regras especificam os limites do sistema para os estudos do PEF da categoria do produto, incluindo a especificação das etapas e processos relevantes do ciclo de vida que devem ser geralmente atribuídos a cada etapa. As regras aumentarão a harmonização metodológica, especificidade, relevância e reprodutibilidade para um determinado tipo de produto (MANFREDI et al., 2012).

Para modelar o PEF é necessário fazer um inventário (perfil), para toda a cadeia de fornecimento do produto, de todas as entradas e saídas de recursos materiais, energéticos e emissões para o ar, água e solo. Isso é chamado de Uso de Recursos e Perfil de Emissões. Esse perfil deve incluir todo o uso de recursos e emissões associados aos estágios do ciclo de vida

incluídos nos limites definidos do sistema. Os elementos a serem considerados para inclusão no perfil são: aquisição e pré-processamento de matérias-primas; bens de capital; produção; distribuição e armazenamento de produtos; uso; logística e; fim da vida.

Com o perfil compilado, a avaliação de impacto da pegada ambiental deve ser realizada para calcular o desempenho ambiental do produto, usando as categorias e modelos de impacto selecionados. A classificação requer a atribuição das entradas e saídas de material e energia inventariadas no perfil para a categoria de impacto relevante. Os dois passos obrigatórios são classificação e caracterização. A avaliação de impacto da pegada ambiental pode ser complementada com normalização e ponderação, que são etapas opcionais.

Os próximos passos são: a interpretação dos resultados, que visam garantir que o desempenho do modelo PEF corresponda aos objetivos e requisitos de qualidade do estudo; e as conclusões e recomendações da análise. Importante também é identificar os principais elementos que contribuem para os resultados do PEF, também chamada de análise de "ponto de acesso" ou "ponto fraco". Além disso, estimar as incertezas dos resultados pode apoiar a reprodutibilidade dos estudos PEF, e ajuda o público-alvo a avaliar a robustez e a aplicabilidade dos resultados.

Por fim, o aspecto final da fase de interpretação da pegada ambiental é levantar conclusões com base nos resultados analíticos, responder às questões colocadas no início do estudo e fazer recomendações adequadas ao público-alvo e ao contexto, levando em consideração explicitamente quaisquer limitações à robustez e aplicabilidade dos resultados.

O PEF precisa ser visto como complementar a outras avaliações e instrumentos, como avaliações de impacto ambiental específicas do local ou avaliações de risco químico. Um relatório do PEF fornece um relato relevante, abrangente, consistente, preciso e transparente do estudo e dos impactos ambientais calculados associados ao produto. Ele reflete a melhor informação possível, de modo a maximizar a sua utilidade para os usuários atuais e futuros, ao mesmo tempo que comunica de forma honesta e transparente as limitações. A revisão crítica é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados e promover sua qualidade.

O Guia PEF (MANFREDI et al., 2012) traz em um de seus anexos uma maneira de lidar com multifuncionalidade de produtos, em particular para reuso, reciclagem ou recuperação de energia. O Perfil de Uso e Emissões de Recursos (RUaEP) geral resultante por unidade de análise pode ser estimado usando uma fórmula que pode acomodar downcycling, ou seja, quaisquer diferenças na qualidade entre o material secundário (ou seja, material reciclado ou reutilizado) e o material primário (ou seja, material virgem). A fórmula segue abaixo:

$$(1-R_1) \times E_V + R_1 \times E_{recycled} + R_2 \times (E_{recycling} - E^*_v \times \frac{Q_s}{Q_p}) + R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER} \times E_{SE}) + (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

E pode ser dividida em 5 blocos:

$$VIRG_{IN} + REC_{IN} + REC_{OUT} + ER_{OUT} + DISP_{OUT}$$

Bloco (1): $VIRG_{IN} = (1-R_1) \times E_V$ representa o RUaEP a partir da aquisição de material virgem e pré-processamento

Bloco (2): $REC_{IN} = R_1 \times E_{recycled}$ = representa o RUaEP associado à entrada de material reciclado e é proporcional à fração de entrada de material que foi reciclado em um sistema anterior.

Bloco (3): $REC_{OUT} = R_2 \times (E_{recycling} - E^*_v \times \frac{Q_s}{Q_p})$ = representa o RUaEP a partir do processo de reciclagem (ou reuso) a partir do qual o crédito de material virgem evitado (contabilizando qualquer eventual downcycling) é subtraído.

Bloco (4): $ER_{OUT} = R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER} \times E_{SE})$ = representa o RUaEP decorrente do processo de recuperação de energia do qual as emissões evitadas oriundas da fonte de energia substituída foram subtraídas.

Bloco (5): $DISP_{OUT} = (1 - R_2 - R_3) \times E_D$ = representa o RUaEP líquido da fração disposta de material que não foi reciclado (ou reutilizado) no fim da vida útil ou entregue a um processo de recuperação de energia.

Onde:

E_v = emissões e recursos específicos consumidos (por unidade de análise) decorrentes da aquisição e pré-processamento de material virgem;

E^*_v = emissões e recursos específicos consumidos (por unidade de análise) decorrentes da aquisição e pré-processamento de material virgem que se presume ser substituído por materiais recicláveis:

- Se apenas a reciclagem de ciclo fechado ocorrer: $E^*_v = E_v$
- Se apenas ocorrer reciclagem de ciclo aberto: $E^*_v = E'_v$ representa a entrada de material virgem que se refere ao material virgem real substituído por reciclagem de ciclo aberto. Se esta informação não estiver disponível, devem ser feitas suposições sobre qual material virgem é substituído, ou dados médios devem ser usados. Em último caso, pode-se presumir que $E'_v = E_v$, como se a reciclagem de ciclo fechado tivesse ocorrido.

$E_{recycled}$ = emissões e recursos específicos consumidos (por unidade de análise) decorrentes do processo de reciclagem do material reciclado (ou reutilizado), incluindo os processos de coleta, triagem e transporte.

$E_{\text{recyclingEoL}}$ = emissões e recursos específicos consumidos (por unidade de análise) decorrentes do processo de reciclagem no final da vida, incluindo os processos de coleta, triagem e transporte.

Nota: em situações de reciclagem em ciclo fechado, $E_{\text{recycled}} = E_{\text{recyclingEoL}}$ e $E^*_V = E_V$

E_D = emissões específicas e recursos consumidos (por unidade de análise) decorrentes da eliminação de resíduos (por exemplo, aterro, incineração, pirólise).

E_{ER} = emissões e recursos específicos consumidos (por unidade de análise) decorrentes do processo de recuperação de energia

E_{SE} = emissões específicas e recursos consumidos (por unidade de análise) que teriam surgido da fonte específica de energia substituída.

R_1 (adimensional) = “Conteúdo de material reciclado (ou reutilizado)”, é a proporção de material na entrada para a produção que foi reciclada em um sistema anterior ($0 < R_1 <= 1$).

R_2 (adimensional) = “Reciclagem (ou reutilização) da fração de material”, é a proporção do material no produto que será reciclado (ou reutilizado) em um sistema subsequente, ou seja, a taxa entre a saída reciclada e a entrada de material virgem. O R_2 deve, portanto, levar em conta as ineficiências nos processos de coleta e reciclagem (ou reutilização) ($0 = < R_2 = < 1$).

R_3 (adimensional) = a proporção de material no produto que é usado para recuperação de energia (por exemplo, a incineração com recuperação de energia) na EoL ($0 = < R_3 = < 1$).

LHV = Valor de aquecimento inferior [por ex. J/kg] do material no produto que é usado para recuperação de energia.

X_{ER} = a eficiência do processo de recuperação de energia ($0 < X_{ER} < 1$), isto é, a razão entre o conteúdo de energia de saída (por exemplo, saída de eletricidade) e o conteúdo de energia do material no produto que é usado para recuperação de energia. O X_{ER} deve, portanto, levar em conta as ineficiências do processo de recuperação de energia ($0 = < X_{ER} < 1$).

Q_s = qualidade do material secundário, isto é, a qualidade do material reciclado ou reutilizado.

Q_p = qualidade do material primário, isto é, a qualidade do material virgem.

Nota: Q_s/Q_p é uma razão adimensional tomado como uma aproximação para quaisquer diferenças de qualidade entre o material secundário e o material primário (“downcycling”).

O esforço político e metodológico feito pela Comissão Europeia para testar uma pegada ambiental de produtos e organizações (PEF/OEF) apresentou a fórmula descrita acima com o intuito de discutir a multifuncionalidade em casos de reuso, reciclagem ou recuperação de energia. Mesmo assim, a Comissão incentivou os projetos-piloto PEF e OEF a testarem outras abordagens e fórmulas de final de vida. Nesse contexto, surge a Fórmula Integrada, baseada na

interpretação e avanço do texto do Sistema Internacional de Dados de Referência de Ciclo de Vida da Comissão Europeia. A mesma é apresentada no item a seguir.

2.3 Fórmula Integrada

A modelagem do tratamento de produtos em fim de vida (na literatura inglesa, End of Life – EOL) e como explicar o reciclado obtido e a energia recuperada foram discutidas desde o início da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e funcionam bem há mais de duas décadas, assim como foram propostas diferentes abordagens (WOLF; CHOMKHAMRSRI, 2014). Entretanto, a elaboração de uma modelagem também envolve pensar no uso de materiais secundários e na energia utilizada na elaboração de um produto, uma vez que isso pode alterar substancialmente os resultados de ACV. Além disso, pensar em como dividir os encargos do processo de reciclagem e os créditos para o material reciclado, entre o sistema do produto que fornece o material reciclado e aquele que usa o material reciclado (VAN DER HARST; POTTING; KROEZE, 2016).

As dificuldades em considerar tantos fatores acabou levando ao aumento da complexidade em medir os impactos ambientais relacionados a qualquer produto. Une-se a isso também a influência nas decisões sobre materiais de engenharia alternativos; sobre o uso de materiais e energia secundários; nos esforços realizados pelo ecodesign em busca de uma melhor reciclabilidade; nos modos de retorno dos materiais e outras medidas semelhantes (WOLF; CHOMKHAMRSRI, 2014), sobretudo na elaboração de produtos.

Neste contexto, Wolf e Chomkhamsri (2014) propuseram a abordagem integrada, que leva em consideração a qualidade do material secundário que entra substituindo o material primário (Q_{Sin} / Q_{Pin}), assim como a qualidade do processo de reciclagem pelo qual passa o produto em final de vida (Q_S / Q_P). Esses dois fatores de correção presentes na fórmula são capazes de expressar as diferenças de qualidade relativas entre material secundário e primário.

A fórmula integrada (FI), é uma das abordagens que está sendo testada nos projetos pilotos europeus PEF (Product Environmental Footprint) /OEF (Organisation Environmental Footprint) em modelagens de final de vida. A fórmula integrada capta a realidade física e os impactos do uso de materiais reciclados em um produto em final de vida através da utilização dos seguintes componentes em sua fórmula: a entrada de material primário; a entrada de material secundário; a reciclagem do material; a recuperação de energia e a disposição final. A FI é facilmente implementada pelo software de ACV, que neste caso será o Software GaBi, versão estudantil.

O uso de fórmulas de final de vida no kit teste PEF do software GaBi tem como um dos objetivos esclarecer o uso do método para lidar com a multifuncionalidade em situações de reciclagem. O guia para avaliação de ciclo de vida prevê algumas abordagens possíveis, como: abordagem 100:0, que contabiliza apenas o conteúdo reciclado; a abordagem 0:100, que contabiliza apenas a reciclagem no fim de vida, e por fim, a abordagem 50:50, que não diferencia entre os processos relacionados ao conteúdo reciclado e a reciclagem em fim de vida.

Entretanto, em consequência, estas abordagens não garantem a modelagem fisicamente correta à nível de produto (por exemplo, para produtos com conteúdo reciclado sendo reciclados em seu final de vida). Todas as equações consideradas evitam a contagem dupla no nível geral do sistema (ALLACKER et al., 2014).

Já na abordagem integrada, a presença dos fatores de correção (QS_{in} / QP_{in} e QS/QP) que determinam as razões para as diferenças de qualidade, permitirá um melhor suporte de decisão em relação à demanda e fornecimento do mercado secundário, bem como estimar ganhos ambientais e econômicos com base em um material secundário de melhor qualidade.

A proposta trazida pelos autores foi apresentar uma fórmula para avançar na discussão da modelagem fim de vida em ACV, pensada a partir do texto do capítulo 14.5 do Manual do Sistema Internacional de Dados do Ciclo de Vida de Referência (ILCD) - Guia geral para Avaliação do Ciclo de Vida - Orientação detalhada (EUROPEAN COMMISSION, 2010b), que não apresenta uma fórmula em si.

A fórmula integrada generaliza alguns aspectos, em particular o fator de correção para o downcycling e afasta-se dos aspectos consequenciais da modelagem ao determinar qual a produção primária creditada/debitada. A FI foi publicada em 2013 (WOLF; CHOMKHAMSRI; ARDENTE, 2013) e foi apresentada em um workshop sobre "Fórmulas de fim de vida em contexto da fase piloto de pegada ambiental", organizado pela Comissão Europeia, em outubro de 2014 em Bruxelas (WOLF; LAGET, 2014).

Uma fórmula de fim de vida adequada deve ser capaz de contabilizar o fornecimento de reciclagem para outros usos (absorvendo a produção primária evitada como crédito) e o efeito de usar material secundário (debitando da produção primária). É necessário também considerar as mudanças qualitativas na qualidade do material ao longo do ciclo de vida do produto analisado (downcycling) e tempo de vida reduzido de uma parte reutilizada (WOLF e CHOMKHAMSRI, 2014).

Para captar esse downcycling na Avaliação de Ciclo de Vida é necessário quantificar essas diferenças, de quantidade e qualidade entre material primário e secundário no início da

vida do produto e a quantidade e qualidade do reciclado obtido ao final da sua vida (diferença líquida). Isso não é feito nas demais fórmulas de fim de vida discutidas pelas metodologias de pegada ambiental, que assumem implicitamente que a entrada de material secundário no produto tem qualidade igual à do primário, atribuindo impactos maiores a materiais de baixa qualidade.

Portanto, para considerar o verdadeiro downcycling em uma fórmula de fim de vida (EoL), um fator de qualidade ou de substituição deve ser considerado tanto no início do ciclo de vida do produto (conteúdo reciclado), quanto no seu fim (reciclado EoL). Caso contrário, essa diferença não pode ser capturada (WOLF; CHOMKHAMSRI, 2014). Esse é o diferencial da fórmula integrada em relação à fórmula utilizada pelo PEF.

A seguir, a fórmula integrada será apresentada.

2.4 Caracterização da Fórmula Integrada

A fórmula integrada busca captar a realidade física do uso de materiais reciclados em um produto e explica os impactos decorrentes dos processos, bem como os benefícios a nível do material e do sistema energético (por exemplo, reciclados produzidos e energia recuperada que evitam a produção primária). Isso inclui os verdadeiros efeitos de downcycling sobre quantidade e qualidade de reciclados - incluindo as mudanças nas propriedades inerentes do material - e a recuperação de energia. Os encargos e benefícios diretamente relacionados são mantidos dentro do ciclo de vida.

A figura 2 ilustra o funcionamento da fórmula integrada graficamente.

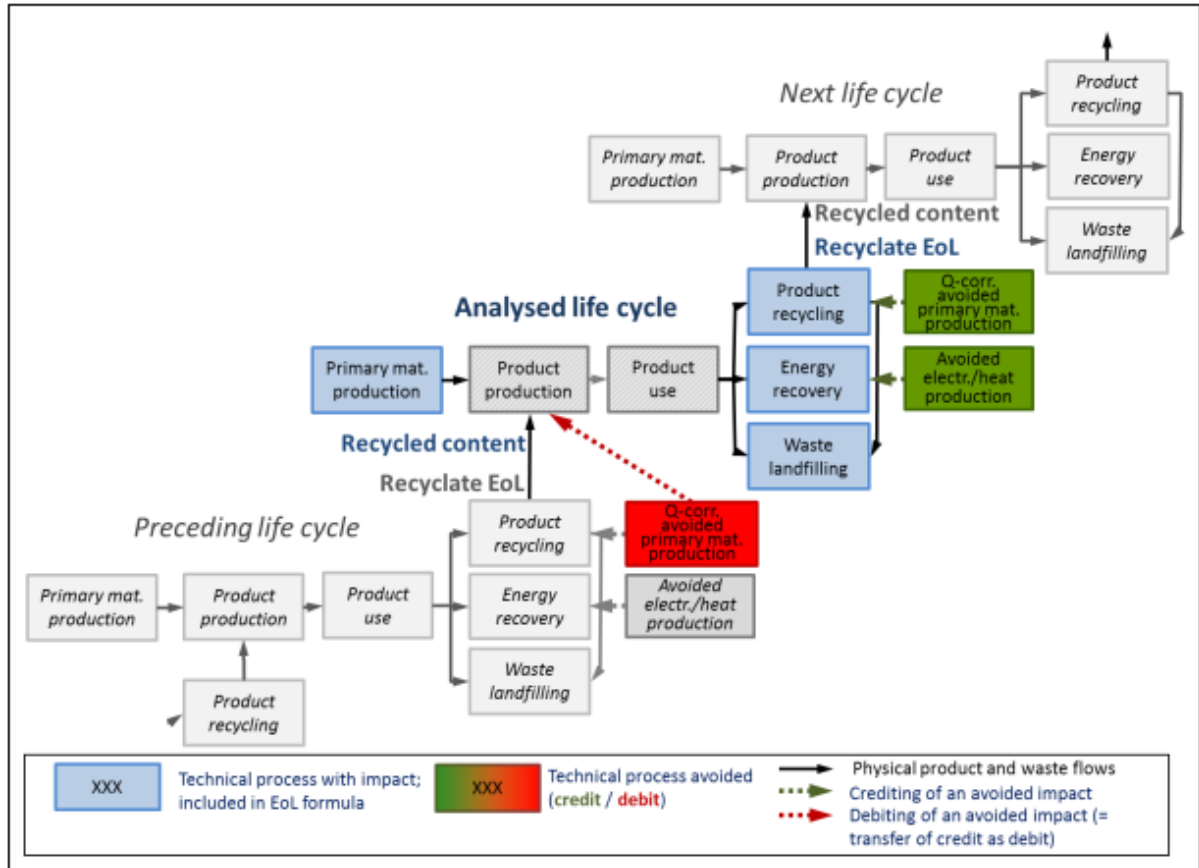


FIGURA 2- REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E ESQUEMÁTICA DA FÓRMULA INTEGRADA

Fonte: Wolf e Chomkhamstri (2014).

Legenda: em azul os processos incluídos são modelados em quantidade real; verde: produção principal evitada creditada de material e energia (modelada em quantidade real mais o fator de correção), vermelho: débito para uso de conteúdo reciclado, tomando o débito dos ciclos de vida dos produtos precedentes (também com fator de correção).

Em particular, os princípios da fórmula são:

- Entregar um material secundário ou energia recuperada ao mercado para outros usos é creditado com o impacto efetivamente evitado da produção primária;
- Quando um material secundário substitui uma quantidade menor de material primário, esse crédito deve ser ajustado por um fator de correção (um fator de substituição ou correção de qualidade);
- Tirar materiais secundários do mercado, é debitado com a produção primária que mesmo assim ocorre (novamente com uma substituição ou um fator de correção de qualidade);
- Capturar downcycling em ACV requer quantificar a diferença líquida entre a quantidade e a qualidade do material primário e secundário no início da vida de um produto e a quantidade e qualidade do reciclado que é obtido no fim de vida do produto.

A fórmula integrada lê-se como segue. Para a definição das variáveis e dos parâmetros, veja a tabela 1.

$$E = (1-R_1) \times E_V + R_1 \times Q_{Sin}/Q_{Pin} \times E_{S_V}^S + R_2 \times (E_{recyclingEoL} - E^*_{V} \times Q_S/Q_P) + R_3 \times (E_{ER} - LHV \times X_{ER,elec} \times E_{SE,elec} - LHV \times X_{ER,heat} \times E_{SE,heat}) + (1 - R_2 - R_3) \times E_D$$

Fonte: Wolf e Chomkamsri (2014)

TABELA 1. VARIÁVEIS E PARÂMETROS DA FÓRMULA INTEGRADA

| | |
|--|---|
| E | Recursos consumidos e emissões para a aquisição do material primário e de material secundário utilizado como conteúdo reciclado, bem como os estágios EoL do ciclo de vida do produto analisado, relacionados a 1 kg do material analisado produtos (excluindo fabricação e uso). |
| R₁ | Conteúdo reciclado do produto analisado, ou seja, material secundário (que foi reciclado em um sistema anterior) usado como entrada para sua produção. |
| (1-R₁) | Conteúdo do material primário no produto analisado |
| E_V | Recursos consumidos e emissões para aquisição de material primário. |
| R₂ | Reciclado produzido a partir de produto EoL |
| R₃ | Proporção do material do produto analisado que é usado para recuperação energética. |
| Q_S/Q_P Q_{Sin}/Q_{pin} | Relação para qualquer diferença entre o material secundário e material primário |
| E_{recyclingEoL} | Recursos consumidos/emissões para o tratamento EOL do produto analisado, incluindo coleta, triagem, transporte, processos de reciclagem, etc. até o primeiro tipo de reciclagem que pode ser usado para substituir um material primário (enquanto o reciclado pode ter menor qualidade E não substituir a mesma quantidade de material primário). |
| E*_V | Recursos consumidos/emissões para a aquisição de material primário assumido como substituído pelo material secundário (material reciclado) obtido a partir do tratamento EoL do produto analisado. |
| E_{SE,heat}; E_{SE,elec} | Recursos evitados consumidos / emissões para fontes de energia primária substituídas específicas para calor e eletricidade, respectivamente. |
| X_{ER,heat}; X_{ER,elec} | A eficiência do processo de recuperação de energia. O X _{ER} leva em consideração as ineficiências do processo de recuperação de energia. |
| LHV | Menor valor de aquecimento do material no produto EOL que é processado para recuperação de energia |
| E_D | Recursos consumidos/emissões para a eliminação dos vários materiais de resíduos do produto EOL que são obtidos devido ao aterro direto, rejeição, resíduos gerados durante a reciclagem ou processos de recuperação de energia (por exemplo, cinzas, escórias inutilizáveis), incluindo transporte, condicionamento, armazenamento do material ou o produto |

Fonte: traduzido de Wolf e Chomkamsri (2014)

Neste trabalho serão testadas as três primeiras partes da fórmula: a entrada de material primário (em verde), a qualidade do material secundário (em laranja) e o reciclado produzido a partir de produto EoL (em azul claro). O restante da fórmula não se aplica, tendo em vista que não há recuperação energética para metais (em azul escuro) e a disposição final (em vermelho) para esta liga não é considerada porque em nosso exemplo 100% dela é reciclada.

Os resultados após a aplicação da fórmula pelo GaBi são traduzidos pelos indicadores ambientais, a serem detalhados no item a seguir.

2.5 Indicadores Ambientais

Após a fase de avaliação de impactos, os resultados das análises de inventários são traduzidos em contribuições para categorias de impacto relevantes Guinée et al. (2001). De acordo com os objetivos deste trabalho, as categorias de impacto consideradas relevantes são apresentadas a seguir:

2.5.1 *Depleção de Recursos Abióticos (kg Sb-Equiv.)*

Desde o início da abordagem de avaliação do ciclo de vida (ACV), o esgotamento de recursos abióticos tem sido uma das categorias de impacto adotadas na avaliação de impacto ambiental. Isso porque recursos não renováveis, como minerais, metais e combustíveis fósseis, são finitos.

Cada tipo de mineral é único, entretanto, todos os minerais são iguais do ponto de vista da depleção. Isso porque a definição do problema é baseada no valor intrínseco dos minerais e, portanto, destacado da ponderação subjetiva da humanidade (VAN OERS et al., 2002). Normalmente essa categoria de impacto considera o efeito sobre recursos renováveis e não renováveis (EUROPEAN COMMISSION, 2010b).

A depleção de recursos abióticos acontece quando a disponibilidade da reserva de funções potenciais desses recursos diminui devido ao uso além de sua taxa de reposição (VAN OERS et al., 2002). Sua importância reside no fato de que a extração de uma alta concentração de recursos hoje forçará as gerações futuras a extrair, se ainda existir, recursos de menor valor ou concentração, portanto, envolve a sustentabilidade dos recursos naturais que utilizamos para produção das coisas.

O indicador para depleção de recursos abióticos é a diminuição de disponibilidade, e essa disponibilidade pode ser expressa em termos de concentração, que está interligado ao processo de extração e transformação de minérios e minerais. Inicialmente esses processos estão mais concentrados de material primário, mas ao longo dos processos de produção, uso e disposição, adquirem funções diluídas devido e combinadas a outros materiais, o que acaba resultando em emissões para o ar, água e solo, e, portanto, resultando em diversos problemas ambientais.

Uma outra questão importante é que os materiais primários não são extraídos somente de recursos naturais, mas também a partir de reciclados, cujos estoques crescem em nossa economia. Van Oers et al. (2002) já afirmavam em 2002 que no futuro os materiais despejados em diversos locais ou aterrados voltariam a ser minerados. Bem, esse futuro não está mais tão

distante, tendo por base um contexto de aumento de demanda por metais e minerais bastante utilizados em nossa moderna e tecnológica sociedade. Portanto, é totalmente cabível e atual uma discussão baseada na medição desse indicador.

A avaliação da disponibilidade de recursos é uma variável relevante para tomada de decisão a nível de produto, e a ACV provou ser uma boa ferramenta de avaliação dessa variável, possuindo diferentes modelos para isso. O método de potencial depleção abiótica (na literatura inglesa, Abiotic Depletion Potential - ADP), descrito por van Oers et al. (2002), é recomendado pelo manual ILCD e na Pegada Ambiental do Produto (PEF) como a melhor prática disponível para avaliar a depleção de recursos em um nível médio.

O modelo ADP explica a disponibilidade decrescente dos estoques de recursos, dividindo a taxa de extração de um recurso pelo estoque geológico (reserva) ao quadrado e normalizando o resultado para a razão de extração-reserva do antimônio da substância de referência (SCHNEIDER; BERGER; FINKBEINER, 2015).

No contexto do uso sustentável dos recursos abióticos, o que precisa estar no foco é sua preservação e não necessariamente sua abundância geológica. No entanto, dentro das metodologias existentes, diversas deficiências para avaliar os estoques antrópicos, além dos estoques geológicos, permanecem. Além disso, questões como qualidade e degradação dos materiais recuperados precisam ser avaliadas no contexto do valor funcional desses estoques antrópicos (SCHNEIDER; BERGER; FINKBEINER, 2015). O que torna ainda mais desafiante encontrar uma representação realista desses estoques.

A bauxita, rocha que contém 15-25 % de alumínio e é o único minério usado para extração de alumínio, tem suas reservas conhecidas estimadas em 29 bilhões de toneladas métricas. Com o ritmo atual de extração, estima-se 100 anos de duração, mas se incluídas as reservas ainda a serem descobertas, a estimativa subiria para 50 a 75 bilhões de toneladas métricas, prolongando a vida das reservas de 250 a 340 anos (HYDRO, 2016).

Mesmo que a previsão de extração para muitos recursos minerais seja de vida longa ainda, como para o alumínio, Steinberger et al. (2010) afirma que a escassez de recursos não é mais vista como uma ameaça remota. A preocupação quanto ao fornecimento suficiente e seguro de recursos, sua distribuição global e acesso são reais e pertencem ao debate sobre desenvolvimento sustentável.

Por fim, a medida dessa categoria de impacto parte da premissa de que a segurança quanto à disponibilidade aliada à boa gestão dos recursos é imprescindível para o desenvolvimento sustentável, o que leva à busca de meios para garantir o suprimento de

materiais para o nosso bem-estar e o das gerações futuras. Isso só será possível se os métodos de avaliação da disponibilidade de recursos abrangerem todas as dimensões da sustentabilidade, superando atuais restrições físicas como aborda o trabalho de Schneider et al. (2015).

2.5.2 Mudança Climática (GWP 100 anos) (kg CO₂-Equivalente)

As alterações climáticas provocadas pelo homem são causadas pela emissão de gases com efeito de estufa e por outras atividades que influenciam a sua concentração atmosférica. Os gases de efeito estufa são substâncias com a capacidade de absorver a radiação infravermelha da terra, um efeito conhecido como forçamento radiativo. Para modelar esse efeito, a mudança na concentração dos gases e o forçamento radiativo são determinados, levando em conta o tempo de permanência da substância (EUROPEAN COMMISSION, 2010a). As emissões realçam o forçamento radiativo, causando o aumento da temperatura de superfície da Terra, e afetando áreas de proteção humana, ambientes naturais e ambientes artificiais (GUINÉE, 2001).

Todas as metodologias da avaliação de impactos de ciclo de vida, na categoria de Mudanças Climáticas, também chamada de Aquecimento Global, utilizam o Potencial de Aquecimento Global (na literatura inglesa, Global Warming Potential - GWP) desenvolvidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). O IPCC desenvolveu um modelo reconhecido mundialmente (modelo de Berna), que calcula o forçamento radiativo de todos os gases de efeito estufa identificando-os como Potenciais de Aquecimento Global (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Os resultados do inventário são convertidos em unidades de referência usando fatores de caracterização. Uma das substâncias de referência para a categoria de impacto “potencial de aquecimento global” é o CO₂ e a unidade de referência é definida como “kg de CO₂ equivalente”. Todas as emissões que contribuem para o aquecimento global são convertidas em kg de equivalentes de CO₂ de acordo com o fator de caracterização, sendo que cada emissão tem seu próprio fator de caracterização.

2.5.3 Demanda de energia primária a partir de fontes renováveis e não renováveis (MJ).

A demanda de energia primária (DEP) é a quantidade de energia diretamente retirada da hidrosfera, atmosfera ou geosfera ou outra fonte de energia, sem alterações antropogênicas (BAITZ et al., 2014). No caso de combustíveis fósseis e urânio, DEP seria a quantidade de recursos retirados expressos em seus equivalentes de energia (o conteúdo energético da matéria-prima) e para recursos renováveis, como energia hidrelétrica, a DEP seria baseada na

quantidade de energia que é obtida da mudança na energia potencial da água (BAITZ et al., 2014).

A DEP é o parâmetro mais significativo no julgamento da eficiência energética dos sistemas, uma vez que leva em consideração as perdas devido à transformação e transporte, além de conter a "energia de matéria-prima", ou seja, o equivalente de energia primária dos materiais produzidos a partir de petróleo, carvão, madeira, etc (KLÖPFFER, 1997).

O consumo de energia primária está disponível como valor calorífico bruto e líquido, sendo que o poder calorífico bruto representa a reação em que todos os produtos da combustão são devolvidos à temperatura original de pré-combustão, e o valor calorífico líquido é o valor de aquecimento mais alto menos o calor de vaporização da água (BAITZ et al., 2014).

2.6 Análise de Entrevistas e SWOT da Política Nacional de Resíduos Sólidos

A fim de atender aos objetivos específicos II e III, onde o II é identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da Política Nacional de Resíduos Sólidos no âmbito geral dos resíduos sólidos, a fim de identificar oportunidades para expansão no uso de material secundário na perspectiva de produtores de material secundário e fabricantes; e o III é compreender de que forma uma Declaração Ambiental de Produto (DAP) pode contribuir para o incentivo da reciclagem no Brasil, será utilizada a metodologia SWOT, complementada por entrevistas semiestruturadas, cujos roteiros se encontram nos anexos A e B.

SWOT é um acrônimo das palavras da língua inglesa Strengths (forças), Weaknesses (fraquezas), Opportunities (oportunidades) e Threats (ameaças). A análise SWOT é utilizada para avaliar alternativas e situações de decisões complexas (HELMS; NIXON, 2010), e também como uma ferramenta de planejamento estratégico capaz de analisar uma política, programa, projeto ou intervenção (GIUSTI; MAGGINI, 2016).

Análise SWOT é muito utilizada para avaliação de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de empresas, mas também pode ser aplicada individualmente, como no trabalho de Ames e Runco (2005), que entrevistou 47 empresários a fim de descobrir porque certos empresários eram bem-sucedidos.

Através da análise SWOT, foram analisadas 39 políticas/programas em 12 países, a fim de investigar o que torna uma política ou um programa aplicável, sustentável e eficaz, a partir de uma saúde pública e das partes interessadas (GIUSTI; MAGGINI, 2016). A mesma ferramenta foi utilizada por (HUERTA; BALICER; LEVENTHAL, 2003) para identificar os pontos fortes e fracos, as oportunidades de sucesso e as ameaças do programa israelense de revacinação, assim como as condições em que as decisões críticas foram alcançadas.

O objetivo da análise SWOT neste trabalho é fazer uma avaliação das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da Política Nacional de Resíduos Sólidos. A fim de identificar oportunidades para expansão no uso de material secundário na perspectiva de produtores de material secundário e fabricantes e levantar outros pontos relevantes, serão realizadas entrevistas semiestruturadas com um representante de cada segmento, neste caso, voltados ao estudo das rodas de alumínio. São eles:

- Produtor de lingotes de alumínio secundário;
- Fabricante de rodas de alumínio;
- Representante do governo que participou da formulação da PNRS.

As respostas de cada representante serão analisadas e junto da matriz SWOT da Política Nacional de Resíduos Sólidos, serão levantados e discutidos pontos importantes para a promoção do incentivo à reciclagem de materiais em fim de vida e o uso de material secundário pelas indústrias no Brasil. Por fim, essa discussão será complementada comparando com a matriz SWOT do Programa DAP, elaborado por Hoe (2016), a fim de entender de que maneira o mercado da reciclagem se complementa ou poderia ser beneficiado com o funcionamento do programa de declaração ambiental de produto (DAP) existente no Brasil.

3. ANÁLISE DAS ENTREVISTAS E ANÁLISE SWOT DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1 Resultado da análise das entrevistas

As questões aos entrevistados foram direcionadas ao uso de material secundário nas indústrias e a importância da sua qualidade para o mercado. Foram apontadas vantagens e dificuldades em relação ao uso desses materiais, e como esse uso poderia melhorar o mercado da reciclagem como um todo.

O foco dos dois empresários foi na falta de incentivo do governo para reciclar e nas vantagens trazidas pelo uso do material secundário, tais como diminuição de custos para a empresa, a maior disponibilidade de sucata no mercado hoje, a diminuição do preconceito do uso de material secundário devido à comprovação de qualidade e a possibilidade de aumentar margem de lucro da empresa ou conseguir um preço mais competitivo para o cliente final.

Especificamente na questão de qualidade, ambos concordaram que entender as relações de qualidade entre material primário e secundário é uma informação que pode afetar positivamente o mercado, contribuindo para uma melhora do fluxo de resíduos. O empresário da indústria de alumínio secundário destacou a importância de uma boa separação das sucatas para facilitar a reciclagem. Já o empresário da indústria de rodas reconhece a importância de ter essa informação, embora não consiga ver diferença na aplicabilidade para seu produto.

Em relação às dificuldades apontadas, ambos ressaltam a presença que ainda há do preconceito com o uso de material reciclado, embora já diminuído, e a falta de entendimento dos clientes; as dificuldades em controlar contaminação, qualidade e atender normativas; a falta de incentivo para compra de maquinários, investimento no melhoramento de processos, tecnologia, etc.; achar fornecedores que tenham e comprovem padrão de qualidade; e a falta de incentivo fiscal do governo.

Entretanto, ambos os empresários visualizam diversas oportunidades para a expansão do mercado, com oportunidades de novos negócios em função das próprias legislações ambientais; investimento em processos, equipamentos e tecnologias de reciclagem; concessão de incentivos fiscais para uso de material reciclado; investimento em logística e transporte para facilitar o escoamento dos materiais a serem reciclados ou já reciclados; melhorar a qualidade e o grau de separação da sucata para gerar menos resíduos e menos impacto; e por fim, aumento da produção e uso de material secundário no futuro.

Para os três entrevistados, ficou claro que embora a PNRS preveja instrumentos econômicos para incentivo da reciclagem e para o desenvolvimento, implantação e estruturação

de produtos, sistemas, pesquisas, infraestrutura, gestão e tecnologias voltadas para os resíduos, não detalha de que forma isso pode ser feito, atribuindo essa responsabilidade para todos os entes federativos. Talvez isso possa no futuro ser melhor descrito no próprio Plano Nacional que ainda não foi lançado. Mas se houvesse incentivo fiscal, haveria mais empresas coletando e reciclando, isso geraria mais emprego e renda aos trabalhadores que lidam direto com o resíduo, como por exemplo os catadores.

O representante do governo ressaltou que o decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a PNRS, deveria ter aprofundado mais a temática da reciclagem e as questões relacionadas ao incentivo fiscal e econômico. Porém, não o faz e acaba deixando o país atrasado nessas questões. Ele também destaca que a lei é moderna e que traz vários avanços, mas que precisa um pouco mais de vontade e visão política, além de organização para dar efetividade a ela. Além disso, a logística reversa e a coleta seletiva, que dependem dos acordos setoriais para funcionar, são ferramentas essenciais para alavancar o crescimento do mercado da reciclagem e a necessidade de estruturar isso junto à indústria.

Para isso, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que ainda não possui publicada uma versão oficial e definitiva, deve servir como ferramenta de planejamento e gestão indispensável. O Plano é responsável por designar metas, estratégias e diretrizes que deverão nortear todos os responsáveis indicados na PNRS, contribuindo para sua implementação. Portanto, a sua não publicação e atualização, dificulta realizar e praticar o que está estabelecido na Lei.

Outro ponto importante ressaltado pelo representante do governo é em relação ao contexto social que envolve a reciclagem devido ao seu potencial de inclusão social e geração de trabalho e renda. Isso porque insere, na maioria das vezes, a utilização de profissionais catadores para realizar parte da coleta e seleção de alumínio e de outros materiais que serão reciclados. Nesse contexto, associa-se a busca pelo aumento da qualidade desses materiais a uma coleta seletiva melhor estruturada e, portanto, isso pode trazer para a cadeia da reciclagem diversos benefícios sociais, tais como maior número de postos de trabalho nesse setor e ainda melhores condições socioeconômicas para esses trabalhadores e suas famílias.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reconhece como princípio, que os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis são bens econômicos e de valor social, capazes de gerar trabalho e renda, e promover a cidadania. Portanto, contabilizar os benefícios sociais, como geração de emprego e renda na cadeia da reciclagem, reforça ainda mais sua importância como mecanismo fundamental no processo de inclusão social e desenvolvimento econômico do país.

A cadeia da reciclagem depende de uma cadeia de serviços formada pelos processos de coleta, triagem, enfardamento e outros que são necessários para permitir que o material misturado na lixeira seja transformado em um recurso industrial (RUTKOWSKI; RUTKOWSKI, 2017). No Brasil, boa parte desses serviços é realizado pelos catadores, que realizam a coleta dos recicláveis em diferentes locais e os vendem como matéria-prima para a indústria de reciclagem. Felizmente, desde 2002 a profissão de catador já consta na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

A PNRS também tem como objetivo a busca pela integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, e prevê o incentivo à criação e o desenvolvimento de cooperativas e outros tipos de associações para estes trabalhadores (BRASIL, 2010). Desta forma, reconhece a importância das atividades dos catadores para o sistema que abrange o universo dos resíduos sólidos.

De acordo com o último Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016, publicado recentemente pelo Ministério das Cidades, a geração de empregos diretos no setor de Resíduos Sólidos é na média de 1,82 trabalhadores por 1.000 habitantes (SNSA-MCIDADES, 2018). Pensando nesse contexto e que parte da qualidade dos materiais recicláveis que voltarão para a cadeia produtiva dependem da coleta e seleção realizada por esses profissionais, associa-se o aumento da qualidade desses materiais a uma coleta seletiva melhor estruturada e, portanto, isso pode abranger um aumento no número de postos de trabalho nesse setor, beneficiando toda cadeia da reciclagem.

3.2 Resultado da SWOT da PNRS

O objetivo da análise SWOT neste trabalho foi fazer uma avaliação das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a fim de identificar oportunidades para expansão no uso de material secundário na perspectiva da gestão dos resíduos sólidos e à promoção do incentivo à reciclagem de materiais em fim de vida.

Um segundo objetivo dessa análise busca compreender de que forma uma Declaração Ambiental de Produto (DAP) pode contribuir para o incentivo da reciclagem no Brasil, a partir da análise SWOT elaborada para o regulamento do INMETRO (Portaria 100/2016) que define o sistema de DAP no Brasil, elaborado por Hoe (2016).

Para complementar a discussão da análise SWOT da PNRS, a partir da perspectiva de produtores de matéria prima e fabricantes, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com

um produtor de lingotes de alumínio secundário; um fabricante de rodas de alumínio que utiliza alumínio secundário e um representante do governo, que participou da formulação da PNRS. Ambas as empresas são de Porto Alegre e as entrevistas foram presenciais, acompanhadas de uma visita técnica. A entrevista com o ex-secretário parlamentar foi realizada por telefone. Os roteiros das entrevistas são apresentados nos anexos A e B.

A matriz resultante da análise SWOT da Política Nacional de Resíduos Sólidos, apresentada na tabela 2 identificou os pontos fortes e fracos (fatores internos) e as oportunidades e ameaças (fatores externos) do regulamento, no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos e à promoção do incentivo à reciclagem de materiais em fim de vida.

TABELA 2 - ANÁLISE SWOT DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Forças

Integração e articulação com outras políticas e regulamentos.
 Visão sistêmica e integrada de aspectos ambientais, sociais, econômicos, culturais, tecnológicos e de saúde pública.
 Incentiva a gestão ambiental e empresarial voltada para melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos, reciclagem, recuperação e aproveitamento energético.
 Estimula padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços.
 Estimula o uso da implementação da avaliação do ciclo de vida e da rotulagem ambiental.
 Busca articulação entre os três níveis de governo: federal, estadual e municipal.
 Incentiva a integração digital por meio de sistemas, bancos de informação e cadastros técnicos.
 Contribui com um regramento mínimo para a criação de planos de resíduos sólidos e planos de gerenciamento de RS.
 Esclarece sobre as responsabilidades atribuídas aos geradores de resíduos e ao Poder Público.
 Incentiva geração de trabalho e renda e inclusão social.
 Estabelece instrumentos econômicos que incentivam a reciclagem.
 Prevê instrumentos econômicos para incentivo do desenvolvimento, implantação e estruturação de produtos, sistemas, pesquisas, infraestrutura, gestão e tecnologias voltadas para os resíduos.

Fraquezas

Faltam diretrizes mais voltadas especificamente para colaboração do setor privado.
 Governo ainda não colocou em vigor o Plano Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos.
 Falta de arranjo e articulação entre municípios para estabelecimento da coleta seletiva e logística reversa.

Oportunidades

Aumento do número de empresas e cooperativas que trabalhem com gestão, recuperação, reciclagem, processamento, tecnologias de tratamento e produção de energia associadas a resíduos sólidos.
 Capacitação para gestão de resíduos sólidos em diversos segmentos.
 Criação de oportunidades de negócios e produtos que incentivem a diminuição da geração de resíduos, bem como a reciclagem e recuperação de materiais.
 Utilização de avaliação de ciclo de vida e rotulagem ambiental para potencializar mercado da reciclagem.
 Investimento em tecnologias de reciclagem e recuperação de resíduos.
 Aumentar articulação entre esferas governamentais.
 Enxergar o resíduo como bem de valor econômico e social.
 Priorizar o uso de produtos recicláveis nas aquisições e contratações governamentais.
 Governo deve garantir que os acordos e termos de compromisso de todas as cadeias produtivas sejam cumpridos.
 Geração de trabalho e renda.

Ameaças

Dificuldades para integrar os sistemas de informação de resíduos no Brasil.
 Disparidade de infraestrutura e investimento entre regiões do Brasil.
 Falta de infraestrutura para atender requisitos da Política.
 Governo não reconhecer a bitributação como um entrave para o mercado de material secundário.

A PNRS traz vários pontos fortes. Incentiva a gestão integrada e sistêmica, e busca estimular o melhoramento de processos produtivos, do reaproveitamento dos resíduos, da reciclagem, da recuperação e do aproveitamento energético. Incentiva a busca por padrões de uso e consumo sustentáveis e a implementação da avaliação do ciclo de vida e da rotulagem ambiental. Preza por uma boa articulação entre as esferas governamentais e por uma integração dos sistemas de informações e cadastros técnicos.

Também se destaca por estabelecer requisitos mínimos para a criação de planos de resíduos sólidos e planos de gerenciamento de resíduos sólidos para estados e municípios. Busca o incentivo da geração de trabalho e renda e prevê, ainda que não muito bem detalhados, instrumentos de incentivo econômico à reciclagem, ao desenvolvimento, implantação e estruturação de produtos, sistemas, pesquisas, infraestrutura, gestão e tecnologias voltadas para os resíduos.

Dentre as fraquezas, destacam-se duas. A primeira é que o governo federal ainda não colocou em vigor o Plano Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos oficial, o que pode acarretar dificuldades para alguns estados e municípios em elaborar ou administrar os seus. A segunda, é que faltam diretrizes voltadas especificamente para colaboração do setor privado no que diz respeito à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

A Lei evidencia uma série de oportunidades para movimentar o mercado da reciclagem. Dentre elas, a possibilidade do aumento do número de empresas e cooperativas que trabalhem com gestão, recuperação, reciclagem, processamento, tecnologias de tratamento e produção de energia associadas a resíduos sólidos. Assim como a criação de oportunidades de negócios e produtos voltados a incentivar a diminuição da geração de resíduos, a reciclagem e a recuperação de materiais. Outras oportunidades podem ser vistas na tabela 4.

Por fim, as ameaças dizem respeito às dificuldades devido à disparidade de infraestrutura e investimento entre os estados e entre os municípios do Brasil, à falta de integração das informações e a falta de visão do governo em não reconhecer a bitributação como um entrave para o mercado de material secundário.

3.3 Declaração Ambiental de Produto (DAP) e suas contribuições

De acordo com Hoe (2016), a DAP estimula o consumo sustentável e a integração de políticas sustentáveis, além de ser elaborada a partir de sistemas internacionais, o que pode colaborar muito com a gestão integrada e sistêmica de resíduos, e contribuir com o

melhoramento de processos produtivos, do reaproveitamento dos resíduos, da reciclagem, da recuperação e do aproveitamento energético, destacados na PNRS.

Dentre as oportunidades da DAP elencadas por Hoe (2016), destacamos duas que dialogam com a discussão sobre a qualidade e uso de material secundário, levantada no estudo de caso do capítulo 3, e com a discussão sobre a PNRS levantada pela análise SWOT apresentada no item 4.1 deste capítulo. São elas: a consolidação da ACV e dos bancos de dados em ciclo de vida no Brasil e, o aumento das exportações de produtos brasileiros, por cumprimento de normas de rotulagem ambiental. Essas duas oportunidades poderiam encontrar respaldo nas discussões apresentadas nesse trabalho, e vice-versa.

A partir da leitura da análise SWOT elaborada para o sistema de DAP no Brasil, através da Portaria 100/2016 (HOE, 2016), dos resultados aqui apresentados e das entrevistas realizadas, podemos inferir que as relações de qualidade e outras informações que possam agregar valor ao produto e demonstrar seus benefícios ao meio ambiente poderiam ser utilizadas pelo sistema de Declarações Ambientais de Produto brasileiro, assegurando uma maneira de contribuir com o incentivo da reciclagem no Brasil.

Isso porque, de acordo com o INMETRO, a DAP “é um documento que resume o perfil ambiental de um produto, fornecendo informações sobre seus aspectos ambientais de forma padronizada e objetiva” (INMETRO, 2016). O programa ainda é voluntário e aos poucos deverá ser visado pelas empresas, quem sabe transformando-se em uma tendência. Uma indicação disso pode ser constatada nas entrevistas aos empresários, quando ambos concordaram que a adoção de um selo ou rótulo ambiental poderia auxiliar o mercado da reciclagem e facilitar o retorno dos resíduos à indústria.

De acordo com Hoe (2016), o funcionamento do programa depende da elaboração dos requisitos específicos para cada produto ou setor, as chamadas Regras de Categorias de Produtos (RCP), a serem elaborados por uma comissão técnica instituída pelo INMETRO. Se a organização que estiver elaborando uma DAP contiver os requisitos obrigatórios definidos na RCP, a mesma poderá obter a certificação.

A portaria determina alguns requisitos mínimos para emissão de uma DAP e dentre elas, podemos destacar duas que dialogam diretamente com este trabalho. A primeira é a possibilidade de o produtor oferecer informações quando seu produto é fabricado com materiais recicláveis (100% ou menos). Já se o produto contiver materiais secundários, uma declaração de proveniência deverá ser apresentada na DAP (INMETRO, 2016).

Ambos os empresários concordaram que informar sobre a presença de conteúdo reciclado em seus produtos pode ser positivo ao mercado da reciclagem, embora o fabricante de rodas tenha ressaltado que no caso deles podem haver ressalvas devido ao fato de que o setor automobilístico busca alta performance, e isso está atrelado a um alumínio de alta qualidade. Na verdade, esse estudo das relações de qualidade entre alumínio primário e secundário pode contribuir justamente para esse tipo de mercado mais exigente.

Portanto, ainda que de forma voluntária, o Brasil já possui um programa que fornece respaldo às discussões que tratam de informações de diversos tipos, dentre elas, a que informa o uso de reciclado e a origem do material secundário utilizado no produto. Além disso, o programa DAP também solicita informações de desempenho ambiental a partir de estudos de avaliação de ciclo de vida (ACV), baseados nos estágios do ciclo de vida, contendo informações sobre o uso de recursos, impactos ambientais potenciais, geração de resíduos e outras informações ambientais adicionais, que pode incluir: reciclagem, reutilização, descarte, uso e fim de vida (INMETRO, 2016).

Isso reforça a necessidade, cada vez mais incipiente, de que empresas e indústrias deverão ter um acervo detalhado dos seus processos e materiais utilizados em suas produções. E, que elas terão que investir cada vez mais no desenvolvimento dos produtos. É o que afirma o trabalho de Finkbeiner et al., (2006) ao relatar que produtos complexos, como os veículos por exemplo, possuem interações complexas com o meio ambiente e, portanto, soluções simples tendem a fracassar. É necessário fazer as avaliações de ciclo de vida desde o processo de desenvolvimento do produto para obter resultados relevantes de desempenho ambiental (FINKBEINER et al., 2006).

Na integração das políticas que interagem diretamente com a DAP, Hoe (2016) cita a Política Nacional de Resíduos Sólidos como uma das políticas mais diretamente relacionadas com o desenvolvimento das RCPs e das DAPs. Isso fica evidente na análise SWOT, no que diz respeito às forças da política, o estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida e da rotulagem ambiental. Além disso, a PNRS traz como um dos seus objetivos o incentivo à indústria da reciclagem, a fim de estimular o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados. Portanto, são duas frentes que precisam se desenvolver e se unir para tornar o mercado da reciclagem mais forte e efetivo.

Outro fator importante a colaborar com o mercado da reciclagem, como ressaltado nas entrevistas dos empresários, está a questão da tributação excessiva ou a falta de incentivos fiscais para reciclagem. Hoe (2016) também comenta que as informações geradas pela

rotulagem tipo III pode facilitar ou estimular as empresas a adotar os programas devido a benefícios fiscais que poderão ser dados. Se aliar a isso o incentivo à reciclagem, toda a cadeia de produtos e resíduos poderá ser beneficiada, e conseqüentemente, aumenta-se a sustentabilidade desses e de futuros programas e políticas.

4. ESTUDO DE CASO

Esse capítulo tem como objetivo desenvolver um estudo de caso a fim de atender ao objetivo específico IV. Para isso, aplica-se a metodologia de ciclo de vida em conjunto com a fórmula integrada para caracterizar os impactos ambientais nas categorias de depleção abiótica (kg Sb-Equiv.); potencial de aquecimento global (kg CO₂-Equiv.); e demanda de energia primária a partir de fontes renováveis e não renováveis (MJ). Para isso, são aplicados cenários com diferentes proporções de qualidade do material secundário na fabricação e reciclagem de uma liga de alumínio. O modelo foi adaptado ao cenário brasileiro no que diz respeito à matriz energética.

Para analisar os resultados dos impactos ambientais a partir de um enfoque econômico, foi realizada uma conversão dos fluxos ambientais das categorias de impacto escolhidas em unidades monetárias e em função dos seus preços de mercado na atualidade.

Tendo em vista a importância econômica e o aumento da demanda do alumínio, como já explicitados na revisão bibliográfica, esse material foi escolhido como base para modelar esse estudo de caso. Inicialmente, pensou-se em utilizar a roda de alumínio. Entretanto, uma das prerrogativas para aplicação da fórmula integrada em produtos multimateriais, é que somente um tipo de material pode entrar de cada vez na fórmula (WOLF et al., 2014). Tendo isso em vista, optou-se em realizar um estudo de caso utilizando a liga de alumínio AlSi₇Mg, denominada A356, utilizada na fabricação de rodas (MODARESI; LØVIK; MULLER, 2014). Aliado a esse motivo, encontrou-se banco de dados para essa liga no software GaBi, ainda que o banco seja provido de dados europeus.

Serão realizadas análises comparativas entre 15 cenários, dentro da modelagem para reciclagem de final de vida da liga de alumínio AlSi₇Mg (EU-28), cuja composição química típica para essa liga é: (%) é cobre-0,25, manganês-0,35, silício-6,5 a 7,5, ferro-0,6%, zinco-0,35, outros-0,05, alumínio-87 a 100 (DEEPAK; NARESH; HUSSAIN, 2012).

A seguir, será descrita a metodologia dentro da abordagem de ACV, utilizada para este estudo de caso.

- **Objetivo e escopo**

Esta Avaliação de Ciclo de Vida tem por objetivo analisar as relações de qualidade entre ligas de origem primária e secundária, dentro de um curto ciclo de reciclagem da liga AlSi₇Mg (demonstrado na figura 3). Optou-se por utilizar um escopo reduzido para o ciclo porque o objetivo é trabalhar apenas com a entrada dos dados de mistura de conteúdo primário e secundário para testar a parte da fórmula integrada que vai calcular os impactos ambientais, a

partir de cenários com diferentes relações de qualidade entre a liga de alumínio primário e secundário.

Embora pequeno, esse sistema de reciclagem tem como função fabricar alumínio secundário que servirá de base de entrada em outros sistemas de fabricação de produtos que utilizam alumínio reciclado em sua composição. Como públicos alvo do estudo estão a indústria de manufatura, a indústria da reciclagem (recicladores, coletores), a esfera governamental e os consumidores em geral.

- **Unidade funcional**

A unidade funcional de análise teve como base a fabricação de 1kg da liga de alumínio (AlSi₇Mg) reciclada. O escopo do estudo é limitado apenas à etapa de fabricação da liga secundária a partir do alumínio primário, onde as fórmulas foram aplicadas. A parte de transportes, assim como a parte do processo de reciclagem ficaram fora do escopo.

- **Inventário do ciclo de vida**

Os dados utilizados para liga primária foram referentes à média dos inventários para União Europeia (EU-28) disponíveis no banco de dados do GaBi 6.0 - versão educacional (GaBi, 2018). Para permitir uma aproximação com o cenário brasileiro, fez-se uma adaptação dos dados de demanda de energia primária (DEP). Como a origem da energia elétrica utilizada para produção de alumínio primário é de origem hidroelétrica no Brasil, foi realizada a troca dos dados do mix de DEP de origem europeu pela DEP hídrica brasileira.

Não foram utilizados dados do processo de reciclagem da liga porque não havia disponível no banco de dados. O único dado considerado para reciclagem foi o de consumo específico de energia elétrica (0,7 MWh/t) para reciclagem de alumínio no Brasil em 2010 (ABAL, 2012). Esse dado foi utilizado para calcular o gasto energético no processo de reciclagem utilizado no modelo, onde o valor obtido foi de 2,52MJ para reciclagem de 1kg da liga de alumínio AlSi₇Mg.

- **Avaliação do impacto do ciclo de vida**

As categorias de impacto consideradas relevantes para analisar as questões ambientais associadas à produção de alumínio foram:

- a) CML2001, (jan. 2016) - depleção abiótica (kg Sb-Equiv.);
- b) CML2001, (jan. 2016) - potencial de aquecimento global (GWP 100 anos) (kg CO₂-Equiv.);
- c) demanda de energia primária a partir de fontes renováveis e não renováveis (MJ).

- **Fórmula Integrada**

Para testar a fórmula a Fórmula Integrada (FI) da Equação 1 (cujos parâmetros foram descritos e especificados no Capítulo 2), utilizou-se o software GaBi já equipado com um kit teste do PEF, o qual trazia as caixas dos processos com os blocos da fórmula da FI. Então, modelou-se um plano no software, conforme demonstrado na figura 3.

O modelo ajuda a entender uma situação hipotética de mercado da reciclagem para a liga AlSi₇Mg, que poderá servir como base para outros produtos e materiais. São analisadas a entrada e saída de alumínio secundário no modelo de produção de 1 kg da liga. Na entrada do sistema, está a razão de qualidade em relação ao material primário (Q_{sin}/Q_{pin}).

E na saída, em seu fim de vida (lembrando que não são considerados o transporte e a fase de uso da liga), pós reciclagem, está a razão de qualidade (Q_S/Q_P) que determinará o valor de crédito ou débito que será dado à produção primária, corrigida por essa relação de qualidade entre alumínio secundário e primário.

Em um mercado de reciclagem real, seria o equivalente ao fabricante de um determinado produto que utiliza matéria prima secundária em sua composição e que, portanto, compra essa matéria prima secundária de um fornecedor. E o reciclador, que recicla esse produto e transforma-o em matéria prima secundária para posteriormente colocar esse material à venda no mercado de materiais secundários.

Aplicação da FI para a Liga AlSi₇Mg

Plano de processo GaBi-Quantidades de referência
Os nomes dos processos básicos são mostrados.

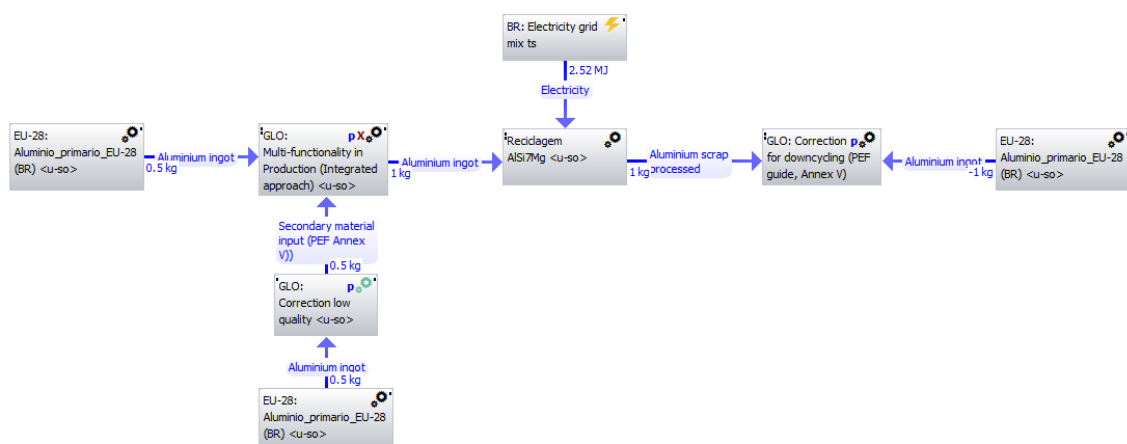


FIGURA 3- MODELO CONSTRUÍDO NO GaBi PARA APLICAÇÃO DA FI NO ESTUDO DA PRODUÇÃO DA LIGA AlSi₇Mg

Para rodar as análises, foram consideradas variações de três parâmetros presentes da fórmula integrada: i) a qualidade do material secundário em relação ao primário, Q_{Sin}; ii) o

conteúdo de material reciclado, R_1 e; iii) a qualidade do material secundário gerado pós reciclagem, que irá receber o crédito de abatimento do material primário de acordo com o fator da sua qualidade, QS .

Para testar diferentes variações desses parâmetros, foram elaborados 7 cenários, descritos na figura 4. Para efeito de comparação, foram construídos um cenário com valores zerados para os três parâmetros, chamado de “inexistente”, que significa qualidade inexistente, e outro com valores mínimos para os três parâmetros, chamado de “mínima”, se referindo à qualidade mínima. Um terceiro cenário comparativo está no outro extremo, com valores que poderiam ser considerados ideais em um mundo que recicla 100% do seu material, chamado de “máxima”, se referindo a um cenário onde a qualidade tanto de Q_{sin} quanto de QS são máximas. Os demais cenários são intermediários.

| Nome do cenário | Descrição do cenário |
|------------------------|---|
| Inexistente | $R_1=0$; $Q_{sin}=0$; $QS=0$ |
| Mínima | $R_1=0,01$ $Q_{sin}=0,01$; $QS=0,01$ |
| SE0,1:SS0,5 | reciclado de entrada: adquirido com qualidade baixa ($Q_{sin}=0,1$); reciclado de saída: devolvido com qualidade média ($QS=0,5$). |
| SE0,5:SS1 | reciclado de entrada: adquirido com qualidade média ($Q_{sin}=0,5$); reciclado de saída: devolvido com qualidade máxima ($QS=1$). |
| SE0,8:SS0,1 | reciclado de entrada: adquirido com qualidade alta ($Q_{sin}=0,8$); reciclado de saída: devolvido com qualidade baixa ($QS=0,1$). |
| SE1:SS0,8 | reciclado de entrada: adquirido com qualidade máxima ($Q_{sin}=1$); reciclado de saída: devolvido com qualidade alta ($QS=0,8$). |
| Máxima | $R_1=1$; $Q_{sin}=1$; $QS=1$ |

FIGURA 4- DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Para a análise no GaBi, os 4 cenários intermediários (SE0,1:SS0,5; SE0,5:SS1; SE0,8:SS0,1 e SE1:SS0,8) foram testados para diferentes percentuais de conteúdo reciclado. Com 20% de conteúdo reciclado ($R_1=0,2$); 50% de conteúdo reciclado ($R_1=0,5$); e por fim, 100% de conteúdo reciclado ($R_1=1$).

A partir dessa formatação de cenários, foram calculados os balanços pelo Software GaBi. No item a seguir, são apresentados os resultados para cada um dos 15 cenários no total, divididos em dois tópicos. O primeiro apresenta os dados relativos aos impactos ambientais

para cada categoria; no segundo, uma análise de impactos econômicos relativos ao consumo de eletricidade, à geração/liberação de antimônio e de carbono resultantes do impacto ambiental.

4.1 Resultados

4.1.1 Impactos Ambientais

Os resultados para as 3 categorias de impacto são apresentados nas figuras a seguir. Além delas, achou-se interessante acrescentar ao gráfico os valores de consumo de bauxita, o elemento mineral extraído para fabricação do alumínio. Primeiramente serão apresentados três gráficos, com os respectivos cenários para cada percentual de entrada de alumínio secundário. O primeiro R1 20%; o segundo R1 50% e no terceiro R1 100%. A seguir, um quarto gráfico reunirá todos os resultados, a fim de comparar os cenários de variação de qualidade (Qsin e QS) entre os 3 cenários que variam a entrada de R1.

4.1.1.1 Cenários de qualidade “inexistente”, “mínima” e “máxima”

Esses cenários estão representados em todos os gráficos.

Como esperado, o cenário denominado “inexistente”, onde os três parâmetros estão zerados, apresentou os maiores valores para as três categorias de impacto, além do maior consumo de bauxita. Como não há entrada de alumínio secundário nesse cenário, os impactos todos são atribuídos ao uso exclusivo de alumínio primário, portanto, apresentou valores máximos de consumo de bauxita (5,3kg) e demanda de energia primária (70,3MJ), que são recursos altamente demandados na produção de alumínio primário. Conseqüentemente, altas taxas de emissões de gases de efeito estufa (9,4kg CO₂-Equiv.) e alta depleção abiótica (3,1 kg Sb-Equiv.) são observadas neste cenário.

Já o cenário denominado de “mínima” apresentou valores ligeiramente menores do que o cenário “inexistente” devido a entrada de uma pequena quantidade de alumínio secundário (1%), de qualidade mínima tanto para o resíduo de alumínio de entrada quanto para o de saída. Onde os valores são: GWP 9,2 CO₂-Equiv., depleção abiótica 3,0 kg Sb-Equiv., DEP 69 MJ e bauxita 5,20kg.

No outro extremo, o cenário “máxima” apresenta valores máximos nos três parâmetros (Qsin e QS = 1) e 100% de R1. Como entra 100% de alumínio reciclado de qualidade igual à do primário, os impactos deveriam ser tão grandes quanto o do cenário “inexistente”. Entretanto, os impactos diminuem drasticamente porque a razão da qualidade do alumínio secundário produzido é máxima, ou seja 1, evitando 100% da produção de alumínio primário. Os impactos são baixos para este cenário, onde GWP aparece com 0,2 kg CO₂-Equiv., depleção

abiótica com 0,01 kg Sb-Equiv., DEP de 4,7MJ e nenhum consumo de bauxita. Isso significa, em relação ao cenário “inexistente”, ou seja, ao pior cenário, que há uma redução de 97,9% nas emissões de CO₂-Equiv, 99,7% na redução da depleção abiótica, 94,2% de redução na demanda de energia primária e 100% de redução no consumo de bauxita.

4.1.1.2 Cenários com entrada de 20% de alumínio secundário

Nos cenários com entrada de 20% de alumínio secundário, apresentados na figura 5, se destacam dois cenários. O primeiro, SE0,5:SS1, por apresentar valores muito baixos (GWP - 0,7 kg CO₂-Equiv., depleção abiótica com -0,3 kg Sb-Equiv., DEP -1,8 MJ e bauxita -0,5kg). Esses valores, comparados ao cenário “inexistente”, representam reduções de 107,4%, 109,7%, 102,6 e 109,4% respectivamente.

Já o segundo cenário SE0,8:SS0,1 se destaca por apresentar valores de impactos altos (GWP 8,1 kg CO₂-Equiv., depleção abiótica com 2,7 kg Sb-Equiv. e DEP 61,1 MJ). Quando comparado ao cenário “inexistente”, as reduções somam 13,8%, 12,9%, 13,1% e 14,2% respectivamente.

No primeiro, para o processo de fabricação é adquirido um alumínio secundário de qualidade média ($Q_{sin}=0,5$). Posteriormente, após o processo de reciclagem, é devolvido ao mercado um alumínio secundário de alta qualidade ($Q_S=1$). Sendo assim, o crédito obtido é máximo, pois evita 100% da produção de alumínio primário. Por isso, os valores para os impactos são negativos, o que significa dizer que ao invés de débitos, este cenário apresenta créditos ambientais.

No segundo cenário, SE0,8; SS0,1, temos a lógica inversa. O alumínio secundário adquirido tem alta qualidade ($Q_{sin}=0,8$), e, portanto, apresenta em sua composição uma quantidade maior de alumínio primário. E o de saída, pós reciclagem, têm qualidade baixa ($Q_S=0,1$), ou seja, o crédito pela produção primária evitada é muito baixo, tornando os valores de impacto altos.

Os outros 2 cenários, SE0,1:SS0,5 e SE1:SS0,8 possuem impactos intermediários, mas ainda assim menores que os cenários “inexistente” e “mínimo”. Isso demonstra que quanto maior a qualidade do alumínio secundário pós reciclagem (Q_S), maior o crédito pela produção evitada de alumínio primário, e, portanto, impactos ambientais menores, ainda que o alumínio secundário na entrada (Q_{sin}) seja maior.

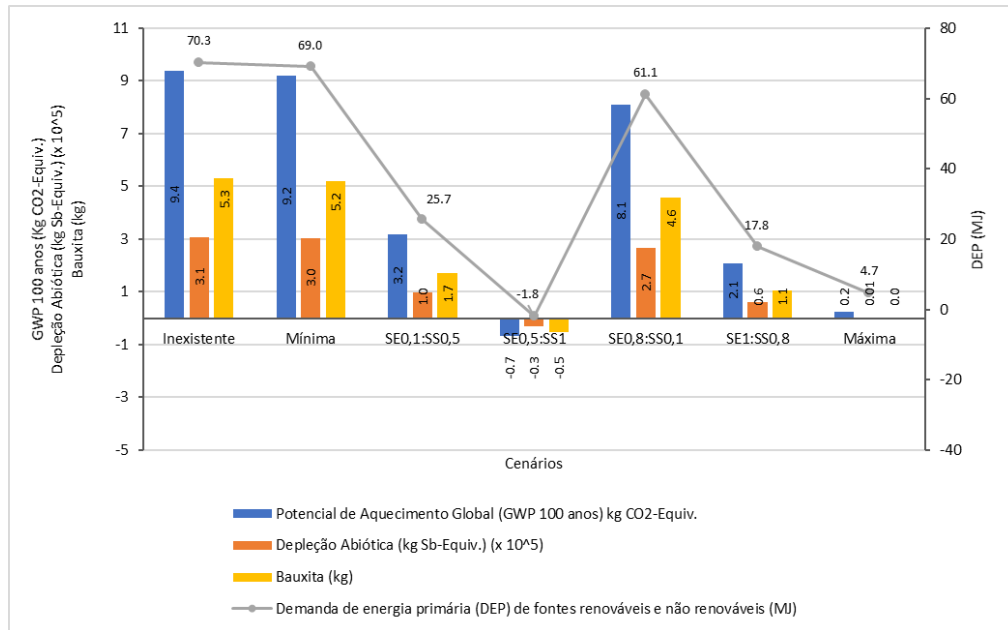


FIGURA 5- IMPACTOS AMBIENTAIS PARA ENTRADA DE 20% DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO

4.1.1.3 Cenários com entrada de 50% de alumínio secundário

Nos cenários com entrada de 50% de alumínio secundário, apresentados na figura 6, mudam os valores para os impactos. Como há uma entrada maior de conteúdo reciclado ($R1=0,5$), houve uma diminuição ainda maior no valor dos impactos, mas o comportamento segue o mesmo explicado anteriormente para o cenário em que entra 20% de alumínio secundário.

Destacamos novamente o cenário SE0,5:SS1, que apresentou os maiores percentuais de redução nas emissões de CO₂-Equiv. com 121,3%, na redução da depleção abiótica com 125,5%, na redução da demanda de energia primária em 116,5% e 124,5% de redução no consumo de bauxita. E o cenário SE0,8:SS0,1, que apresentou os menores percentuais de redução: 19,1%, 19,4%, 18,6% e 20% respectivamente. Todos os percentuais em relação ao cenário “inexistente”.

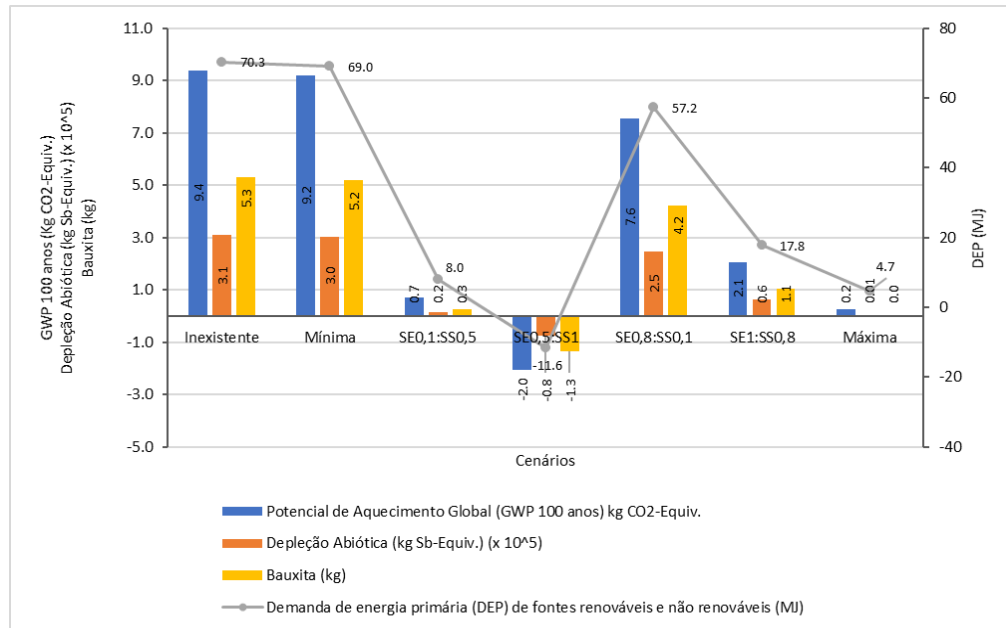


FIGURA 6- IMPACTOS AMBIENTAIS PARA ENTRADA DE 50% DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO

4.1.1.4 Cenários com entrada de 100% de alumínio secundário

Nos cenários com entrada de 100% de alumínio secundário, apresentados na figura 7, os valores para os impactos são ainda menores, seguindo a tendência dos cenários anteriores.

Novamente, destacam-se o cenário SE0,5:SS1, que apresentou percentuais de redução ainda maiores em relação ao cenário “inexistente”, com 145,7% de redução de CO₂-Equiv., 148,4% na redução da depleção abiótica, 139,8% na redução da demanda de energia primária e 150,9% de redução no consumo de bauxita. E por fim, o cenário SE0,8:SS0,1, que apresentou percentuais de redução: 29,8%, 29%, 28% e 30% respectivamente.

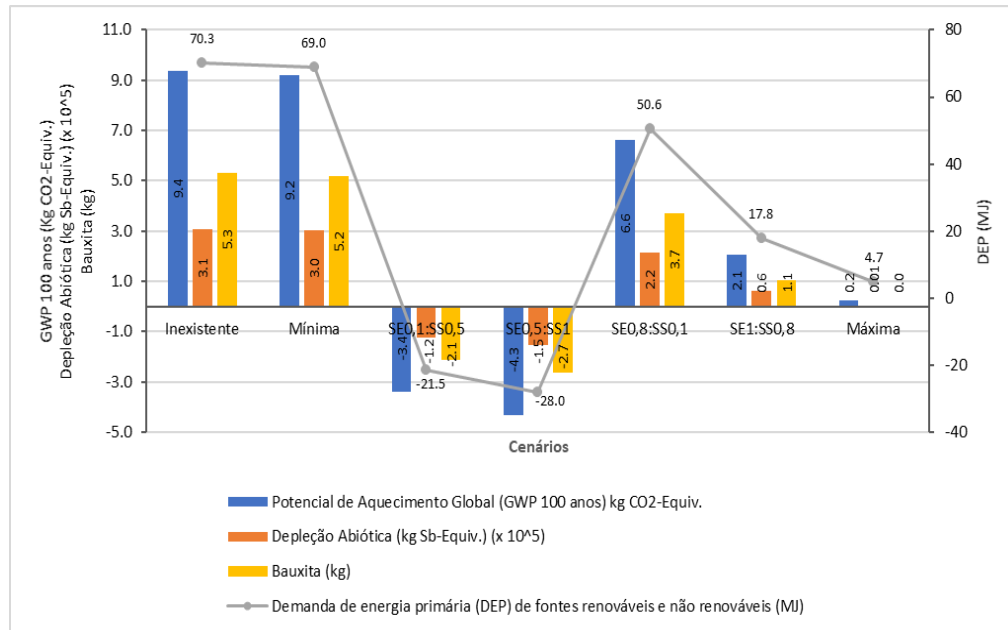


FIGURA 7- IMPACTOS AMBIENTAIS PARA ENTRADA DE 100% DE ALUMÍNIO SECUNDÁRIO

4.1.1.5 Todos cenários juntos

Quando observamos os 15 cenários juntos (figura 8), o fato de aumentar o percentual de entrada de alumínio secundário para 20%, 50% e 100% já contribui para diminuição dos impactos ambientais. Para esses cenários, se fosse analisar apenas o alumínio secundário de entrada (Q_{sin}), o comportamento esperado seria de quanto maior a qualidade de Q_{sin} , maior a quantidade de material primário ele conteria, ou seja, maior os impactos nas 3 categorias. Entretanto, não é o que acontece, porque há um balanço da cadeia da reciclagem que fica perceptível com o uso da fórmula integrada, que associa Q_{sin}/Q_{pin} . Com ela é possível contabilizar com base na qualidade do alumínio secundário de saída, os créditos que serão dados à produção de alumínio primário evitado para um próximo ciclo. Ou seja, quanto maior a qualidade do alumínio secundário de saída, maior é a produção evitada de alumínio primário, o que diminui os impactos ambientais nas três categorias.

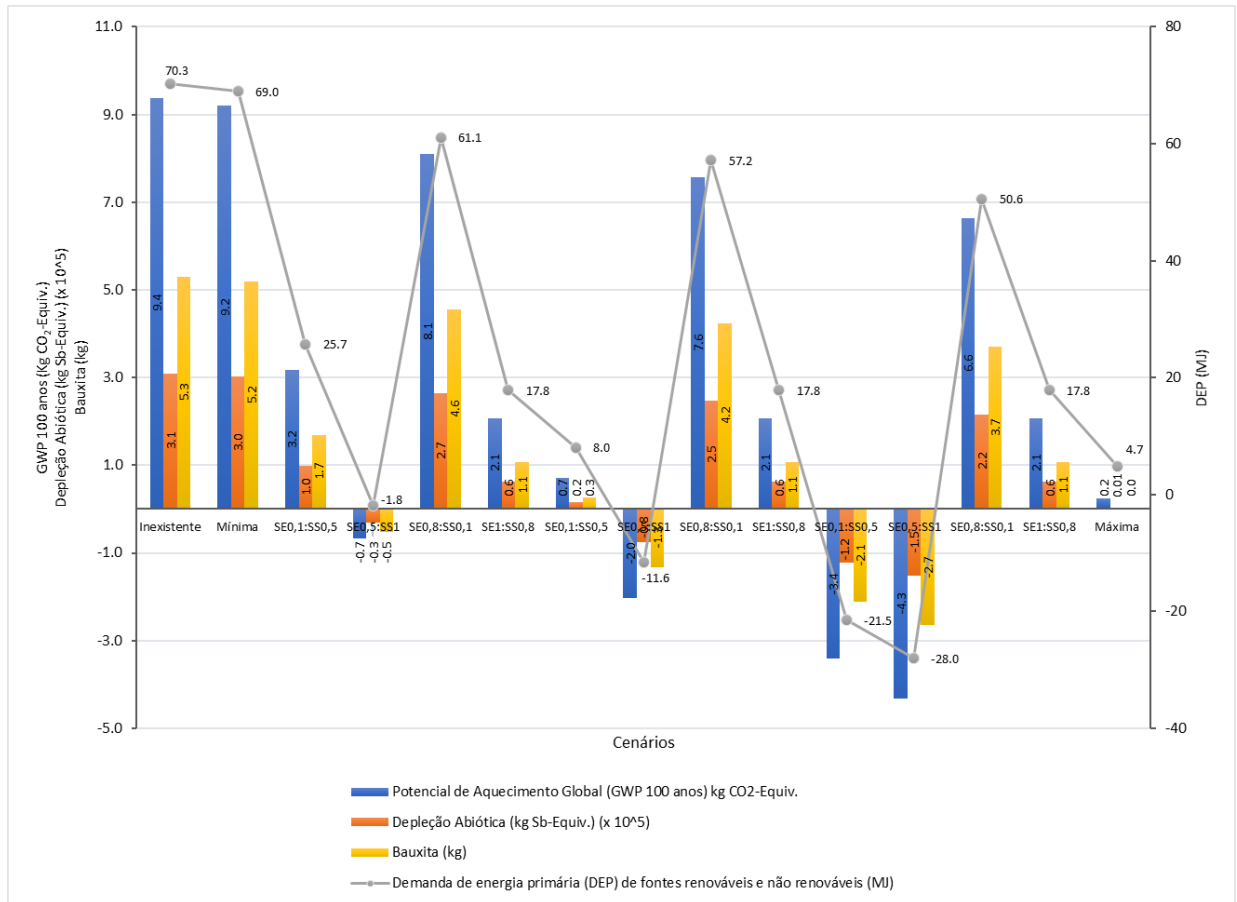


FIGURA 8- IMPACTOS AMBIENTAIS PARA TODOS OS CENÁRIOS JUNTOS

4.1.1 Análise paramétrica

Ao realizar uma análise paramétrica com as três categorias de impacto variando-se em simultâneo os parâmetros Q_{sin} e Q_S entre seus valores mínimos e máximos, observou-se um comportamento não linear. Mesmo assim, como pode-se observar na figura 9, as três categorias guardam algum tipo de dependência (ou previsibilidade), pois variam juntas (diminuem) à medida que os valores dos parâmetros (Q_{sin} e Q_S) aumentam.

O comportamento dessa análise paramétrica confirma o que foi apresentado nos resultados do trabalho até agora, ou seja, na medida em que a qualidade do alumínio secundário é maior, menores são os impactos ambientais quanto à depleção abiótica, potencial de aquecimento global e demanda de energia primária.

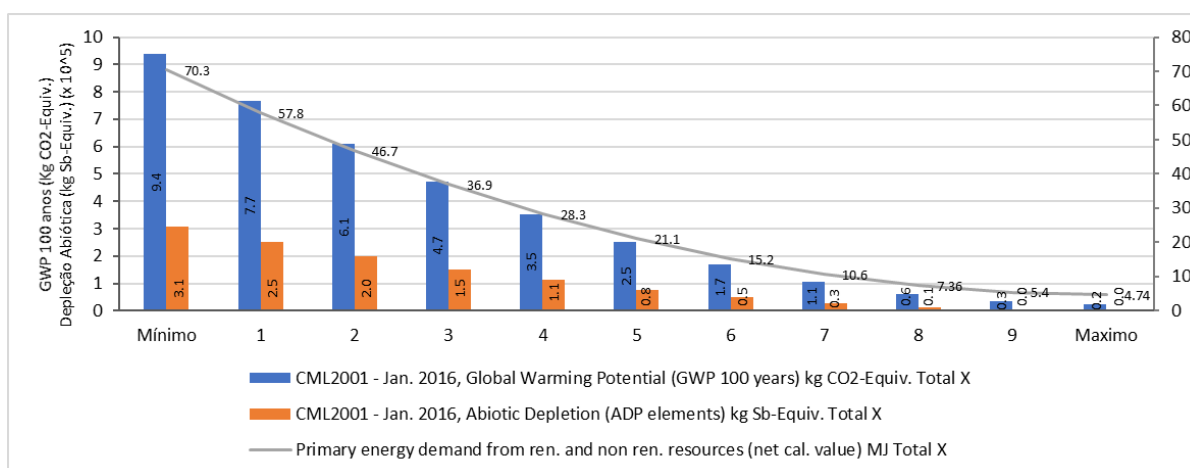


FIGURA 9- ANÁLISE PARAMÉTRICA COM AS TRÊS CATEGORIAS DE IMPACTO VARIANDO-SE EM SIMULTÂNEO OS PARÂMETROS QSIN E QS ENTRE SEUS VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS.

4.1.3 Monetização dos fluxos ambientais

A conversão dos fluxos ambientais das categorias de impacto escolhidas em unidades monetárias e em função dos seus preços de mercado na atualidade, teve como objetivo verificar o impacto das relações de qualidade entre alumínio primário e secundário na baixa ou aumento de custos em relação a essas categorias. Entende-se que esse tipo de análise pode agregar ao trabalho um aspecto econômico fundamental ao pensar em políticas públicas e incentivos fiscais na área da reciclagem e da própria economia circular.

Para isso, foram avaliados os custos do antimônio equivalente, resultante do potencial de depleção abiótico, da demanda de energia primária e das emissões de CO₂ equivalente de cada um dos cenários. A seguir, para cada categoria de impacto, são explicados os cálculos realizados.

4.1.3.1 Análise de custo do antimônio.

O potencial de depleção abiótico abrange alguns recursos naturais selecionados como minérios contendo metais, petróleo bruto e matérias-primas minerais. Esta categoria de impacto descreve a redução da quantidade global de matérias-primas não renováveis, e como substância de referência para os fatores de caracterização é utilizado o antimônio (BAITZ et al., 2014).

Portanto, quanto maior o potencial de depleção abiótico, maior a massa de antimônio equivalente. Então, uma maneira de calcular o custo desse impacto seria por meio do valor econômico de mercado deste que é considerado um metaloide. De acordo com a London Metal Exchange (LME), o preço médio do óxido de antimônio, que contém 83,1% de metal de antimônio e é tipicamente o produto preferido para venda, foi de \$8.228 dólares por tonelada no mês de maio de 2018 (USAC, 2018).

Com base nesse valor, a tabela 3 apresenta os custos desse impacto nos diferentes cenários. Os maiores valores são atribuídos aos cenários de qualidade “inexistente” e “mínima” devido aos maiores impactos para depleção abiótica e, portanto, maior produção de antimônio.

Ao observarmos os cenários variando o percentual de entrada de alumínio secundário, os valores diminuem à medida que aumenta a quantidade de material secundário, sendo que quanto maior a qualidade do alumínio secundário de saída (QS), menor a produção de antimônio e, conseqüentemente, menores os custos. Para os cenários que apresentam valores negativos, pode-se atribuir um crédito devido a não produção de impacto para a categoria de depleção, e, portanto, não há produção de antimônio.

TABELA 3 - CUSTOS ASSOCIADOS AO USO DE ANTIMÔNIO POR KG DE ALUMÍNIO (US\$)

| R1/Cenários | Inexistente | Mínima | SE0,1:SS0,5 | SE0,5:SS1 | SE0,8:SS0,1 | SE1:SS0,8 | Máxima |
|-------------|-------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------|
| 20% | 25,40 | 24,82 | 8,16 | -2,47 | 21,78 | 5,13 | 0,07 |
| 50% | 25,40 | 24,82 | 1,33 | -6,26 | 20,30 | 5,13 | 0,07 |
| 100% | 25,40 | 24,82 | -10,03 | -12,58 | 17,76 | 5,13 | 0,07 |

4.1.3.2 Análise do custo de demanda de energia primária (DEP)

O cálculo do custo de demanda de energia primária foi realizado com base no mix brasileiro que produz 1KWh a partir de 6,77MJ de DEP. A tabela 4 mostra os custos para cada cenário, em dólares (cotação R\$3,90 pelo Banco Central em 04 de julho de 2018). O valor da tarifa corresponde à classe de consumo industrial publicada em relatório no site da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Como a tarifa de fornecimento varia de região para região do Brasil, escolheu-se para este trabalho a tarifa para a região centro-oeste. A tarifa média de fornecimento para o período de março de 2018, no valor de R\$385,92 foi a mais recente disponibilizada (ANEEL, 2018).

Como a produção de alumínio primário é eletro intensiva, é de se esperar que os cenários qualidade “inexistente” e “mínima” apresentem os maiores consumos de DEP e conseqüentemente os maiores custos. Portanto, na medida em que aumenta o percentual de alumínio secundário nos cenários, menores são os custos de DEP. Nos cenários em que o valor de saída do alumínio secundário é maior, também são menores os custos, pois significa que há mais produção primária evitada e então, o consumo de energia diminui.

Quanto aos cenários com valores negativos, podemos atribuí-los a um crédito na demanda de energia, ou seja, para o cenário SE0,1:SS0,5 onde R1 é 100% e para os três cenários SE0,5:SS1, a produção primária é 100% evitada, o que significa que não há gasto de DEP nesses casos, pelo contrário, é como se houvesse sobra de DEP a ser disponibilizada para a rede.

TABELA 4 - CUSTOS ASSOCIADOS À DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA POR KG DE ALUMÍNIO (US\$)

| R1/Cenários | Inexistente | Mínima | SE0,1:SS0,5 | SE0,5:SS1 | SE0,8:SS0,1 | SE1:SS0,8 | Máxima |
|-------------|-------------|--------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------|
| 20% | 15,79 | 15,50 | 5,77 | -0,41 | 13,73 | 4,00 | 1,06 |
| 50% | 15,79 | 15,50 | 1,80 | -2,61 | 12,85 | 4,00 | 1,06 |
| 100% | 15,79 | 15,50 | -4,83 | -6,29 | 11,37 | 4,00 | 1,06 |

4.1.3.3 Análise dos custos de CO₂ equivalente

Na 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, realizada em Paris em 2015, o Acordo de Paris consistiu em uma combinação entre 195 países com o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima com base em um pacto que busca a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável. O Brasil, através da Contribuição Nacionalmente Determinada (na literatura inglesa, Intended Nationally Determined Contributions – INDCs) aprovada pelo Congresso Nacional em 2016, comprometeu-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030, com base nas emissões de 2005 (MMA, 2015a).

Um mecanismo para contribuir para a mitigação dos GEE já adotado por algumas nações é o mercado de precificação do carbono, que consiste em atribuir um custo aos impactos gerados pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, gerados pela queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra para produção de insumos, manufatura, distribuição e consumo de produtos (CDP; CEBDS, 2015). Isso torna-se necessário porque o que pagamos por um bem de consumo, em geral não inclui o custo dos impactos ambientais causados ao longo do seu ciclo de vida. Portanto, acredita-se que esse é um caminho para atingir as metas de redução propostas no Acordo.

As duas formas mais discutidas para precificar o carbono são o comércio de emissões (cap and trade) e a tributação, sendo que as duas abordagens servem como incentivo para empresas e cidadãos diminuírem suas emissões, uma vez que torna as atividades intensivas em emissões de carbono mais caras, e as tecnologias limpas mais acessíveis.

No caso da tributação é definido um preço fixo a ser cobrado por cada unidade de emissão incidindo sobre toda a emissão gerada. Esta taxa é paga aos governos, funcionando como um imposto. Entretanto, neste caso, o preço do carbono é fixo, e as quantidades emitidas podem variar livremente. Já no comércio de emissões, o ajuste é feito conforme as quantidades emitidas, sendo estabelecidos limites de emissões ou limites para adquirir certificados quando as empresas excederem suas emissões. Com isso, se estabelece um mercado para a comercialização desses certificados, chamado Emissions Trading System - ETS (CDP;

CEBDS, 2015). As empresas que não atingem seus limites podem vender suas “quotas” de emissões para empresas que poluem acima dos seus limites.

Cresce o número de países que estão adotando esses mecanismos de precificação, principalmente empresas e investidores. No Brasil, o mercado ainda não está regulamentado. Entretanto, algumas empresas aqui já têm adotado um valor de mercado para suas emissões, como por exemplo: Petrobrás, Natura Cosméticos, Itaú Unibanco, Braskem, Duratex, Vale, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. Dentre essas, os valores divulgados variam de US\$ 0,95 a US\$ 50 (CDP; CEBDS, 2015).

Na maioria das iniciativas de precificação o preço da tonelada de CO₂ equivalente ficou abaixo de US\$ 40 em abril de 2018. Ainda assim, houve um incremento dos preços. Em 2017 só 25% das emissões globais eram tributadas ou negociadas em um valor maior que US\$ 10. Em abril de 2018, subiu para 54% dessas emissões cotadas acima de US\$ 10 (CDP; CEBDS, 2015).

Alcançar as metas do clima de forma eficiente e ao mesmo tempo estimular o crescimento requer que os países estabeleçam um preço alto para o carbono: entre US\$ 40 e US\$ 80 por tonelada de CO₂ até 2020 e US\$50 a US\$100 por tonelada até 2030, essa é a conclusão da Comissão de Alto Nível sobre Precificação do Carbono, liderada pelo Prêmio Nobel de Economia Joseph Stiglitz e Lorde Nicholas Stern. Precificar o carbono é um passo indispensável na estratégia de redução de emissões de GEE, assim como buscar induzir as necessárias mudanças em padrões de investimento, produção e consumo (LA ROVERE, 2017).

O Brasil participa desde 2011 do projeto PMR Brasil (sigla para Partnership for Market Readiness, Parceria para a Preparação do Mercado), comandado pelo Banco Mundial e que tem apoiado a preparação de políticas de mercado de carbono em diversos países em desenvolvimento. No Brasil, o PMR é liderado pela Coordenação Geral de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Ministério da Fazenda, buscando avaliar opções para implementação de uma precificação de carbono no país para os próximos 5 anos (CDP; CEBDS, 2015).

Para buscar cumprir a meta estabelecida na Contribuição Nacionalmente Determinada para 2030, de redução de 43% das emissões, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), com base na modelagem do projeto “Opções de Mitigação de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil”, estima que o alcance dessa meta está condicionada à adoção de medidas que apenas se viabilizariam economicamente em presença de um valor de carbono da ordem de US\$10/tCO₂e, além de programas e políticas governamentais existentes (RATHMANN et al., 2017).

Partindo então desse valor sugerido pelo MCTIC de US\$10/tCO₂e, foram calculados os custos de emissão de CO₂ equivalente, por kg de alumínio, para cada cenário, conforme tabela 5. Como pode ser observado, os maiores custos estão representados pelos cenários qualidade “inexistente” e “mínima”, pois são os cenários onde o uso de alumínio primário é máximo, ou seja, onde os níveis de emissões de GEE são máximos. Na medida em que há entrada de alumínio secundário nos cenários, e na medida em que a qualidade do alumínio na saída aumenta, diminuem as emissões e, portanto, diminuem os custos de CO₂ equivalente. Quanto aos cenários com valores negativos, podemos atribuir a eles créditos pelo fato de não emitirem GEE.

TABELA 5 - CUSTOS ASSOCIADOS ÀS EMISSÕES DE CO₂ EQUIVALENTE POR KG DE ALUMÍNIO (US\$)

| R1/Cenários | Inexistente | Mínima | SE0,1:SS0,5 | SE0,5:SS1 | SE0,8:SS0,1 | SE1:SS0,8 | Máxima |
|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------|
| 20% | 0,09 | 0,09 | 0,03 | -0,01 | 0,08 | 0,02 | 0,00 |
| 50% | 0,09 | 0,09 | 0,01 | -0,02 | 0,08 | 0,02 | 0,00 |
| 100% | 0,09 | 0,09 | -0,03 | -0,04 | 0,07 | 0,02 | 0,00 |

Concluindo, a análise de custos referente à monetização dos impactos demonstrou que quanto maior a qualidade do alumínio de saída, ou seja, pós reciclagem, menores são os custos associados, indo de encontro ao mesmo comportamento obtido em relação aos impactos ambientais. Com isso, essa diminuição de custos ao longo da cadeia poderá vir a beneficiar a todos e inclusive o consumidor final, incentivando o mercado de produtos que possuem um teor maior de material reciclado em sua composição.

4.2 Considerações sobre o estudo de caso

Os resultados do estudo de caso demonstraram que a utilização de alumínio secundário de boa qualidade e um processo de reciclagem que produza um alumínio secundário de boa qualidade podem ser vantajosos na diminuição dos impactos ambientais e dos custos vinculados a eles. Isso sem dúvida são dois pontos positivos que podem contribuir para a melhoria da cadeia de reciclagem.

Mesmo que o processo de reciclagem do alumínio, não discriminado neste trabalho, possa causar impactos ambientais, os benefícios devido aos créditos pela produção de alumínio primário evitado existem e devem ser maiores. Assim demonstrou o trabalho de Foelster et al. (2016), onde a carga ambiental causada pelo sistema de reciclagem foi mínima comparada àquelas causadas por refrigeradores não reciclados, com destaque para energia primária, que exige apenas 9% em comparação com o sistema de produção primária.

Nossos resultados em geral refletem que as questões de qualidade podem sim impactar a sustentabilidade da cadeia de reciclagem no caso da liga de alumínio em específico. Mas podemos pensar em reflexões para outros mercados exigentes, assim como é o mercado de rodas automotivas por exemplo.

Quando se trata de consumidores de alto nível de materiais reciclados, a expectativa por desempenho e qualidade é tão alto quanto o de um consumidor de material primário. Entretanto, atingir altos níveis de qualidade e obter fluxos de reciclados de alto desempenho, pode exigir um processo muito intensivo em tecnologia, além de um rigoroso protocolo de testes a fim de atender com qualidade e consistência as especificações dos clientes (HOLMES, 2016). Cabe aqui questionar se a indústria da reciclagem está disposta ou buscando se preparar para isso.

Recicladores devem buscar se adaptar para atender proprietários de marcas que não estão dispostos a comprometer a qualidade estética ou o desempenho de seus produtos. Para garantir a qualidade em produtos de alto desempenho, clientes que usam conteúdo reciclado de resinas plásticas estão solicitando aos recicladores que meçam viscosidade intrínseca, presença de aditivos, produtos químicos, teor de cinzas, controle de contaminantes e aparência, da mesma forma que exigem para resinas primárias (HOLMES, 2016). Portanto, as empresas que buscam reciclagem de alta qualidade buscam por recicladores que atendam aos seus requisitos de qualidade e muitas vezes de volume também.

No caso das rodas de alumínio, rigorosas especificações mecânicas devem ser atendidas para garantir que os padrões de desempenho e segurança sejam alcançados, evitando defeitos como microporosidade, macroporosidade e filmes de óxido (REILLY et al., 2013). De acordo

com o mesmo autor, a ocorrência desses fenômenos é determinada pelo fluxo de fluidos e transferência de calor que ocorrem durante o processo de fundição. Portanto, independente de usar material primário e/ou secundário, a fase de produção também tem forte influência sobre o desempenho e o resultado do produto, neste caso, a roda.

Portanto, o resultado de um produto depende não só da qualidade da matéria prima, mas também de fatores ligados à qualidade e à tecnologia relativos aos processos e equipamentos utilizados na transformação das matérias primas. E isso é um ponto importante, tendo em vista que nossos resultados demonstram que a qualidade do material reciclado também responde à qualidade do processo de reciclagem, e seu resultado tem impacto direto na produção evitada de material primário e reflexos positivos no restante da cadeia.

Quando transpomos e extrapolamos essa análise de cenários para o mercado de reciclagem como um todo, ou seja, para qualquer material, podemos fazer uma reflexão no que isso significa para aqueles envolvidos nesse sistema, ou seja, usuários e fornecedores de material secundário. O aumento de qualidade do material secundário traz benefícios ao meio ambiente quando olhamos para os resultados de impacto ambiental. Mas é preciso refletir também sobre as possíveis implicações econômicas, sociais e técnicas desse aumento.

Energia, custo e produtividade são indicadores básicos de sustentabilidade e desempenho de um processo de fabricação (HUSSAIN; AL-GHAMDI, 2017). Esses fatores para as indústrias que comprem material reciclado ou para aquelas que reciclam, podem ser mais decisivos do que apenas diminuir impactos ambientais. Por isso achou-se interessante demonstrar custos aliados aos impactos ambientais e de energia. Aliado a isso, do ponto de vista técnico, melhorias em processos de fabricação e reciclagem são essenciais para permitir um avanço em características/parâmetros à nível de produto e de matérias primas no que diz respeito à qualidade.

A escolha pela utilização ou não de material secundário deve sempre ser planejada em conjunto com a escolha dos processos e tecnologias de fabricação utilizados. Junto a isso, ressalta-se a importância de integrar atributos de ecoeficiência ao desenvolvimento dos produtos, independente de conter ou não material reciclado.

Ainda que não possua material secundário em sua composição, um determinado produto é um material secundário em potencial, e na sua fabricação, isso deve ser considerado, tendo em vista que ele causará impactos positivos ou negativos em outros sistemas produtivos, de acordo com a sua qualidade. Por isso o design para o meio ambiente e a integração das

preocupações ambientais na fase de projeto dos produtos estão se tornando essenciais para os fabricantes no contexto do desenvolvimento sustentável (KEIVANPOUR; AIT KADI, 2017).

Indicadores como taxas de reuso, reciclagem, recuperação e conteúdo reciclado, são principalmente baseados em fluxos de massa, entretanto, a reciclagem de materiais causa perda de qualidade, e portanto, não pode ser avaliada por medidas simples de massa (HUYSMAN et al., 2015). Se o material possui um baixo índice de reciclagem, significa que não recupera todas as suas propriedades através de um processo de reciclagem, e talvez, possam existir outras opções mais lucrativas para o seu descarte (VILLALBA et al., 2002). Por isso, fatores de downcycling são mais apropriados para determinar essa perda, conforme utilizado para o caso do alumínio neste trabalho, e por isso, pode ser mais efetivo e útil incorporar esses fatores em programas de rotulagem no futuro.

Nossos resultados mostram comportamento semelhante aos de Haupt et al. (2017), onde a demanda de eletricidade (DE) para sucata de aço de qualidade inferior apresentou uma DE maior do que a mistura média de sucata em forno de arco elétrico, aumentando a pegada de carbono da produção de aço, nesse caso usando o mix europeu de eletricidade. Conforme o autor, as diferenças de qualidade na sucata do aço surgem devido a diferentes ligas utilizadas, às várias formas de uso dos materiais e aos tratamentos pós coletas. No caso do alumínio, esses são fatores que também podem influenciar nas diferenças de qualidade entre sucatas.

Haupt et al. (2017) também demonstraram que o aço secundário produzido a partir de sucata de baixa qualidade é ambientalmente melhor do que a produção de aço primário, portanto, todos os graus de sucata devem ser aceitos em forno de arco elétrico. Além disso, a contribuição da produção secundária de aço carbono de todos os tipos de sucata, para as mudanças climáticas, fora significativamente menor do que para a produção primária de aço.

O design otimizado do produto, junto a melhorias nos sistemas de coleta ou de pré-tratamento e classificação de sucata, podem contribuir para o aumento da qualidade da sucata (HAUPT et al., 2017). Consequentemente, isso contribuiria também para a diminuição dos níveis de impurezas, como o cobre no caso do aço, exigindo menor diluição e, portanto, melhorando o desempenho ambiental da reciclagem. Logo, é importante considerar a necessidade não apenas de ampliar taxas quantitativas de reciclagem, como também a qualidade dos materiais recicláveis e os produtos secundários resultantes (HAUPT et al., 2017).

Para Olivetti et al. (2011), a existência de maior variabilidade cria um desincentivo econômico inerente ao uso de matérias primas recicladas ou renováveis em comparação com recursos convencionais como minerais primários ou sintéticos. Portanto, envolver o

conhecimento das questões de qualidade pode ser uma boa maneira de valorizar os materiais secundários e proporcionar incentivo econômico ao mercado da reciclagem.

Além disso, o bom funcionamento de uma cadeia de reciclagem depende de uma boa rede de logística que será responsável pelo retorno de resíduos, produtos e materiais. É um requisito complexo, pois envolve decisões quanto a número e localização de centros de devolução, incentivos para devolução de produtos, métodos de transporte e outras decisões (GUIDE, 2000). Por isso a importância de uma boa logística reversa, instrumento previsto na PNRS do Brasil, mas ainda de aplicação restrita a alguns produtos, como agrotóxicos e óleos lubrificantes.

Ao avaliar o potencial de reciclagem, comparando ligas “amigas da reciclagem” contra ligas representativas do mercado, Gaustad et al. (2010) demonstraram ser possível uma melhora total no consumo potencial de sucata em torno de 65% no caso das primeiras, associada a uma diminuição na compra de metais primários. Os autores também associam a performance da reciclagem não só à variabilidade da sua composição, mas também à composição do próprio portfólio de sucata.

Uma agenda política muito importante tanto nos países desenvolvidos como os que estão em desenvolvimento são as questões sobre aquecimento global e alterações climáticas. E nessa agenda, a reciclagem deve ser levada em consideração, como demonstrou o trabalho de (MENIKPURA; SANTO; HOTTA, 2014) onde um programa apropriado de reciclagem e recuperação de resíduos eletroeletrônicos evitou uma quantidade significativa de emissões de GEE.

No que diz respeito ao lado econômico, nossos dados demonstraram o impacto positivo do uso de alumínio secundário e da reciclagem, assim como a influência da qualidade neste aspecto também. Apesar da reciclagem poder gerar custos financeiros adicionais para as partes interessadas do setor privado ou públicos, são custos que podem ser traduzidos em bens mais valorizados ou tarifas adicionais de gerenciamento de resíduos ou impostos (DA CRUZ; SIMÕES; MARQUES, 2012). No futuro, estudos mais detalhados poderão determinar o quanto esse gasto se transforma em investimento na verdade.

O cálculo dos custos em relação às três categorias de impacto serviu como “proxy” para reflexão da economia gerada quando acrescentado alumínio reciclado de alta qualidade na produção, e quando o processo de reciclagem desse alumínio tem alta qualidade e permite que o alumínio secundário gerado também seja de alta qualidade, aumentando os benefícios desta

cadeia. Assim talvez aconteça para outros materiais os quais poderiam ser investigados futuramente.

O investimento em inovação e no desenvolvimento de tecnologias de reciclagem são fundamentais para a busca de melhores vantagens comerciais e ambientais da reciclagem do alumínio. Ao reciclar produtos de alumínio, elimina-se o desperdício, se economiza energia (5% da energia para produzir metal reciclado em comparação com o metal primário), diminuem as emissões de GEE (gera apenas 5%), aumenta a conservação dos recursos naturais, reduz-se o uso de aterros sanitários nas cidades e aumenta-se a geração de renda para recicladores, cooperativas e governos (IOANA; SEMENESCU, 2013).

Dentro das dimensões sociais, conforme sugerido pela Agência Ambiental Europeia (na língua inglesa, European Environment Agency – EEA), a crescente indústria da reciclagem ajuda a gerar “empregos verdes”, oferece oportunidades de negócios e garante suprimentos seguros de recursos essenciais (EEA, 2011). Também pode ser uma fonte de inovação tecnológica e ainda mais importante, pode ser um catalisador para fazer com que as indústrias internalizem os impactos ambientais e sociais associados às suas atividades (DA CRUZ; SIMÕES; MARQUES, 2012).

No trabalho de Ferrão et al. (2014), foi estimado que o nível de emprego direto associado ao sistema integrado de gestão de resíduos de embalagens em Portugal seja maior que 2300 postos de trabalho, o equivalente a 0,08% do emprego em empresas não financeiras em Portugal. Destes, 83% trabalham na gestão de embalagens municipais de resíduos (em particular nas atividades de coleta seletiva e triagem), 15% trabalham na gestão de resíduos de embalagens não municipais e apenas 2% trabalham para a organização que gere o sistema (FERRÃO et al., 2014).

Na União Europeia (UE), o emprego relacionado com a reciclagem de materiais aumentou 45% entre 2000 e 2007 - o segundo maior aumento de todos os subsetores da eco indústria (EEA, 2011). Também na UE, no período de 2004-2008, o valor dos recicláveis em relação ao valor agregado bruto dos setores de manufatura, eletricidade e gestão de resíduos aumentou de cerca de 1,7% para 2,7%.

A busca pelo incentivo à reciclagem e pelo aumento da qualidade dos materiais secundários pode ser uma maneira de prolongar a existência e a demanda de alguns recursos. Nesse sentido, a Agência Ambiental Europeia calculou a correlação entre o consumo de um recurso e a reciclagem do fluxo de resíduos correspondente em termos físicos, assumindo que a qualidade dos recicláveis atendia plenamente às demandas de qualidade da indústria. Os

resultados (em peso) foram de uma cobertura de 41% para papel e papelão, 42% para ferro e aço, 10% para alumínio, 28% para outros metais, com potencial para aumentar substancialmente esses números se a infraestrutura de reciclagem e as taxas de coleta melhorarem (EEA, 2011).

Portanto, a sustentabilidade de uma cadeia de reciclagem depende de muitos fatores. Para esse estudo de caso conseguiu-se perceber que o uso de alumínio secundário de boa qualidade está associado a menores impactos ambientais e econômicos. Não se conseguiu medir diretamente o ganho no aspecto social, mas há indícios, conforme literatura citada anteriormente, de que a área de gestão de resíduos sólidos e reciclagem a cada ano proporciona o aumento do número de postos de trabalho.

O presente estudo de caso está em consonância direta com uma das alternativas para ecossistemas industriais, que é a reciclagem, além de também ir de encontro a um dos princípios da economia circular, que é manter os produtos e materiais em ciclos de uso, além de colaborar com os estudos sobre reciclagem e qualidade de material secundário.

A metodologia de avaliação de ciclo de vida utilizada neste trabalho também proporcionou elementos para discutir e repensar a forma como são produzidos os produtos. Destaca-se aqui a importância da qualidade dos resíduos e seus benefícios para as cadeias e mercados de reciclagem, que farão com que esses materiais retornem aos ciclos de produção e, portanto, façam girar a economia circular, gerando diversos benefícios e aumentando a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

5. CONCLUSÕES

O esgotamento dos recursos naturais e a produção massiva de resíduos sólidos impactam diretamente a vida no Planeta. Acreditamos que uma alternativa para diminuir a pressão ambiental causada pelos seres humanos é a reciclagem de produtos e bens materiais, de forma que aquilo que era considerado resíduo, seja transformado em matéria prima novamente, diminuindo a exploração dos recursos naturais e dos índices de poluição. Nesse sentido, esse trabalho buscou contribuir para o aumento da eficácia da reciclagem, considerando estratégias que melhorem a dinâmica do mercado de materiais secundários, a partir de ações políticas e de mercado, e tendo em vista benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Este trabalho teve por objetivo investigar em que medida o conhecimento das relações de qualidade entre material primário e secundário contribui para discutir impactos ambientais, econômicos e sociais no mercado da reciclagem a partir do estudo de caso da liga AlSi₇Mg. Optou-se por estudar o alumínio porque é um material muito utilizado no mundo inteiro para fabricação de diversos produtos, possui alta demanda, além de ser 100% reciclável.

Foram utilizadas duas metodologias. Uma quantitativa, a clássica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), unida a uma metodologia inovadora de caracterização do fim de vida de materiais, a fórmula integrada; E outra qualitativa, conhecida como análise SWOT, que identificou as forças, fraquezas, ameaças e oportunidades da política nacional de resíduos sólidos frente aos resíduos sólidos, o mercado da reciclagem e o uso de materiais secundários. E por fim, através de entrevistas semiestruturadas, foram levantadas algumas percepções sobre as oportunidades e dificuldades para expansão no uso de material secundário e reciclagem na perspectiva de produtores de matéria prima e fabricantes.

Os resultados obtidos nos permitem concluir que as relações de qualidade entre alumínio secundário e primário determinaram variações para as três categorias de impacto analisadas no estudo de caso, e, portanto, podemos inferir que o conhecimento e quantificação dessas relações contribui para discutir sustentabilidade em cadeias de reciclagem.

No que diz respeito ao objetivo 1, foram levantadas as principais políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos no Brasil e União Europeia, e à economia circular, produção e consumo responsável na China, União Europeia e Brasil. Pode-se constatar que tanto China, quanto UE e Brasil atendem aos esforços realizados nos últimos anos na busca por uma economia circular e mais sustentável. Tanto União Europeia quanto Brasil construíram boas legislações no que diz respeito a área de resíduos sólidos, embora a UE tenha mostrado mais

diversidade e mais experiência por lidar com esse assunto há mais tempo que o Brasil. Portanto, o Brasil poderia utilizar como exemplo algumas iniciativas europeias.

A economia circular pode ser vista como uma alternativa para ecossistemas industriais de vários países e diferentes economias, através da minimização de desperdícios, da reutilização, da reciclagem, da reparação e da remanufatura. De acordo com a literatura apresentada, isso é possível e viável, uma vez que a economia circular é capaz de gerar empregos, economizar energia, reduzir o consumo e o desperdício de recursos.

Para o objetivo 2, que tratava de identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da Política Nacional de Resíduos Sólidos no âmbito geral dos resíduos sólidos, a fim de identificar oportunidades para expansão no uso de material secundário na perspectiva de produtores de material secundário e fabricantes, concluiu-se que a análise SWOT da PNRS demonstrou que a política, no que diz respeito à gestão de resíduos sólidos em geral e no incentivo à reciclagem está muito bem estruturada e possui diversos pontos fortes, o que gera oportunidades para pensar em estruturas que beneficiem a cadeia e o mercado da reciclagem. No entanto a política parece ter baixa efetividade prática em relação aos instrumentos que possui, principalmente os econômicos.

No que diz respeito a materiais secundários utilizados como matéria prima, não há uma abordagem específica na lei, mas seria importante que ela fosse pensada e articulada como estratégia de segurança nacional, na medida em que no futuro os recursos minerais deverão se tornar escassos.

Para os três entrevistados, ficou claro que embora a PNRS preveja instrumentos econômicos para incentivo da reciclagem e para o desenvolvimento, implantação e estruturação de produtos, sistemas, pesquisas, infraestrutura, gestão e tecnologias voltadas para os resíduos, não detalha de que forma isso pode ser feito, atribuindo essa responsabilidade para todos os entes federativos. Talvez isso possa no futuro ser melhor descrito no próprio Plano Nacional que ainda não foi lançado. Mas se houvesse incentivo fiscal, haveria mais empresas coletando e reciclando, isso geraria mais emprego e renda aos trabalhadores que lidam direto com o resíduo, como por exemplo os catadores.

Para o objetivo 3, que buscou compreender de que forma uma Declaração Ambiental de Produto (DAP) poderia contribuir para o incentivo da reciclagem no Brasil, podemos perceber que as questões referentes à qualidade e quantidade do conteúdo reciclado são importantes e poderiam ser incorporadas ao programa DAP. Pois a rotulagem visa favorecer à produção e circulação das informações ambientais dos produtos, facilitando o processo de escolha e

aumentando as opções dos consumidores, além de possibilitar a circulação ou troca dessas informações com mercados internacionais. A opção por um consumo consciente deve estar vinculada a informações relevantes a respeito da origem e do final de vida de produtos ou materiais, e a DAP pode ser um meio para alcançar isso.

Tendo em vista que alguns padrões de qualidade de resíduos que serão reciclados dependem do seu grau de pureza, programas como a logística reversa e a coleta seletiva, que presumem a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, são de suma importância e têm impacto direto no manejo desses resíduos. Felizmente, esses programas já estão previstos na lei, mas é fundamental que funcionem e que sejam dadas condições e incentivos para isso, e que as esferas governamentais possam estruturar uma maneira de fiscalizar o cumprimento destes.

Cada vez mais as empresas e indústrias se atentarão para as certificações e rotulagens ambientais, o que vai possibilitar um cuidado maior no design e fabricação dos bens de consumo. Com isso, as informações vinculadas à avaliação de ciclo de vida dos produtos e materiais deverá fazer parte de qualquer meio produtivo. Isso servirá tanto aos mercados nacionais quanto aos internacionais que já possuem exigências para determinados produtos, contribuindo para uma economia global mais circular.

Por fim, para o objetivo 4, que tratou de desenvolver um estudo de caso aplicando a metodologia de ciclo de vida em conjunto com a fórmula integrada para caracterizar impactos ambientais, econômicos e sociais resultantes de diferentes proporções de qualidade do material secundário na fabricação e reciclagem de uma liga de alumínio, o melhor resultado quanto à diminuição dos impactos foi alcançado pelo cenário SE0,5:SS1, com entrada de 100% de alumínio secundário, onde a redução de potencial de aquecimento global foi de 145,7%, depleção abiótica (148,4%), demanda de energia primária (139,8%) e consumo de bauxita 150,9% em relação ao pior cenário (qualidade "inexistente"). Já o menor resultado pertence ao cenário SE0,8:SS0,1 com 20% de entrada de alumínio secundário. Quando comparado ao cenário "inexistente", as reduções somam 13,8%, 12,9%, 13,1% e 14,2% respectivamente.

Portanto, existem proporções da relação entre alumínio primário e secundário que consomem menos bauxita, demandam menos energia primária e conseqüentemente, emitem menos gases de efeito estufa. Os resultados também apontaram que quanto maior o percentual de entrada de alumínio secundário, menores são os impactos ambientais para quase todos os cenários. Em uma perspectiva futura, novos trabalhos serão necessários para avaliar novos cenários, novos materiais e principalmente, analisar o processo inteiro de reciclagem.

Com o uso da fórmula integrada, foi possível contabilizar, com base na relação de qualidade do alumínio secundário e primário pós reciclagem, os créditos dados à produção de alumínio primário evitado para um próximo ciclo. Logo, os fatores de qualidade são importantes de serem observados tanto no começo quanto no final do ciclo.

Com a conversão dos fluxos ambientais das categorias escolhidas, respectivamente kg de CO₂ equivalente para o Potencial de Mudança Climática, kg de Sb equivalente para o Potencial de Depleção Abiótica e MJ de energia para a Demanda de Energia Primária, em unidades monetárias e em função dos seus preços de mercado, demonstrou-se que quanto maior a qualidade do alumínio de saída, ou seja, pós reciclagem, menor são os custos associados aos impactos ambientais porque estes também são menores.

O Brasil vem se equipando e se preparando com políticas públicas voltadas para os resíduos sólidos e a reciclagem. Porém, é preciso um pouco mais de vontade e ação políticas. O poder público, articulado com as indústrias e iniciativas privadas, poderá dar muito mais visibilidade e efetividade a programas específicos de fomento ao mercado e à indústria da reciclagem.

Em um futuro próximo, espera-se que o mecanismo de avaliar e quantificar as relações de qualidade entre materiais primários e secundários, a partir de critérios específicos para cada material ou produto, possa ser incorporado como uma medida de fomento à reciclagem de diversos materiais e ao uso de materiais secundários para produção e consumo, contribuindo para a sustentabilidade dos recursos naturais, da sociedade e da economia do planeta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR ISO 14044. NBR ISO 14044: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. . 2009.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**, 2017. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em: 27 nov. 2017

ALCÁNTARA-CONCEPCIÓN, V.; GAVILÁN-GARCÍA, A.; GAVILÁN-GARCÍA, I. C. Environmental impacts at the end of life of computers and their management alternatives in México. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 615–628, 10 set. 2016.

ALLACKER, K. et al. Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: Proposals for product policy initiatives. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 88, p. 1–12, jul. 2014.

ALLEGRI, E. et al. Life cycle assessment of resource recovery from municipal solid waste incineration bottom ash. **Journal of Environmental Management**, v. 151, p. 132–143, 15 mar. 2015.

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL**, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>. Acesso em: 5 jul. 2018

ANNEPU, R. TWO SUSTAINABLE SOLUTIONS TO WASTE MANAGEMENT. **Mechanical Engineering**, v. 138, n. 12, p. 15–15, 2016.

BAITZ, M. et al. **GaBi Database & Modelling Principles 2014** PE INTERNATIONAL AG, , nov. 2014. Disponível em: <http://www.gabi-software.com/fileadmin/gabi/Modelling_Principles/GaBi_Modelling_Principles_2014.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018

BRASIL. LEI Nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos. . 2 ago. 2010.

BRASIL. LEI Nº 12.977. Regula e disciplina a atividade de desmontagem de veículos automotores terrestres. . 20 maio 2014.

BUCHNER, H. et al. Future Raw Material Supply: Opportunities and Limits of Aluminium Recycling in Austria. **Journal of Sustainable Metallurgy**, v. 1, n. 4, p. 253–262, 2015.

CDP, C. D. P.; CEBDS, C. E. B. **PARA O D. S. Navegando por cenários de precificação de carbono Guia prático sobre seus diferentes mecanismos, aplicações e ferramentas para adaptar a estratégia de negócio**, 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.cebds.org/navegando-por-cenarios-de-precificacao-de-carbono>>. Acesso em: 25 jun. 2018

CHEN, C.; LIU, L. Q. Pricing and quality decisions and financial incentives for sustainable product design with recycled material content under price leadership. **International Journal of Production Economics**, v. 147, p. 666–677, jan. 2014.

CHOI, T. et al. A Baseline Input–Output Model with Environmental Accounts (IOEA) Applied to E-Waste Recycling. *International Regional Science Review*. v. 34, p. 3–33, 2011.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. COM/2001/0068 final. Livro verde sobre a política integrada relativa aos produtos. . 7 fev. 2001.

COMISSÃO EUROPEIA. COM (2008) 397 final. sobre o Plano de Ação para um Consumo e Produção Sustentáveis e uma Política Industrial Sustentável. . 16 jul. 2008.

COMISSÃO EUROPEIA. COM (2011) 571 final. Roteiro para uma Europa Eficiente na utilização de recursos. . 20 set. 2011.

COMISSÃO EUROPEIA. COM (2013) 196 final. Construir o Mercado Único dos Produtos Ecológicos - Facilitar uma melhor informação sobre o desempenho ambiental de produtos e organizações. . 9 abr. 2013.

COMISSÃO EUROPEIA. COM (2014) 398 final. Para uma economia circular: programa para acabar com os resíduos na Europa. . 2 jul. 2014.

COMISSÃO EUROPEIA. COM (2015) 614 final. Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular. . 2 dez. 2015.

COMISSÃO EUROPEIA. **Sustainable production and consumptionEU SCIENCE HUB - The European Commission's science and knowledge service**, 14 jul. 2016. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/sustainable-production-and-consumption>>. Acesso em: 12 abr. 2018

COMISSÃO EUROPEIA. **Circular Economy - Implementation of the Circular Economy Action PlanEuropean Commission**, 7 mar. 2018. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>>. Acesso em: 10 abr. 2018

COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPEIA. Diretiva 75/442/CEE. Diretiva relativa aos resíduos. . 15 jul. 1975.

DA CRUZ, N. F.; SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: the case of Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 8–18, dez. 2012.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological Economics: Principles And Applications**. [s.l.] Island Press, 2004.

DEEPAK, S. V.; NARESH, C.; HUSSAIN, S. A. MODELLING AND ANALYSIS OF ALLOY WHEEL FOR FOUR WHEELER VEHICLE. **International Journal of Mechanical Engineering & Technology**, out. 2012.

DEL-MORAL-AVILA, M.-J. et al. STUDY OF AN ANNUAL WASTE RECYCLING INDEX IN SPAIN. **Environmental engineering and management journal**, v. 15 (7), p. 1465–1472, jul. 2016.

DEUS, R. M. et al. **Circular Economy yesterday and today: a bibliometric analysis**. . In: 6TH INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. São Paulo: maio 2017Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317510278_Circular_Economy_yesterday_and_today_a_bibliometric_analysis>. Acesso em: 2 jul. 2018

EEA. **Earnings, jobs and innovation: the role of recycling in a green economy** European Environment Agency, , 2011. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/earnings-jobs-and-innovation-the>>. Acesso em: 11 jul. 2018

EEA. **Waste generation** — European Environment Agency, 2016. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-generation-1/assessment>>. Acesso em: 23 abr. 2017

EUROPEAN ALUMINIUM ASSOCIATION AISBL. **ALUMINIUM IN COMMERCIAL VEHICLES**, 2011. Disponível em: <https://european-aluminium.eu/media/1295/aluminium-in-commercial-vehicle_en.pdf>. Acesso em: 24 maio. 2018

EUROPEAN COMMISSION, J. R. C.-I. FOR E. AND S. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators**, 2010a.

EUROPEAN COMMISSION, J. R. C.-I. FOR E. AND S. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance** Publications Office of the European Union, , 2010b.

EUROPEAN COMMISSION, J. R. C.-I. FOR E. AND S. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context** Publications Office of the European Union, , 2011.

FERRÃO, P. et al. Environmental, economic and social costs and benefits of a packaging waste management system: A Portuguese case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 67–78, abr. 2014.

FIGGE, F. et al. Eco-efficiency of Virgin Resources: A Measure at the Interface Between Micro and Macro Levels. **Ecological Economics**, v. 138, p. 12–21, 2017.

FINKBEINER, M. et al. Application of Life Cycle Assessment for the Environmental Certificate of the Mercedes-Benz S-Class. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 4, p. 240–246, 2006.

GENEROWICZ, A. Multi-Criteria Analysis of Waste Management in Szczecin. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, p. 57–63, 2014.

GENG, Y., J. Fu, J. Sarkis, and B. Xue. Towards a national circular economy indicator system in China: An evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production** 23(1): 216–224, 2012.

GIUSTI, A.; MAGGINI, M. SWOT analysis of policies and programs on prevention and management of diabetes across Europe. **European Journal of Public Health**, v. 26, n. suppl_1, nov. 2016.

GOEDE, M. et al. Super Light Car—lightweight construction thanks to a multi-material design and function integration. **European Transport Research Review**, v. 1, n. 1, p. 5–10, 1 mar. 2009.

GRACE, R.; TURNER, R. K.; WALTER, I. Secondary materials and international trade. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 5, n. 2, p. 172–186, jun. 1978.

GUIDE, V. D. R. Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. **Journal of Operations Management**, v. 18, n. 4, p. 467–483, jun. 2000.

GUINÉE, J. B. **Life Cycle Assessment - An operational guide to the ISO standards - Part 2a**, 2001.

HAUPT, M. et al. Influence of Input-Scrap Quality on the Environmental Impact of Secondary Steel Production. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 2, p. 391–401, 1 abr. 2017.

HELMS, M. M.; NIXON, J. Exploring SWOT analysis – where are we now?: A review of academic research from the last decade. **Journal of Strategy and Management**, v. 3, n. 3, p. 215–251, 10 ago. 2010.

HENCKENS, M. L. C. M.; DRIESSEN, P. P. J.; WORRELL, E. Metal scarcity and sustainability, analyzing the necessity to reduce the extraction of scarce metals. **Resources Conservation and Recycling**, v. 93, p. 1–8, 2014.

HOE, V. M. H. **A Construção do Sistema Brasileiro de Declaração Ambiental do Produto**. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2016.

HOEKSTRA, A. Y.; WIEDMANN, T. O. Humanity's unsustainable environmental footprint. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1114–1117, 6 jun. 2014.

HOLMES, K. The importance of quality-assurance testing for recycled materials: consider investing in these tools to ensure your material makes the grade.(RECYCLING). **Plastics Technology**, v. 62, n. 1, p. 42–45, 2016.

HUERTA, M.; BALICER, R. D.; LEVENTHAL, A. SWOT analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats of the Israeli Smallpox Revaccination Program. **The Israel Medical Association journal: IMAJ**, v. 5, n. 1, p. 42–46, jan. 2003.

HUSSAIN, G.; AL-GHAMDI, K. A. Empirical modeling and simultaneous optimization of energy efficiency/demand, cost and productivity in incremental forming of metallic clad composite. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 31, p. 20375–20385, 3 ago. 2017.

HUYSMAN, S. et al. Toward a systematized framework for resource efficiency indicators. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 68–76, 1 fev. 2015.

HYDRO. **Mineração de bauxitaA Hydro no Brasil**, 2016. Disponível em: <<https://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/sobre-o-aluminio/ciclo-de-vida-do-aluminio/mineracao-de-bauxita/>>. Acesso em: 28 jun. 2018

ICAO, I. C. A. O. **ICAO ENVIRONMENTAL REPORT 2016 - AVIATION AND CLIMATE CHANGE**, 2016. . Acesso em: 28 maio. 2018

INMETRO. Portaria nº 100. REQUISITOS GERAIS DO PROGRAMA DE ROTULAGEM AMBIENTAL TIPO III – DECLARAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTO (DAP). . 7 mar. 2016.

IOANA, A.; SEMENESCU, A. Technological, Economic, and Environmental Optimization of Aluminum Recycling. **JOM**, v. 65, n. 8, p. 951–957, ago. 2013.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos - Relatório de Pesquisa**, 2012. Disponível em:

<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 7 out. 2017

KEIVANPOUR, S.; AIT KADI, D. Strategic eco-design map of the complex products: toward visualisation of the design for environment. **International Journal of Production Research**, p. 1–17, 13 out. 2017.

KLÖPPFER, W. In defense of the cumulative energy demand. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 2, n. 2, 1997.

LA ROVERE, E. **Especialistas: Precificar o carbono é imprescindível para estimular ação a respeito da crise climática** Centro Brasil no Clima, 1 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.centrobrasilnoclima.org/single-post/2017/06/01/Especialistas-Precificar-o-carbono-%C3%A9-imprescind%C3%ADvel-para-estimular-a-%C3%A7%C3%A3o-a-respeito-da-crise-clim%C3%A1tica>>. Acesso em: 26 jun. 2018

LEE, H. M.; LU, W. F.; SONG, B. A framework for assessing product End-Of-Life performance: reviewing the state of the art and proposing an innovative approach using an End-of-Life Index. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 355–371, mar. 2014.

LEHMANN, A.; BACH, V.; FINKBEINER, M. Product environmental footprint in policy and market decisions: Applicability and impact assessment. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 11, n. 3, p. 417–424, 14 abr. 2015.

LIU, H. et al. A dual channel, quality-based price competition model for the WEEE recycling market with government subsidy. **Omega**, v. 59, p. 290–302, 1 mar. 2016.

LU, L.; QI, X.; LIU, Z. On the cooperation of recycling operations. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 349–358, mar. 2014.

MANFREDI, S. et al. **Product Environmental Footprint (PEF) Guide**, 17 jul. 2012.

MANFREDI, S.; TONINI, D.; CHRISTENSEN, T. H. Environmental assessment of different management options for individual waste fractions by means of life-cycle assessment modelling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 995–1004, set. 2011.

MATHEWS, J. A.; TAN, H. Circular economy: Lessons from China. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 440–442, 23 mar. 2016.

MENGARELLI, M. et al. End-of-life modelling in life cycle assessment—material or product-centred perspective? **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 8, p. 1288–1301, 1 ago. 2017.

MENIKPURA, S. N. M.; SANTO, A.; HOTTA, Y. Assessing the climate co-benefits from Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) recycling in Japan. **Journal of Cleaner Production**, v. 74, p. 183, 2014.

MMA. **Acordo de Paris** Ministério do Meio Ambiente, 2015a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 25 jun. 2018

MMA, M. DO M. A. **PLANO DE AÇÃO PARA PRODUÇÃO E CONSUMO SUSTENTÁVEIS - PPCS**, 2011.

MMA, M. DO M. A. **Estratégia de Implementação do 2º Ciclo do Plano de Produção e Consumo Sustentáveis - 2016 a 2020.**, 2015b.

MODARESI, R.; LØVIK, A. N.; MULLER, D. B. Component- and alloyspecific modeling for evaluating aluminum recycling strategies for vehicles. **JOM**, 2014.

NAKAMURA, S. et al. Quality- and dilution losses in the recycling of ferrous materials from end-of-life passenger cars: input-output analysis under explicit consideration of scrap quality. **Environmental science & technology**, v. 46, n. 17, p. 9266–73, 2012.

NAPPI, C. **The Global Aluminium Industry 40 years from 1972**, 2013. Disponível em: <<http://www.world-aluminium.org/publications/>>

NICHOLSON, A. L. et al. **End-of-life LCA allocation methods: Open loop recycling impacts on robustness of material selection decisions**. IEEE, maio 2009 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5156769/>>. Acesso em: 27 abr. 2017

NICOLLI, F.; JOHNSTONE, N.; SÖDERHOLM, P. Resolving failures in recycling markets: the role of technological innovation. **Environmental Economics & Policy Studies**, v. 14, n. 3, p. 261–288, jun. 2012.

OECD. **THE GLOBAL FLOW OF ALUMINUM 2006 TO 2025**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/environment/waste/46194971.pdf>>. Acesso em: 22 maio. 2017.

PARASKEVAS, D. et al. Environmental modelling of aluminium recycling: a Life Cycle Assessment tool for sustainable metal management. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 357–370, out. 2015.

PARLAMENTO EUROPEU, C. DA U. E. Diretiva 2006/12/CE. Diretiva relativa aos resíduos. . 5 abr. 2006.

PRZYDATEK, G. A Comparative Analysis of Municipal Waste Management Systems. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 25, n. 5, p. 2107–2112, set. 2016.

RATHMANN, R. et al. **TRAJETÓRIAS DE MITIGAÇÃO E INSTRUMENTOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA ALCANCE DAS METAS BRASILEIRAS NO ACORDO DE PARIS**. n. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, p. 66, 2017.

REILLY, C. et al. Process Modeling of Low-Pressure Die Casting of Aluminum Alloy Automotive Wheels. **JOM**, v. 65, n. 9, p. 1111–1121, 2013.

ROSADO, L. P. et al. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 634–642, maio 2017.

ROWE, P.; EKŞIOGLU, B.; EKŞIOGLU, S. Recycling procurement strategies with variable yield suppliers. **Annals of Operations Research**, v. 249, n. 1–2, p. 215–234, fev. 2017.

RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W. Recycling in Brasil: Paper and Plastic Supply Chain. **Resources**, v. 6, n. 3, p. 43, 29 ago. 2017.

SCHNEIDER, L.; BERGER, M.; FINKBEINER, M. Abiotic resource depletion in LCA—background and update of the anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) model. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 5, p. 709–721, 1 maio 2015.

SHANMUGAM, M. A Comprehensive Eco-friendly Total Waste Management Solution for Cosmopolitan Cities like Coimbatore with Resultant Pollutant-less Surface Water and Reduced Demand on Ground Water Accompanied with Greener Input for Some Polluting Manufacturing Processes. **International Journal of BioSciences & Technology**, v. 6, p. 17–36, jan. 2013.

SNSA-MCIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2018, , 2018.

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature News**, v. 531, n. 7595, p. 435, 24 mar. 2016.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. Second Edition ed. [s.l.] McGraw Hill Professional, 2002.

THE INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **The Aluminium Story: Explore the production, use and recycling of this versatile metal**, 2018. Disponível em: <<http://www.thealuminiumstory.com>>. Acesso em: 18 jun. 2018

THIERRY, M. et al. Strategic Issues in Product Recovery Management. **California Management Review**, v. 37, n. 2, p. 114–136, 1 jan. 1995.

TONIOLO, S. et al. Allocation strategies in comparative life cycle assessment for recycling: Considerations from case studies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, Part B, p. 249–261, fev. 2017.

USAC, U. S. A. C. **UNITED STATES ANTIMONY CORPORATION** **UNITED STATES ANTIMONY CORPORATION**, 2018. Disponível em: <<http://usantimony.com/pricing.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2018

VAN DER HARST, E.; POTTING, J.; KROEZE, C. Comparison of different methods to include recycling in LCAs of aluminium cans and disposable polystyrene cups. **Waste Management**, v. 48, p. 565–583, 2016.

VAN OERS, L. et al. **Abiotic resource depletion in LCA. Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA handbook**. Abiotic resource depletion in LCA. Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA handbook., , 2002. Disponível em: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/report_abiotic_depletion_web.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2018

VELASCO, E.; NINO, J. Recycling of aluminium scrap for secondary Al-Si alloys. **Waste Management & Research**, v. 29, n. 7, p. 686–693, 1 jul. 2011.

VILLALBA, G. et al. A proposal for quantifying the recyclability of materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 37, n. 1, p. 39–53, dez. 2002.

WOLF, K. et al. **Selection Criteria for Suitable Indicators for Value Creation Starting with a Look at the Environmental Dimension**. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S2212827114008828/1-s2.0-S2212827114008828-main.pdf?_tid=bffb2116-25fe-11e7-a78d-0000aacb35d&acdnat=1492716353_54b902dbce34412dee639f12cc2e6662>. Acesso em: 20 abr. 2017.

WOLF, M.-A.; CHOMKHAMRSRI, K. **The “Integrated formula” for modelling recycling, energy recovery and reuse in LCA** - White papermaki Consulting & P.P.P. Intertrader, , 2014.

WOLF, M.-A.; CHOMKHAMRSRI, K.; ARDENTE, F. **MODELLING RECYCLING, ENERGY RECOVERY AND REUSE IN LCA**. . In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE MANAGEMENT – LCM 2013. Gothenburg, Sweden: 2013Disponível em: <<http://conferences.chalmers.se/index.php/LCM/LCM2013/paper/view/565>>. Acesso em: 3 jul. 2018

WOLF, M.-A.; LAGET, S. **The Integrated formula**. . In: WORKSHOP ON END OF LIFE (EOL) FORMULAS IN THE CONTEXT OF THE ENVIRONMENTAL FOOTPRINT PILOT PHASE. BRUSSELS: 2014

WYSOKIŃSKA, Z. The “New” Environmental Policy of the European Union: A Path to Development of a Circular Economy and Mitigation of the Negative Effects of Climate Change. **Comparative Economic Research**, v. 19, n. 2, 1 jan. 2016.

ZINK, T.; GEYER, R.; STARTZ, R. A Market-Based Framework for Quantifying Displaced Production from Recycling or Reuse: Market-Based Framework for Quantifying Displaced Production. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 4, p. 719–729, ago. 2016.

ANEXO A

ROTEIRO DE ENTREVISTA PARA PRODUTOR DE MATERIAL SECUNDÁRIO E FABRICANTE DE RODAS

1. De que maneira o uso de material secundário (reciclado ou sucata) dentro das indústrias poderia fortalecer a empresa?
2. De que maneira o uso de material secundário dentro das indústrias poderia enfraquecer a empresa?
3. Quais as principais dificuldades da indústria em relação ao uso de material secundário?
4. Quais as vantagens para indústria em relação ao uso de material secundário e à implementação de políticas e programas de estímulo à reciclagem?
5. Quais os principais obstáculos para o incentivo do uso de material secundário e reciclagem no Brasil?
6. A empresa enxerga um cenário político, econômico e ambiental de incentivo à reciclagem no Brasil hoje?
7. O que poderia ser melhorado ou alterado, a nível político, estrutural e econômico, para que as empresas passassem a utilizar mais material secundário em suas cadeias produtivas?
8. Há preconceito em relação ao uso de material secundário na indústria? Por que?
9. A empresa tem conhecimento sobre a PNRS e o que ela diz a respeito da reciclagem?
10. A adoção de um selo ou rótulo ambiental poderia auxiliar o mercado da reciclagem e facilitar o retorno dos resíduos à indústria?
11. Pensando em um futuro cenário de escassez de recursos minerais e naturais, planejar estratégias de uso e fomento de materiais secundários e reciclagem é uma alternativa interessante?
12. De que forma o Governo poderia incentivar o uso de material secundário na indústria?
13. Quais as vantagens e desvantagens de uma política de fomento à reciclagem para a empresa frente seus clientes?
14. A comunicação ao consumidor do uso de material reciclado pode abrir ou fechar portas ao consumo do seu produto?
15. Entender como as relações de qualidade entre material primário e secundário podem afetar o mercado da reciclagem, contribuiria para um melhor fluxo de materiais secundários?
16. Mudanças nas práticas usuais e na tecnologia disponível de reciclagem poderiam contribuir para melhoria do mercado?

17. Você enxerga a qualidade do resíduo que chega até vocês e do material secundário produzido como pontos essenciais no mercado da reciclagem?
18. Qual sua opinião/visão sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes; consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos)?

ANEXO B

ROTEIRO DE ENTREVISTA PARA REPRESENTANTE DO GOVERNO

1. A PNRS contribui de que maneira para o incentivo da reciclagem?
2. De que maneira o uso de material secundário (reciclado) dentro das indústrias poderia fortalecer a PNRS ou o fomento de novas políticas públicas de incentivo à reciclagem?
3. Há um cenário hoje favorável ao incentivo da reciclagem no Brasil?
4. O que poderia ser melhorado ou alterado, a nível político, estrutural e econômico, para que as empresas passem a utilizar mais material secundário em suas cadeias produtivas?
5. Você acredita que o incentivo às empresas para adoção do Programa de Rotulagem Ambiental (DAP) poderia auxiliar o mercado da reciclagem e facilitar o retorno dos resíduos à indústria?
6. Pensando em um futuro cenário de escassez de recursos minerais e naturais, planejar estratégias de uso e fomento de materiais secundários e reciclagem poderia ser considerada uma estratégia de segurança nacional para o Brasil?
7. Que tipos de incentivo o Governo poderia fornecer às indústrias para fomentar o uso de material secundário em seus processos e o retorno de resíduos às cadeias produtivas?
8. Quais as vantagens de uma política de fomento à reciclagem para o Governo frente aos cidadãos e cadeia produtiva?
9. Quais os obstáculos para o incentivo de material secundário e reciclagem no Brasil?
10. Você tem conhecimento do andamento hoje do Plano Nacional de Resíduos Sólidos? Você acha que ele pode ajudar no incentivo da reciclagem?