

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

BRUNA ALVES RIBEIRO

Verificação de um caso de rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular.

São Carlos

2017



BRUNA ALVES RIBEIRO

Verificação de um caso de rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular.

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Materiais e Manufatura, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira de Materiais e Manufatura.

Discente: Bruna Alves Ribeiro

Orientadora: Profa. Janaina M H Costa

Co orientador: Daniel Guzzo da Costa

SÃO CARLOS

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R894v      Ribeiro, Bruna Alves  
Verificação de um caso de rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular. / Bruna Alves Ribeiro; orientadora Janaina Mascarenhas Hornos da Costa; coorientador Daniel Guzzo da Costa. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. economia circular. 2. logística reversa. 3. reciclagem. 4. lâmpadas fluorescentes. 5. estrutura resolve. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

<b>Candidato:</b> Bruna Alves Ribeiro
<b>Título do TCC:</b> Verificação de um caso de rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular.
<b>Data de defesa:</b> 27/11/2017

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Doutor Janaina Mascarenhas Hornos da Costa (orientador)	Aprovada
Instituição: EESC - SEP	
Pesquisador Daniel Guzzo da Costa	Aprovada
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Márcia Cristina Branciforti	Aprovada
Instituição: EESC - SMM	

Presidente da Banca Professor Doutor Janaina Mascarenhas Hornos da Costa

  
\_\_\_\_\_  
(assinatura)



*À minha bisavó Luzia (in memoriam) e  
ao meu avô Ulisses (in memoriam),  
que me deram o amor mais bonito e  
que ficariam muito felizes de  
compartilhar deste momento comigo.*





## AGRADECIMENTOS

À minha mãe e ao meu pai, por terem me passado todos os seus valores, sempre me apoiarem em todos os momentos e decisões da minha vida, proporcionarem que eu tivesse educação de qualidade, me apoiarem financeiramente durante a faculdade possibilitando com que eu concluísse esta etapa e por me ensinarem o essencial, o amor.

À minha irmã, pela sua amizade e companhia cotidiana na nova vida em São Paulo, pelo seu cuidado quase que materno comigo, por sempre acreditar em mim e na minha capacidade de realização e pelo seu amor.

Às minhas avós, materna e paterna, pelo amor, carinho e orações diárias para que, mesmo de longe, eu esteja sendo cuidada por elas.

À professora Janaina, primeiramente por ter aceitado me orientar, pela sua orientação e todo o aprendizado passado a mim durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao coorientador Daniel, por ter me dado suporte do início ao fim deste trabalho.

À USP, EESC e Engenharia de Materiais e Manufatura, por me proporcionarem grandes encontros com pessoas que trago comigo até hoje, e pelas experiências de aprendizado que me fizeram crescer profissionalmente e como pessoa.

Às secretárias, técnicos e professores do Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura, pela proximidade, ajuda e auxílio sempre que possível.

Às empresas que participaram desta pesquisa, pela cooperação e disponibilidade de tempo e informações .



## RESUMO

RIBEIRO, A. R. **Verificação de um caso de rede logística reversa com origem no varejo como solução circular.** 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016

O modelo econômico linear vigente baseado na “extração-produção-uso-descarte” faz com que a sociedade viva sob a pressão de escassez de recursos naturais, e que o meio-ambiente esteja sujeito a impactos ambientais negativos. Nesse contexto, a economia circular surge como uma alternativa de conciliação de demandas econômicas e a inevitável escassez de recursos naturais, uma vez que prioriza a geração de valor a partir da manutenção de produtos, seus componentes e materiais no seu mais alto nível de utilidade todo o tempo. Uma das práticas de economia circular é o processo de reciclagem, e a logística reversa é uma ferramenta importante para que a reciclagem ocorra. No Brasil, a logística reversa foi imposta pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) para uma série de produtos, contemplando inclusive as lâmpadas fluorescentes. A grande problemática de lâmpadas fluorescentes encontra-se no descarte incorreto do mercúrio que apresenta elevada toxicidade. E apesar de grande parte do consumo estar ligado aos usuários finais dos produtos, poucas redes logísticas reversas têm origem no varejo. Assim, a presente pesquisa objetiva a verificação de uma rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular através da modelagem da rede e análise por meio da estrutura ReSOLVE. Foram feitos o mapeamento dos *stakeholders* da logística reversa de lâmpadas fluorescentes e o mapeamento dos processos desta mesma rede logística reversa. A partir disso, as ações da estrutura ReSOLVE foram analisadas em níveis de execução dentro da logística reversa. Verificou-se que a rede logística reversa estudada nesta pesquisa executa fortemente as ações regenerar e ciclar; executa parcialmente as ações otimizar e trocar; e não executa as ações compartilhar e virtualizar. A presente pesquisa então concluiu que a rede logística reversa é considerada como uma solução circular, uma vez que atende, em diferentes níveis, a quatro ações da estrutura ReSOLVE. No entanto, sugere a otimização e servitização das lâmpadas fluorescentes como objetos para futura exploração.

Palavras-chave: Economia circular, logística reversa, reciclagem, lâmpadas fluorescentes, estrutura *resolve*



## ABSTRACT

RIBEIRO, A. B. **Case verification of a reverse logistic network with retail origin as a circular solution.** 2017. Course Conclusion Thesis (Materials and Manufacturing Engineering)

The current linear economic model based on “extract-make-use-disposal” makes society live under the pressure of scarcity of natural resources, and the environment subject to negative environmental impacts. In this context, the circular economy emerges as an alternative to reconcile economic demands and the inevitable scarcity of natural resources, since it prioritizes the value generation from the maintenance of products, their components and materials at their highest level of utility all the time. One of the circular economy practices is the recycling process, and reverse logistics is important for enabling recycling to occur. In Brazil, reverse logistics was imposed by the National Solid Waste Policy (PNRS) for a range of products, including fluorescent lamps. The biggest problem of fluorescent lamps is in the incorrect disposal of mercury, which presents high toxicity. Although consumption is highly related to final users of products, few reverse logistics networks in Brazil have their origin in retail. Thus, the present research aims to verify a reverse logistics network as a circular solution through modelling this network and the analysis applying the ReSOLVE framework. Initially, a stakeholder map and processes map of the reverse logistics network of fluorescent lamps were developed. From this, the actions of the ReSOLVE framework were analyzed at levels of execution within the reverse logistics network. It was verified that the reverse logistics network performs strongly the actions “regenerate” and “loop”; partially performs the “optimize” and “exchange” actions; and that does not perform the “share” and “virtualize” actions. Then, the present research concluded that the reverse logistics network of fluorescent lamps is considered as a circular solution, since it complies with four actions of the ReSOLVE framework. However, the present study suggests the optimization and product-service-system of fluorescent lamps as topics to explore in the future.

Palavras-chave: Circular economy, reverse logistics, recycling, fluorescent lamps, resolve framework



## **Lista de Figuras**

Figura 1. Diagrama representativo dos princípios da economia circular .....	26
Figura 2. Fluxos de geração de valor (adaptado de Moreno et al. 2016). .....	29
Figura 3. Estrutura ReSOLVE .....	30
Figura 4. Fluxograma das principais etapas de uma rede logística reversa.....	34
Figura 5. Diagrama das etapas realizadas na condução o estudo de caso. ....	39
Figura 6. Diagrama apresentando detalhes das etapas de coleta de dados....	43
Figura 7. Mapa de stakeholders da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes .....	44
Figura 8. Mapa de processos da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes .....	48
Figura 9. Gráfico dos níveis de execução para cada ação da estrutura ReSOLVE quando analisadas dentro da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes .....	53

## **Lista de Quadros**

Quadro 1. Tecnologias para reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil. 37



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 Contextualização .....	19
1.2 Objetivos de pesquisa .....	22
1.3 Estrutura do trabalho .....	23
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
2.1 Economia circular .....	24
2.1.1 <i>Princípios da Economia Circular</i> .....	25
2.1.2 <i>Fontes de criação de valor</i> .....	27
2.1.3 <i>Estrutura ReSOLVE</i> .....	29
2.2 Ciclo de vida de produto e logística reversa .....	32
2.2.1 <i>Características gerais de redes logísticas reversa</i> .....	33
2.2.2 <i>Classificação das redes logísticas reversa</i> .....	34
2.3 Reciclagem de lâmpadas fluorescentes .....	36
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
4.1 Mapeamento da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes, seus stakeholders e processos .....	43
4.2 Verificação da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes como uma solução circular através da estrutura ReSOLVE .....	52
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>61</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Desde a revolução industrial, a sociedade vive num modelo econômico linear baseado na “extração – transformação – disposição” das coisas e seus materiais. No entanto, esse modelo é, na sua essência, não sustentável. Por se tratar de um modelo baseado na extração de recursos finitos e matérias-primas virgens, a economia linear está frequentemente sob riscos de volatilidade de preços de recursos naturais e de escassez de matéria-prima (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a). Além disso, um conjunto de consequências ambientais negativas é gerado pelo modelo econômico linear baseado no consumismo exagerado, como por exemplo, emissões para o meio ambiente, geração de resíduos sólidos e consequentemente a geração de aterros sanitários (LIEDER; RASHID, 2016).

De fato, Lacy e Rutqvist (2015) mostram que o consumo de recursos globais aumentou numa taxa de 1,026% no período de 1900 a 2014, resultando num consumo de 80 bilhões de toneladas de minerais industriais. Além disso, o modelo linear econômico pouco adota iniciativas de reaproveitamento de materiais a fim de diminuir as pressões sobre os recursos naturais. Ellen MacArthur Foundation (2014) mostra que muitos recursos importantes para atividades industriais, como por exemplo estanho e manganês, são extraídos em tal ritmo que os levará à extinção num período de 50 anos. Ao mesmo tempo, muitos destes recursos importantes apresentam uma taxa de reciclagem menor que 1% e poucos são reciclados em larga escala.

Com o crescimento populacional e consequente aumento na demanda por produtos e serviços, as reservas naturais serão ainda mais pressionadas. Nesse contexto, do modo em que estão estruturadas as indústrias, estas não estarão hábeis a suportar estas demandas, uma vez que as reservas caminham para a escassez de recursos e pouco consegue-se reaproveitar do recurso já extraído (LACY; RUTQVIST, 2015). Assim, entender os resíduos gerados após o uso de um produto como uma fonte de recurso mais do que

simplesmente lixo, envolve a gestão de valor de recurso como padrão nas operações de negócio (LIEDER; RASHID, 2016).

Nesse contexto, a economia circular é considerada como um meio para conciliar as demandas econômicas e a proeminente escassez de recursos e seus impactos ambientais. O modelo econômico circular é restaurativo e regenerativo na sua base. De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2015a), a economia circular tem como principal objetivo manter os produtos, seus componentes e materiais com seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo dentro da cadeia produtiva. Lieder e Rashid (2016) ainda afirmam que o desempenho regenerativo da economia circular requer uma circulação de materiais técnicos de alta qualidade e a reinserção segura de materiais biológicos no ciclo biológico.

Em vista disso, a economia circular prioriza a geração de valor a partir de produtos, materiais e serviços circulares que geram impactos positivos ou reduzem significativamente os impactos negativos para o meio ambiente e sociedade. De acordo com Bocken et al. (2014), as soluções circulares modificam os impactos ambientais por meio de uma reestruturação na maneira que a organização e sua rede de criação de valor entrega valor, captura valor ou propõe valor.

Na prática, para as indústrias, a incorporação de soluções circulares requer o desenvolvimento de novos modelos de negócio, e a reestruturação de novos modelos está diretamente relacionado com o design do produto e também com a cadeia direta e reversa de fornecimento de produtos (LIEDER; RASHID, 2016).

Bocken et al. (2016) traz uma variedade de estratégias para a inovação de modelos de negócio atuais. Uma das estratégias, a extensão de valor dos recursos, propõe a geração de valor através da exploração do valor dos resíduos após o uso dos produtos e materiais, utilizando-os como matéria-prima para outras cadeias, enquanto reduz a exploração de recursos e seus custos; os resíduos são transformados em novos produtos, em novas formas de valor. Para a implementação desta estratégia, a existência de pontos de

logística reversa para a coleta destes resíduos se faz essencial. Govindan, Soleimani e Kannan (2015) ainda afirmam que é através da logística reversa que os produtos são coletados, reciclados, remanufaturados, reparados ou, quando não apresentam mais utilidade, eliminados.

No Brasil, a logística reversa, definida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Brasil, 2010), estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos na logística reversa, a fim de minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados durante o ciclo de vida de produtos. Ainda, estabelece a obrigatoriedade de estruturação e implementação de logística reversa para as seguintes categorias de produtos: agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificante, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes (Brasil, 2010).

O Brasil apresentou em 2011 uma geração de resíduos de 206 milhões de unidades de lâmpadas fluorescentes, sendo apenas 6% dessas lâmpadas destinadas à reciclagem, totalizando um número de 12, 35 milhões de lâmpadas recicladas (BACILA; FISCHER; KOLISCHESKI, 2014). Considerando o banimento do uso de lâmpadas incandescentes e a maior eficiência energética das lâmpadas fluorescentes, o número de resíduos gerados pelo uso de lâmpadas fluorescentes tende a aumentar consideravelmente. A grande problemática encontra-se na geração de grandes quantidades de um resíduo específico que faz parte da composição de lâmpadas fluorescentes: o mercúrio. O descarte inadequado de mercúrio pode trazer inúmeras consequências ambientais e biológicas (BACILA; FISCHER; KOLISCHESKI, 2014).

O mercúrio é um componente químico tóxico, persistente e biocumulativo, que pode ser liberado da lâmpada em solo, ar e água, ao passo que não pode ser eliminado, permanecendo na natureza como mercúrio ou substâncias derivadas ainda mais tóxicas (BACILA; FISCHER; KOLISCHESKI, 2014). Além

disso, Bacila, Fischer e Kolischeski (2014) afirmam que as lâmpadas que apresentam mercúrio em sua composição são 99% recicláveis; assim, a reciclagem destas lâmpadas é o processo mais eficiente na minimização dos impactos ambientais, como também na captação de valor de materiais.

A fim de viabilizar a reciclagem de lâmpadas fluorescentes, uma rede de logística reversa para este produto é essencial. Do mesmo modo, para que a logística reversa de fato ocorra, é necessário que os pontos de coleta estejam distribuídos estrategicamente nas cidades, levando em consideração a dimensão do país e as densidades demográficas dos municípios e que sejam sobretudo, de fácil acesso. Bacila, Fischer e Kolischeski (2014), por exemplo, mostram em seus estudos que existem apenas 264 pontos de coleta para lâmpadas fluorescentes no Brasil, sendo que o país é composto por 5.500 municípios. Nesse contexto, redes de varejo são consideradas boas alternativas para implantação de pontos de coleta, principalmente porque grande parte do consumo de lâmpadas fluorescentes está associado ao consumidor final. No entanto, atualmente poucos programas de logística reversa tem origem no varejo (LEITE, 2005). De acordo com os estudos de Leite (2005), de 27 redes de logística reversa estudadas por ele, apenas 5 têm origem no varejo.

## **1.2 Objetivos de pesquisa**

Tendo em vista o baixo número de redes logísticas reversa com origem no varejo, o presente estudo tem como objetivo verificar o caso de uma rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular. Busca-se discutir o papel desempenhado pela logística reversa na implantação da economia circular e na minimização da problemática ambiental associada ao descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes contendo mercúrio. A verificação será feita a partir da modelagem de uma rede de logística reversa de lâmpadas fluorescentes e da análise das ações da estrutura ReSOLVE dentro de tal rede.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

De acordo com a normas de publicação da Escola de Engenharia de São Carlos, o presente Trabalho de Conclusão de Curso é estruturado em cinco seções: (1) Introdução, (2) Metodologia, (3) Resultados e Discussões e (5) Conclusões.

Na Introdução, é apresentada a situação atual na qual está inserida o objeto do presente estudo, como também a definição do objetivo de pesquisa e um resumo das atividades realizadas durante o trabalho. A Revisão bibliográfica contempla os principais conceitos relacionados com o objeto de pesquisa, sendo divididos em: Economia circular, Ciclo de vida e logística reversa e Reciclagem de lâmpadas fluorescentes. A Metodologia exhibe os métodos utilizados e as atividades realizadas pela pesquisadora no decorrer do desenvolvimento do trabalho. A seção dos Resultados e Discussão traz a modelagem dos resultados e a discussão dos mesmos baseados na Revisão Bibliográfica. Nas Conclusões, há um resumo dos resultados e a resposta ao objetivo de pesquisa proposto.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Economia circular

Desde 1970, o conceito de economia circular vem sendo aprofundado e desenvolvido por várias escolas de pensamento. Paralelamente, a aplicação prática do conceito de circularidade vem ganhando espaço na economia moderna e nos processos industriais graças a relevantes nomes do meio acadêmico e corporativo. Desse modo, é controverso delimitar a origem de economia circular apenas à um nome ou autor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

As primeiras noções de circularidade emergiram com o conceito de design regenerativo, do professor americano John T. Lyle, que defendeu que todos os processos internos de um sistema renovam ou regeneram as fontes de matéria e energia, renovando os próprios sistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Já o termo economia circular, apareceu pela primeira vez em 1990, quando Peace e Turner desenvolveram um novo modelo econômico, destacando a relação entre economia e natureza, através da incorporação dos três fatores econômicos do meio ambiente: fornecedor de recursos, assimilador de resíduos e fonte de utilidade (RIZOS, TUOKKO, BEHRENS, 2017).

O conceito mais recente de economia circular é definido pela Ellen MacArthur Foundation (2015a, p.5) e caracteriza o modelo econômico circular como:

“...uma economia que é restaurativa e regenerativa por natureza por projetar e propor manter os produtos, componentes e materiais no seu mais alto grau de utilidade e valor todo o tempo, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos.”

Os materiais biológicos retornam naturalmente para a biosfera, ou seja, são regenerados; enquanto que os materiais técnicos são projetados para circular o máximo possível com alta qualidade sem entrar para a biosfera, sendo assim restaurados (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

De acordo com a Ecologia Industrial, os ciclos biológicos e os ciclos técnicos, embora diferentes nas características, se assemelham na maneira em que



operam. Ambos são caracterizados pelo fluxo de matéria, energia e informação (RIZOS, TUOKKO, BEHRENS, 2017). Assim, sistemas vivos são tomados como base para o estudo de economia circular. Por exemplo, o conceito e processo “*cradle to cradle*” (berço a berço), desenvolvidos por Michael Braungart e Bill McDanaugh, tomam como exemplo para a criação de fluxo de materiais industriais o metabolismo ecológico dos sistemas naturais, por estes apresentarem segurança e produtividade. Ainda, o conceito de biomimética, estudado por Janine Benyus, toma a natureza como inspiração para a criação de processos para o cotidiano humano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Nesse contexto, a abordagem circular difere da abordagem linear de “extração-produção-uso-descarte”, porque enxerga como forma de geração de lucro o fluxo de produtos e materiais ao longo do tempo de vida destes. O arquiteto e analista industrial, Walter Stahel, criou o conceito de economia de desempenho, o qual prioriza: extensão do tempo de vida do produto, matérias-primas de longa vida, atividade de recuperação, prevenção de geração de resíduos e venda de serviços em vez de produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

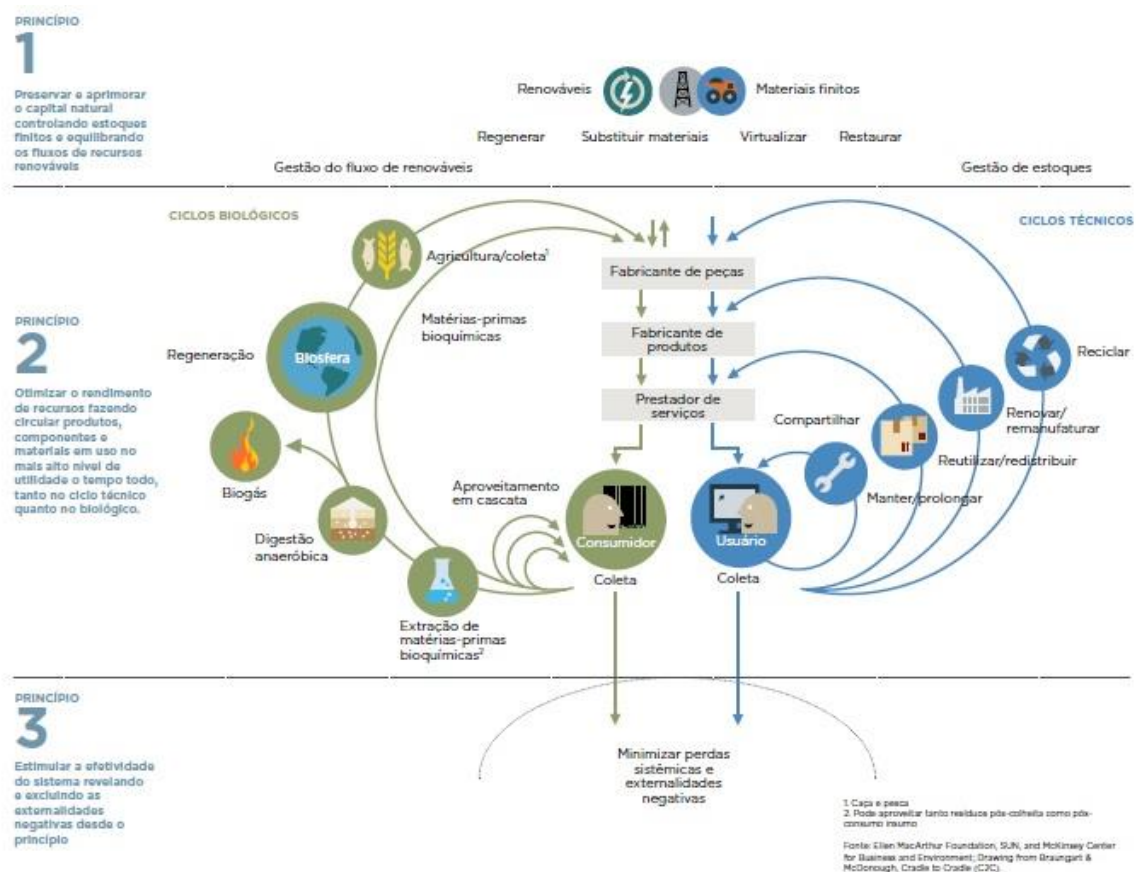
Estas ações fazem com que o uso dos produtos, componentes e materiais sejam utilizados o máximo possível dentro da cadeia produtiva e dissocia as bases das atividades humanas de recursos finitos e virgens. Diante disso, a economia circular viabiliza, de fato, um futuro sustentável. Sustentabilidade, por definição, é a capacidade da sociedade atual de encontrar suas necessidades sem comprometer a capacidade das futuras gerações de encontrarem suas necessidades (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016), e a economia circular fornece as ferramentas necessárias para que isso seja alcançado.

### **2.1.1 Princípios da Economia Circular**

A economia circular tem sua base em três princípios, listados abaixo e ilustrados na Figura 1.

**1. Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis:** está alinhado com a fase inicial do projeto de produtos e serviços. Sempre que for possível, desmaterializar os produtos e serviços tornando-os virtuais. Se o uso de recursos se faz necessário, a escolha de recursos renováveis, de recursos que possam ser regenerados ou restaurados, é priorizado em vez de recursos finitos e virgens. O estímulo de fluxos de nutrientes ecológicos dentro da biosfera a fim de regenerar os sistemas naturais também é uma forma de aprimorar o capital natural (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

*Figura 1. Diagrama representativo dos princípios da economia circular.*



**2. Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico:** está alinhado com a fase inicial de projeto, como também com a fase de uso dos produtos. Para garantir essa otimização, é necessário projetar os produtos para a remanufatura, a renovação e a reciclagem, de modo que os materiais técnicos permaneçam no

ciclo produtivo gerando valor positivo por mais tempo. Identificados na Figura 1, os ciclos técnicos pelos quais os materiais técnicos podem passar ao longo de seu ciclo de vida são o compartilhamento, a reutilização, a remanufatura e a reciclagem. Todos estes ciclos mantêm e prolongam a vida útil dos materiais e componentes. No entanto, os ciclos menores, como por exemplo a reutilização, são priorizados em vez de ciclos maiores, como por exemplo a reciclagem, pois conservam mais energia e mais valores embutidos nos materiais e componentes. No ciclo ecológico, a grande oportunidade de geração de valor encontra-se no aproveitamento em cascata de resíduos. Um exemplo do uso de subprodutos de um processo como entrada para outro é o biogás, que é obtido a partir da decomposição de resíduos biológicos e serve como combustível para diferentes aplicações (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

**3. Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio:** Trata-se da redução de impactos negativos dos processos produtivos para a sociedade, considerando áreas como alimentos, mobilidade, habitação, educação, saúde, entretenimento e a gestão do uso de sistemas como ar, água, terra e gestão de externalidades, como poluição sonora e liberação de substâncias tóxicas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

### **2.1.2 Fontes de criação de valor**

O diagrama dos três princípios da economia circular (Figura 1) é composto por círculos internos de geração de valor, os quais representam diferentes atratividades econômicas para diferentes tipos de produtos, componentes, materiais e redes de gestão de suprimento (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). Ellen MacArthur Foundation (2012) os define como: círculos pequenos de geração de valor, círculos longos de geração de valor, uso em cascata para geração de valor e ciclos regenerativos puros.

O poder dos círculos menores está na maior taxa de utilização do produto, ao passo que a posse do ativo perde importância como fonte de criação de valor;

o compartilhamento de ativos e servitização ilustram os círculos menores (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

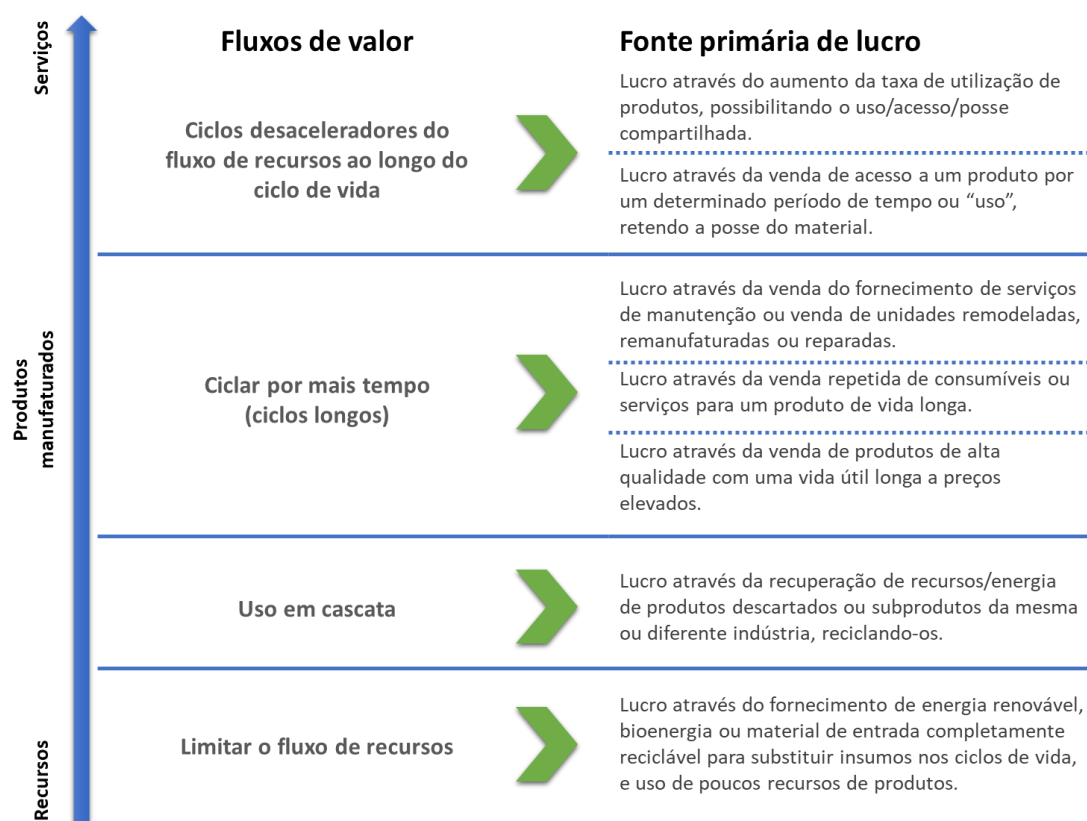
Já o poder dos círculos longos encontra-se no prolongamento da vida do produto, componentes e materiais ao longo da cadeia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). Atividades como projeto de produtos de longa vida que possibilitem a manutenção, ou então projetos de extensão da vida de componentes e materiais através da remanufatura, viabilizam a geração de valor pelos círculos maiores (Bocken et al., 2016). Bocken et al. (2016), afirma que a extensão do tempo de utilização de um produto seja pelo compartilhamento, servitização, manutenção ou remanufatura, resulta na desaceleração do ritmo no qual os recursos fluem na cadeia produtiva

Quanto ao uso em cascata, a diferenciação encontra-se na diversificação do reuso dos produtos, componentes e materiais, pois estes serão reincorporados em cadeias produtivas diferentes das quais saíram (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). De acordo com Bocken et al. (2016), é estabelecida a conexão entre a etapa de pós uso de um produto e a etapa de manufatura de novos produtos, possibilitando o reuso através da reciclagem.

Por fim, o ciclo regenerativo puro complementa e aprimora os demais ciclos de geração de valor. Para que seja gerado o mínimo de impacto durante o ciclo de vida de produtos técnicos e biológicos, é necessário utilizar insumos renováveis e de baixa toxicidade. É esperado um alto nível de qualidade de produtos e componentes, como também pureza dos materiais, de modo que potencialize o impacto gerado pelas outras fontes de criação de valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Da união das percepções de Ellen MacArthur Foundation (2012) e Bocken et al. (2016), emergiu a concepção de Moreno et al. (2016) sobre os fluxos de geração de valor, os quais são apresentados na Figura 2.

Figura 2. Fluxos de geração de valor (adaptado de Moreno et al. 2016).



Moreno et al. (2016), traz quatro fluxos de geração de valor, como também atividades que viabilizam estes fluxos. É válido ressaltar que, no diagrama de Moreno et al. (2016), ainda é destacado se os fluxos de valor e suas respectivas fontes de lucro acontecem à nível de materiais, produtos ou serviços.

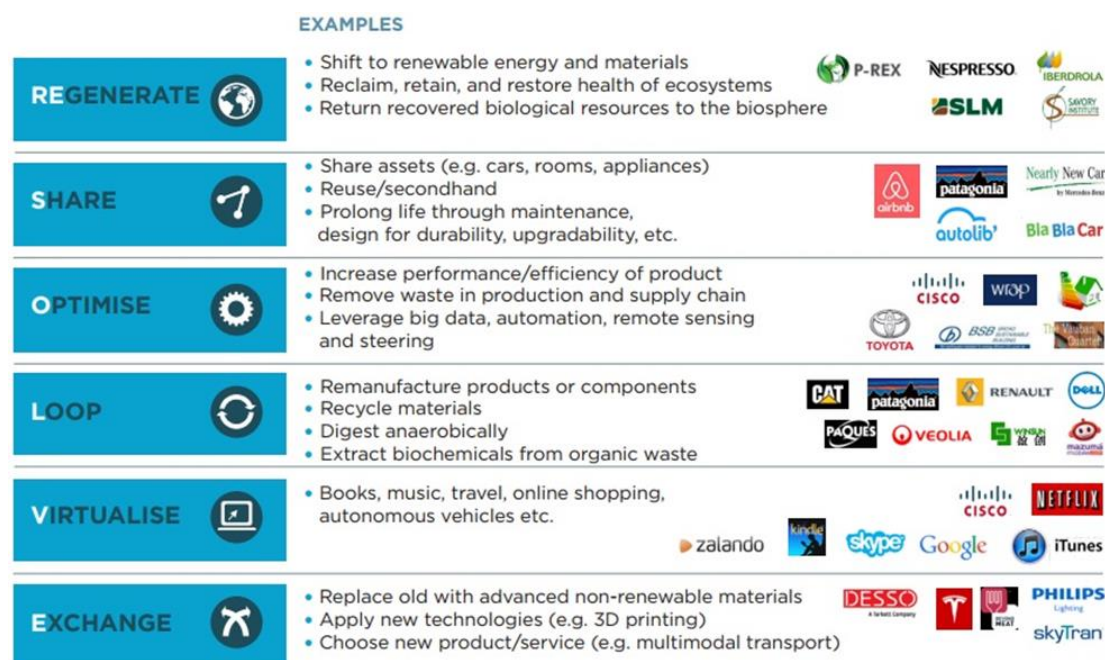
### 2.1.3 Estrutura ReSOLVE

Os três princípios da economia circular podem ser colocados em prática a partir de seis ações de negócios. Palavras da língua inglesa correspondentes a estas ações dão origem ao nome da estrutura ReSOLVE: *Regenerate* (regenerar), *Share* (Compartilhar), *Optmise* (otimizar), *Loop* (ciclar), *Virtualise* (virtualizar) e *Exchange* (trocar) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

A Figura 3 esquematiza a estrutura ReSOLVE e mostra as seis principais ações, e para cada uma delas, exemplos que fazem com que a ação seja cumprida. Por exemplo, trocar materiais virgens e finitos por materiais e

energia renováveis é uma ação que contribui para a regeneração do sistema. Assim, esses exemplos de ações podem ser chamados de ações viabilizadoras da estrutura ReSOLVE. Ainda, na Figura 3, podem ser vistos exemplos de companhias que aplicam uma específica ação principal em seus negócios.

Figura 3. Estrutura ReSOLVE.



Source: Company interviews; Web search. S. Heck and M. Rogers, *Resource revolution: How to capture the biggest business opportunity in a century*, 2014.

Abaixo as ações da estrutura ReSOLVE estão elaboradas.

- **Regenerar (Regenerate).** Ações viabilizadoras: a mudança para energia e materiais renováveis; a recuperação e restauração da saúde dos ecossistemas; e a devolução de recursos biológicos recuperados à biosfera (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

- **Compartilhar (Share).** Ações viabilizadoras: compartilhamento de ativos (ex.: automóveis, eletrodomésticos); reutilização de produtos durante sua vida útil, como por exemplo produtos de segunda mão; manutenção dos produtos a fim de estender a vida útil dos mesmos; e projetos que visem a durabilidade dos produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b). Um exemplo de modelo de negócio que exerce a servitização no Brasil é a Whirpool, que instala o purificador de água Brastemp na casa do cliente, fornece o serviço de manutenção, realiza a troca do filtro e cobra o cliente pela servitização por uma assinatura mensal (ZAPAROLLI, 2017).

- **Otimizar (Optimise).** Ações viabilizadoras: aumento da eficiência dos produtos; remoção de resíduos da cadeia produtiva, desde a logística de fornecimento até produção, uso, e coleta dos resíduos); e impulsionar automação. Importante ressaltar que nenhuma dessas ações exigem mudanças no produto ou na tecnologia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

- **Ciclar (Loop).** Ações viabilizadoras: remanufatura de produtos e componentes técnicos; reciclagem dos materiais técnicos; utilização da digestão anaeróbia para materiais renováveis (processo no qual microrganismos quebram materiais orgânicos na ausência de oxigênio, gerando resíduos sólidos e biogás, podendo este último ser usado como fonte e energia) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012); extração de substâncias bioquímicas dos resíduos orgânicos. As Nações Unidas, por exemplo, apresentam 146 instalações que tratam de 66% dos resíduos gerados através de digestão anaeróbia, e mais 175 instalações que geram energia a partir de resíduos sólidos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

- **Virtualizar (Virtualise).** Ações viabilizadoras: Desmaterialização de produtos (direto) e processos (indireto) (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b). O software Skype é um exemplo de desmaterialização de serviços, uma vez que possibilita chamadas de voz e vídeo entre seus usuários; já o Netflix, um serviço que fornece filmes e séries via *streaming* ao redor do mundo é um exemplo de desmaterialização de produtos.

- **Trocar (Exchange).** Ações viabilizadoras: Substituição de materiais não renováveis por outros mais avançados; aplicação de novas tecnologias, como por exemplo impressão 3D; e escolher novos produtos e serviços, como por exemplo, o transporte multimodal (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

As ações principais e as viabilizadoras da estrutura ReSOLVE prolongam a vida útil dos ativos físicos e trocam recursos finitos por recursos renováveis, por diferentes meios. É uma ferramenta útil que gera estratégias circulares e iniciativas de crescimento para os governos e corporações que planejam

realizar a transição de economias lineares para circulares (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, Jul. 2015b).

Acerca do entendimento da economia circular, será apresentada a literatura de logística reversa, relevante para a viabilização de grande parte das ferramentas para a transição para uma economia circular.

## **2.2 Ciclo de vida de produto e logística reversa**

De acordo com Jun, Kiritsis e Xirauchakis (2007), o ciclo de vida de um produto consiste, basicamente, em três fases: *beginning of life* (BOL), que diz respeito ao início de vida, compreendendo as etapas de projeto e produção do produto; *middle of life* (MOL), que compreende etapas de distribuição, uso, serviço e manutenção do produto; e *end of life* (EOL), que compreende a logística reversa, remanufatura, reuso, reciclagem e disposição de produto, seus componentes e materiais.

De acordo com Rogers e Tibben-Lembke (1998, tradução nossa), logística reversa é definida como:

“o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e as informações correspondentes do ponto de consumo ao ponto de origem, com a finalidade de recapturar valor ou eliminar adequadamente.”

Fleischmann et al. (2000), ainda define redes logísticas reversas como estruturas logísticas constituídas de locais físicos, instalações e redes de transporte, transferindo produtos pós-uso para o reuso em algumas aplicações adicionais, considerando que o reuso pode acontecer no nível de produtos, componentes ou materiais.

Acerca dessas definições, pressupõe-se que a logística reversa compreende várias atividades integradas que objetivam a criação de valor a partir da extensão do uso de vida ou o descarte apropriado de produtos, seus componentes e materiais. Nas seções abaixo, serão abordadas as características gerais de uma rede logística reversa, contemplando as atividades realizadas, a classificação e os tipos de rede logística reversa.



### 2.2.1 Características gerais de redes logísticas reversa

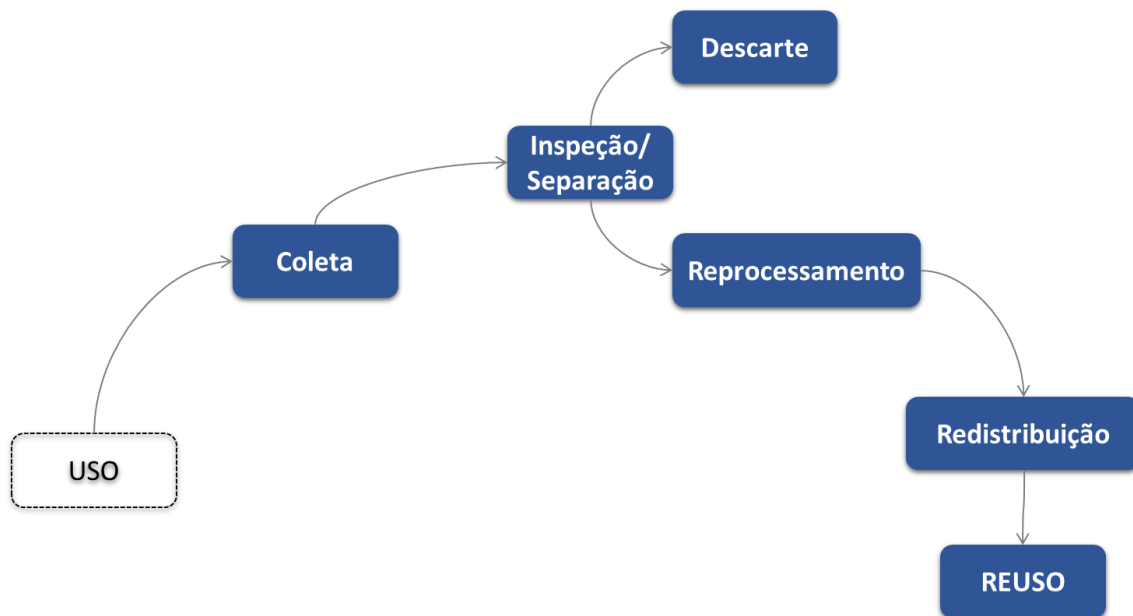
Cada produto pode apresentar diferentes opções de recuperação final, como por exemplo, reciclagem, reuso, remanufatura e descarte, dependendo do tipo de produto e das regulamentações de recuperação (JUN; KIRITSIS; XIROUCHAKIS, 2007). Desse modo, cada rede de logística reversa apresenta suas peculiaridades. No entanto, Fleischmann et al. (2000) pontua algumas etapas que são recorrentes em todas as redes de logística reversa:

- **Coleta:** refere-se à atividade de recolher todos os produtos pós-uso e movê-los fisicamente para algum ponto onde receberão tratamentos adicionais. Geralmente, a etapa de coleta envolve algumas atividades como compra, transporte e armazenamento;
- **Inspeção/Separação:** refere-se a todas as atividades que determinam se o produto pós-uso em questão pode ser reaproveitado, e de que maneira o reaproveitamento pode ser feito, ou seja, é a separação do fluxo de produto pós-uso de acordo com o reuso e opções de descarte. Geralmente, a etapa de inspeção e separação envolve atividades como desmontagem, moagem, testes, classificação e armazenamento;
- **Reprocessamento:** refere-se à transformação do produto pós-uso em um novo produto que pode ser usado novamente. O reprocessamento pode ocorrer de diferentes maneiras, como por exemplo, através da reciclagem, reparo e remanufatura. Geralmente, a etapa de reprocessamento envolve atividades como limpeza, troca de componentes e remontagem;
- **Descarte:** refere-se ao descarte de produtos que não podem mais ser reutilizados por motivos técnicos ou econômicos. Atividades como transporte, destino a aterros sanitários e incineração fazem parte da etapa de descarte;
- **Redistribuição:** refere-se à ação de direcionar os produtos reprocessados para potenciais mercados e, posteriormente, para futuros usuários. Atividades como transporte e armazenamento fazem parte desta etapa.

A Figura 4 traz um diagrama representativo das etapas comuns para a maioria das redes de logística reversa. A etapa do uso está representada de forma diferente, pois não é considerada uma etapa da rede logística reversa. Está

apenas indicada no diagrama a fim de mostrar qual a fonte de coleta para produtos pós-uso.

*Figura 4. Fluxograma das principais etapas de uma rede logística reversa.*



As atividades de cada uma das etapas de inspeção/separação, descarte e reprocessamento são diferentes de acordo com o peso, volume, fragilidade, toxicidade, valor econômico e obsolescência de cada produto. Consequentemente, as instalações em que cada uma destas etapas ocorre também serão diferentes (FLEISCHMANN et al., 2000).

### **2.2.2 Classificação das redes logísticas reversa**

Também de acordo com Fleischmann et al. (2000), a classificação das redes logísticas reversa ocorre em termos de grau de centralização, número de níveis, ligações com outras redes, tipo de ciclo (ciclo aberto ou fechado) e grau de cooperação de marcas.

O grau de centralização mede a integração horizontal, ou ainda, a amplitude da rede logística reversa; refere-se ao número de locais nos quais atividades iguais são realizadas. Por exemplo, em uma rede logística reversa centralizada, atividades similares são realizadas em um pequeno número de instalações (FLEISCHMANN et al., 2000).

Já o número de níveis mede a verticalidade, ou ainda, a profundidade da rede logística reversa. Este número refere-se ao número de instalações pelas quais o fluxo de produto, componentes e materiais passam ao longo da rede logística reversa. Em uma rede logística reversa considerada multinível, diferentes atividades são realizadas em diferentes instalações (FLEISCHMANN et al., 2000).

O grau de centralização e o número de níveis são diretamente influenciados pelo tipo de produto, sua complexidade, o tipo de reprocessamento escolhido para o produto e volume de produto a ser reprocessado. (FLEISCHMANN et al., 2000).

As ligações com outras redes definem o grau de interação da nova rede logística reversa com outros tipos de rede já existentes (FLEISCHMANN et al., 2000). Quanto ao tipo de ciclo, a rede logística reversa pode ser do tipo ciclo fechado ou ciclo aberto. Em uma rede de ciclo fechado, as fontes de produtos pós-uso e o mercado de reuso são coincidentes, então os produtos ciclaram na rede. Em contrapartida, em uma rede de ciclo aberto, o fluxo de produtos é de uma única direção, pois a fonte de uso é diferente do mercado de reuso (FLEISCHMANN et al., 2000).

Por último, o grau de cooperação de marcas refere-se às partes responsáveis envolvidas na implementação da rede logística reversa (FLEISCHMANN et al., 2000).

Dos pontos levantados acima, Fleischmann et al. (2000) classifica as redes logísticas reversas em três categorias:

- **Rede de reciclagem em massa (*Bulk recycling network*)**: refere-se às redes de recuperação de material a partir de produtos de baixo valor agregado, considerados produtos simples. Geralmente a área de reuso é diferente da área de uso original, caracterizando uma rede de ciclo aberto. Além disso, por serem produtos simples, a rede é centralizada com pouco número de níveis. Frequentemente, o volume de material a ser recuperado é alto, enquanto que o valor capturado por volume de material é muito baixo; assim, parcerias com

economias de escala se fazem necessárias, a fim de viabilizar economicamente este tipo de rede logística reversa;

- **Rede de manufatura e montagem de produto (*Assembly product remanufacturing network*):** refere-se à recuperação de um produto de alto valor agregado, sendo assim mais complexos em sua composição. Desse modo, o reprocessamento é, geralmente, realizado pelo fornecedor do produto, uma vez que é exigido alto conhecimento sobre o produto. Consequentemente, trata-se de uma rede de ciclo fechado, no qual o reuso e o uso original do produto coincidem. Devido a esses fatores, é muito comum estruturar uma rede deste tipo como uma extensão de uma rede logística já existente.

- **Rede de itens reutilizáveis (*Re-usable item networks*):** trata-se de uma rede logística reversa de itens diretamente reutilizáveis. Desse modo, trata-se de uma estrutura de rede logística reversa bem simples, na qual o reuso e uso original coincidem, sendo assim, um ciclo fechado. Desse modo, é comumente estruturada como a extensão de uma rede logística já existente. Além disso, é descentralizado, a fim de facilitar a coleta e transporte dos itens que serão reutilizados e é uma estrutura de apenas um nível.

Discutidas as principais atividades para a operacionalização da logística reversa e os diferentes tipos de tais redes, será apresentada a literatura de reciclagem de lâmpadas fluorescentes, relevante para o contexto da pesquisa.

## **2.3 Reciclagem de lâmpadas fluorescentes**

A reciclagem consiste na recuperação e reintrodução dos resíduos de produtos em novas cadeias produtivas, possibilitando que eles sejam transformados em produtos (RIZOS, TUOKKO, BEHRENS, 2017). As lâmpadas fluorescentes são constituídas de um tubo de vidro, preenchido de pó fosfórico e vapor de mercúrio, com dois eletrodos, compostos de tungstênio e aço inox, nas extremidades. Estes são separados em quatro grupos de materiais para posterior reciclagem: terminais metálicos, vidro, pó fosfórico contaminado com mercúrio e terminais eletrônicos (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008).

Existem cinco tecnologias disponíveis para a destinação e reciclagem destes materiais: moagem simples, trituração com tratamento químico, trituração com tratamento térmico, sopro e solidificação/encapsulamento (BACILA; FISCHER; KOLICHESKI, 2014). O Quadro 1 traz a explicação para cada tipo de tecnologia.

As tecnologias mais aceitas ambientalmente, e, portanto, as mais utilizadas no Brasil são a trituração com tratamento térmico e a trituração com tratamento químico, pois ambas possibilitam a recuperação do mercúrio para posterior reciclagem. No entanto, o tratamento químico além de ser mais complexo, gera efluentes que necessitam ser tratados de maneira adequada para serem descartados corretamente (DURÃO JÚNIOR; WINDMÖLLER, 2008).

*Quadro 1. Tecnologias para reciclagem de lâmpadas fluorescentes no Brasil.*

<b>Tecnologia</b>	<b>Detalhamento</b>
<b>Moagem Simples</b>	Ocorre o rompimento das lâmpadas e retenção de uma parcela de mercúrio através de um sistema de sucção. Desse modo, o mercúrio não é liberado na atmosfera. No entanto, não há separação de materiais e todos são destinados para aterro sanitário.
<b>Trituração com tratamento químico</b>	Ocorre em duas fases: esmagamento das lâmpadas e posterior retenção do mercúrio. Após o esmagamento é feita a lavagem do vidro e separação do pó fosfórico. O líquido residual de lavagem é tratado quimicamente, visando a separação do mercúrio.
<b>Trituração com tratamento térmico</b>	Ocorre em duas fases: esmagamento e destilação do mercúrio. Esta tecnologia possibilita a recuperação do mercúrio através do aquecimento da fração contendo pó fosfórico, vaporização do mercúrio e por fim, condensação do mercúrio.

**Sopro**

Esta tecnologia é aplicada apenas para lâmpadas fluorescentes tubulares. As extremidades das lâmpadas são rompidas através de aquecimento e resfriamento. Posteriormente, uma corrente de ar é soprada pelo tubo de vidro, retirando o pó fosfórico e mercúrio. Neste processo, o mercúrio não é removido totalmente.

**Solidificação/****Encapsulamento**

Ocorre o esmagamento e encapsulamento dos materiais restantes e posterior destinação aos aterros.

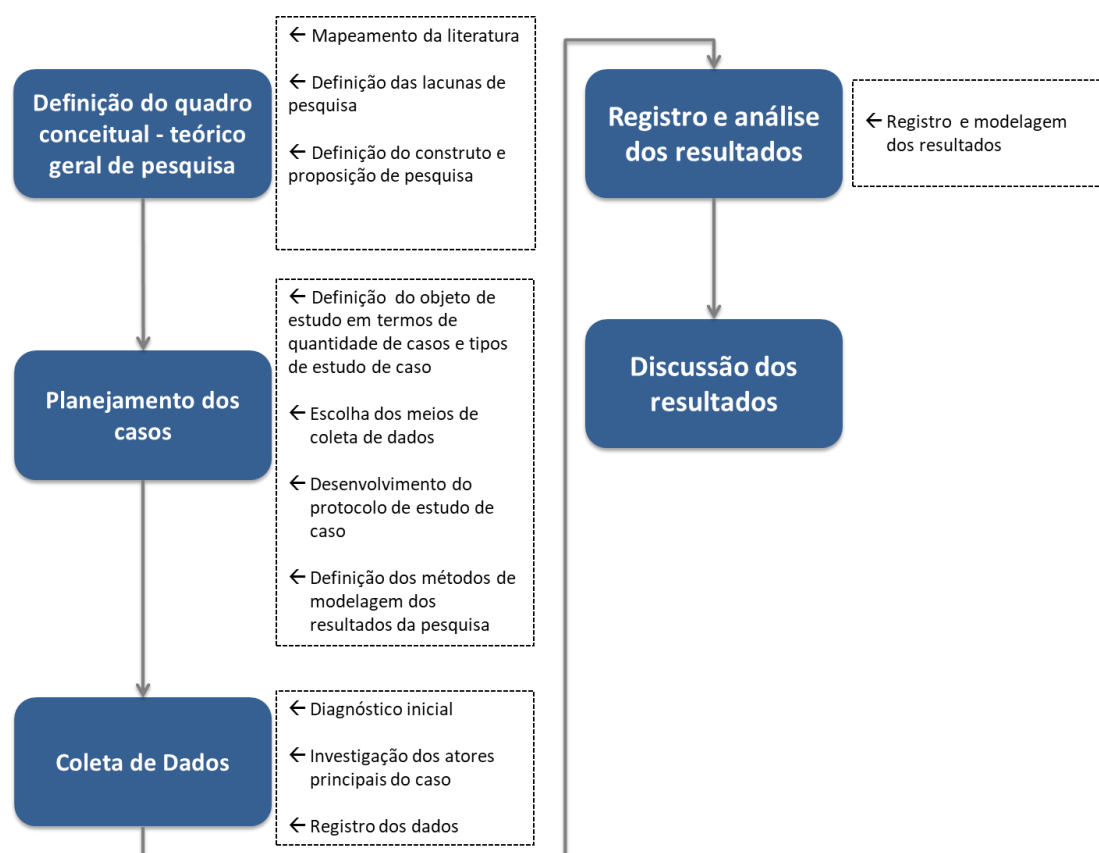
Acerca dos conceitos relevantes de economia circular, logística reversa e reciclagem de lâmpadas fluorescentes para o presente estudo, serão apresentados, na próxima seção, os métodos e procedimentos realizados durante a condução da pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

De modo a verificar uma rede logística de recuperação de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular, a pesquisa desenvolvida neste trabalho foi realizada por meio de estudo de caso.

O estudo de caso presente foi estruturado e conduzido com base nas diretrizes sugeridas em Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002) com apoio dos estudos de Cauchick (2007). De acordo com o autor, estudos de caso são considerados relevantes e eficientes meios para a construção, refinamento e verificação de teorias e fenômenos, uma vez que possibilita que questões como “o que, porque, como” sejam analisadas em um contexto de significância relevante para os fenômenos estudados (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). A Figura 5, adaptada de Cauchick (2007), mostra um diagrama que ilustra as etapas executadas na condução do presente estudo de caso.

*Figura 5. Diagrama das etapas realizadas na condução do estudo de caso.*



Primeiramente, durante a etapa de definição do quadro conceitual-teórico geral de pesquisa, foi elaborada uma revisão bibliográfica para a melhor compreensão de conceitos essenciais sobre economia circular, ciclo de vida de produtos, logística reversa e a interação entre estes tópicos. O quadro geral de pesquisa, de acordo com Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002), deve apresentar uma visão geral do que está sendo estudado, os principais fatores e as relações entre eles a fim de levantar as principais variáveis que devem ser consideradas na condução do estudo (VOSS; TSIKRIKTSIS; FORHLICH, 2002). Desse modo, a revisão bibliográfica deu suporte para a identificação de lacunas de pesquisa a fim de justificar o propósito do presente estudo, como também para a definição do construto, ou seja, o conceito ou fenômeno da literatura a ser verificado.

No presente trabalho, optou-se pelo estudo de caso único, uma vez que este oferece possibilidade de maior aprofundamento da investigação (VOSS; TSIKRIKTSIS; FORHLICH, 2002). Assim, o objeto de estudo selecionado para a realização da presente pesquisa foi uma rede logística de recuperação de lâmpadas fluorescentes de uma empresa varejista do ramo da construção, a qual será nomeada como Empresa A, em parceria com uma empresa de gestão sustentável de lâmpadas, que será nomeada como empresa B.

A utilização de um caso único para o objetivo desta pesquisa pode ainda ser justificada pelo fato da Empresa A ser a única rede de varejo que possui pontos de entrega voluntária (PEV) de resíduos em todas as suas lojas no Brasil, totalizando 41 PEV's. Portanto, é um sistema de logística reversa de grande amplitude e significância no cenário brasileiro.

Para a construção do protocolo de pesquisa, foram levados em consideração todos os procedimentos, tipos de coletas de dados e instrumentos utilizados durante a pesquisa, segundo diretrizes de Voss, Tsikriktsis e Frohlich (2002). Como meios de coleta de dados, foram adotados dois níveis de profundidade de investigação. A primeira coleta consistiu no diagnóstico inicial do objeto de estudo e a segunda coleta consistiu na investigação in situ dos principais stakeholders do objeto de estudo.



Para a etapa de investigação inicial, documentos relevantes das empresas A e B foram consultados. Já para a coleta de dados na etapa de investigação *in situ* dos principais *stakeholders*, foram realizadas visitas nas instalações das empresas A e B com a condução de entrevistas baseadas em questionários de perguntas abertas (os pontos para observação e entrevistas para cada uma das organizações estão apresentados nos Apêndices A e B). Ambos foram estruturados com base nos artigos de Fleischmann et al. (2000) e Trevisan, Costa e Costa (2017). Os estudos de Fleischmann et al. (2000) mostram as principais etapas e características de uma rede logística de recuperação de produtos, componentes e materiais, como também pontua algumas diferenças entre elas, estabelecendo três tipos possíveis de logística reversa. De forma complementar, as pesquisas de Trevisan, Costa e Costa (2017) mapeiam as atividades realizadas pelos *stakeholders* envolvidos na rede de logística reversa, através de um estudo de caso de uma empresa que fabrica e comercializa dispositivos médicos.

Na etapa de coleta de dados, as empresas A e B foram contatadas, visitadas e todos os dados colhidos foram registrados na forma de texto. Posteriormente, discussões sobre o material coletado foram conduzidas com o restante da equipe envolvida na pesquisa.

A modelagem dos resultados encontrados através do protocolo deu-se pela elaboração de dois diagramas. O primeiro diagrama, o mapa de *stakeholders*, teve inspiração nos estudos de Trevisan, Costa e Costa (2017), e o segundo diagrama, o mapa de processos, foi de criação do autor da presente pesquisa, com inspiração no diagrama dos princípios da economia circular, presente nos estudos de Ellen McArthur Foundation (2015a).

De posse do mapeamento da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes, foi realizada a verificação desta rede como uma solução circular através da análise das ações da estrutura ReSOLVE (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b) dentro da rede logística reversa. Para a realização dessa verificação, as ações da estrutura ReSOLVE foram analisadas em uma escala de quatro níveis de execução:

- ✓ 0: ação não é executada
- ✓ 1: a ação é superficialmente executada
- ✓ 2: a ação é executada
- ✓ 3: a ação é fortemente executada

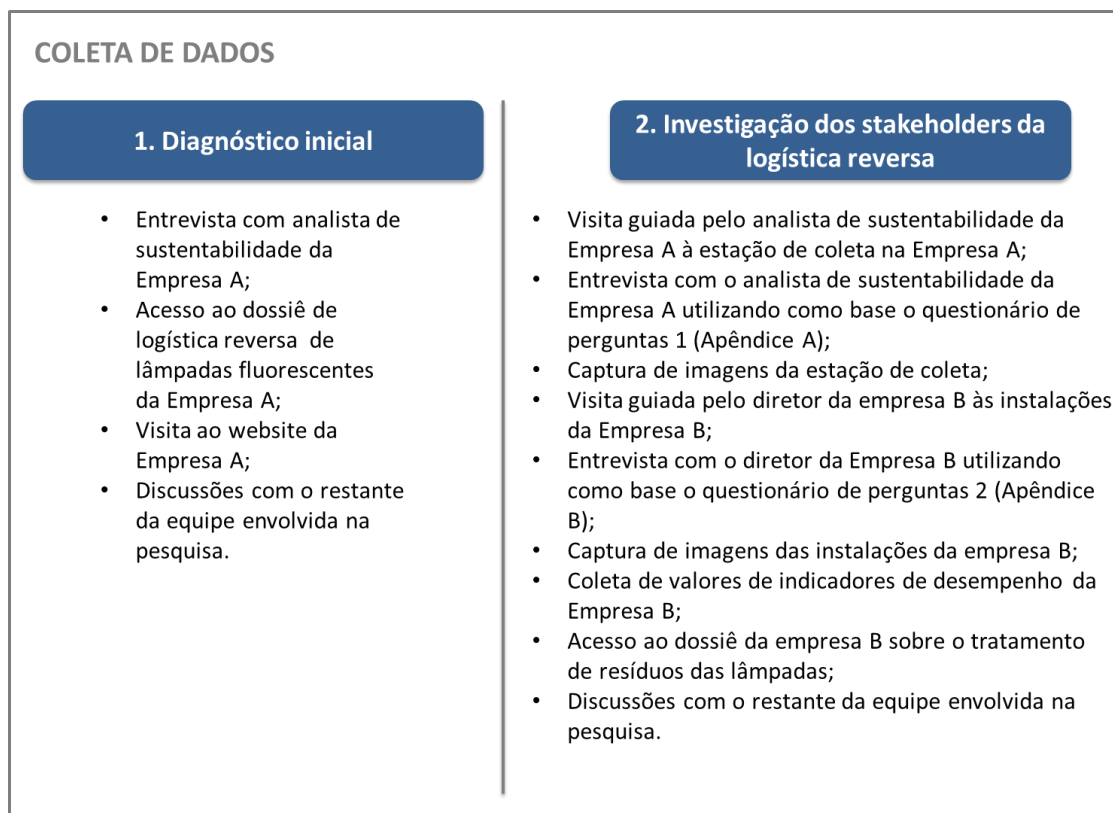
A partir desta análise, foi elaborado um gráfico de radar, o qual ilustra quais as ações da estrutura ReSOLVE estão sendo executadas e qual a força de cada uma delas na rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Mapeamento da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes, seus *stakeholders* e processos

Na condução da pesquisa, primeiramente foi realizada a etapa de coleta de dados. A Figura 6 traz a representação detalhada dos dois passos executados nessa etapa e apresenta a lista de instrumentos utilizados durante essa primeira fase.

*Figura 6. Diagrama apresentando detalhes das etapas de coleta de dados.*

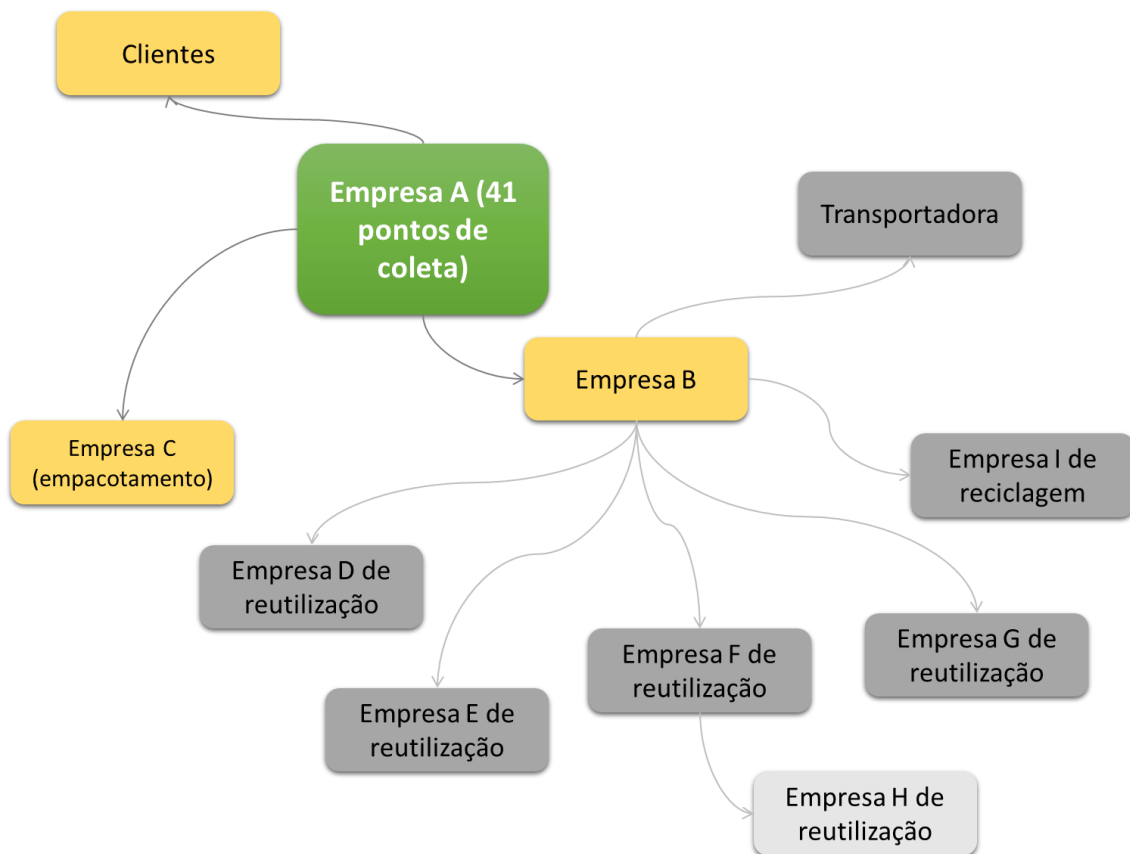


Para o início do desenvolvimento de pesquisa, foi executado o passo 1. Diagnóstico inicial. Para isso foi realizada uma entrevista com a analista de sustentabilidade da Empresa A, a qual possibilitou o acesso ao dossiê de logística reversa de lâmpadas fluorescentes pela pesquisadora. Como resultado, foi possível a construção da visão geral do processo de logística reversa, identificando os principais *stakeholders*, suas principais atividades e as interações entre elas. Além disso, foi analisado o website da Empresa A, que

trazia uma página divulgando a logística reversa de lâmpadas. Nessa página estão disponíveis comentários de clientes sobre o funcionamento desta logística, os quais serviram como base para detecção de algumas limitações do processo e algumas questões do questionário 1. Dessa forma foi concluído o passo de diagnóstico inicial da coleta de dados.

A partir do diagnóstico inicial foi possível realizar a estruturação do mapa de *stakeholders* envolvidos na rede de logística reversa abordada nesse estudo (Figura 7). A seguir seguem as responsabilidades de cada um deles na rede logística reversa abordada nesse estudo.

*Figura 7. Mapa de stakeholders da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes.*



- **Clientes:** maiores responsáveis pelo depósito de lâmpadas fluorescentes pós uso nas estações de coleta;

- **Empresa A:** também é responsável pelo depósito de lâmpadas fluorescentes pós uso nas estações de coleta. É o principal responsável pela coleta das lâmpadas fluorescentes pós uso, possuindo estações de coleta em todas as

suas 41 unidades de loja espalhadas pelo Brasil. Ainda, tem responsabilidade compartilhada pelo transporte, da Empresa A para a Empresa B, das lâmpadas pós uso coletadas;

- **Empresa B:** localizada em Osasco, São Paulo. É responsável pelo tratamento e reprocessamento das partes das lâmpadas coletadas, como também pela redistribuição dos subprodutos gerados por este processo para as demais cadeias produtivas. Além disso, tem responsabilidade compartilhada pelo transporte, da Empresa A para a Empresa B, das lâmpadas pós uso coletadas;

- **Empresa C:** empresa terceirizada pela Empresa A. Responsável pela separação das lâmpadas coletadas e empacotamento das mesmas para o transporte;

- **Transportadora:** empresa homologada pela Empresa B. Realiza o transporte, da Empresa A para a Empresa B, das lâmpadas coletadas pós uso Nordeste;

- **Empresa I:** responsável pela reciclagem das caixas de papelão utilizadas no transporte das lâmpadas coletadas pós uso;

As empresas D, E, F, G e H são empresas responsáveis pela reincorporação dos subprodutos gerados pelo tratamento dos resíduos das lâmpadas coletadas. Abaixo segue os subprodutos reutilizados por cada uma das empresas:

- **Empresa D:** responsável pela reutilização do vidro;

- **Empresa E:** responsável pela reutilização das ponteiros metálicas;

- **Empresa F:** responsável pelo reprocessamento das ponteiros eletrônicas;

- **Empresa H:** localizada na Bélgica, é responsável pela reutilização dos terminais eletrônicos gerados pela Empresa F;

- **Empresa G:** localizada na Suíça, é responsável pela reutilização do pó fosfórico.

As diferentes cores para os quadros do diagrama da Figura 7 indicam os diferentes níveis de interação entre os *stakeholders*. Os quadros na cor

amarela sinalizam os *stakeholders* que apresentam interação direta com a Empresa A; os quadros em cinza escuro sinalizam as empresas que tem interação direta com a Empresa B e indireta com a Empresa A. O único quadro na cor cinza claro tem interação direta apenas com a Empresa F e interação indireta com as Empresa A e B.

Acerca do mapeamento de stakeholders (Figura 7), também é possível a verificação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de produtos estabelecida pela PNRS (BRASIL, 2010), principalmente para os Clientes e a Empresa A, que é importadora e comerciante de lâmpadas fluorescentes, pois são os atores diretamente ligados ao consumo de lâmpadas fluorescentes. De acordo com Brasil (2010) fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos na logística reversa devem compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida de produtos. Portanto, cada stakeholder, exercendo sua responsabilidade, contribui para a redução na geração de resíduos sólidos e rejeitos sólidos durante o ciclo de vida de lâmpadas fluorescentes.

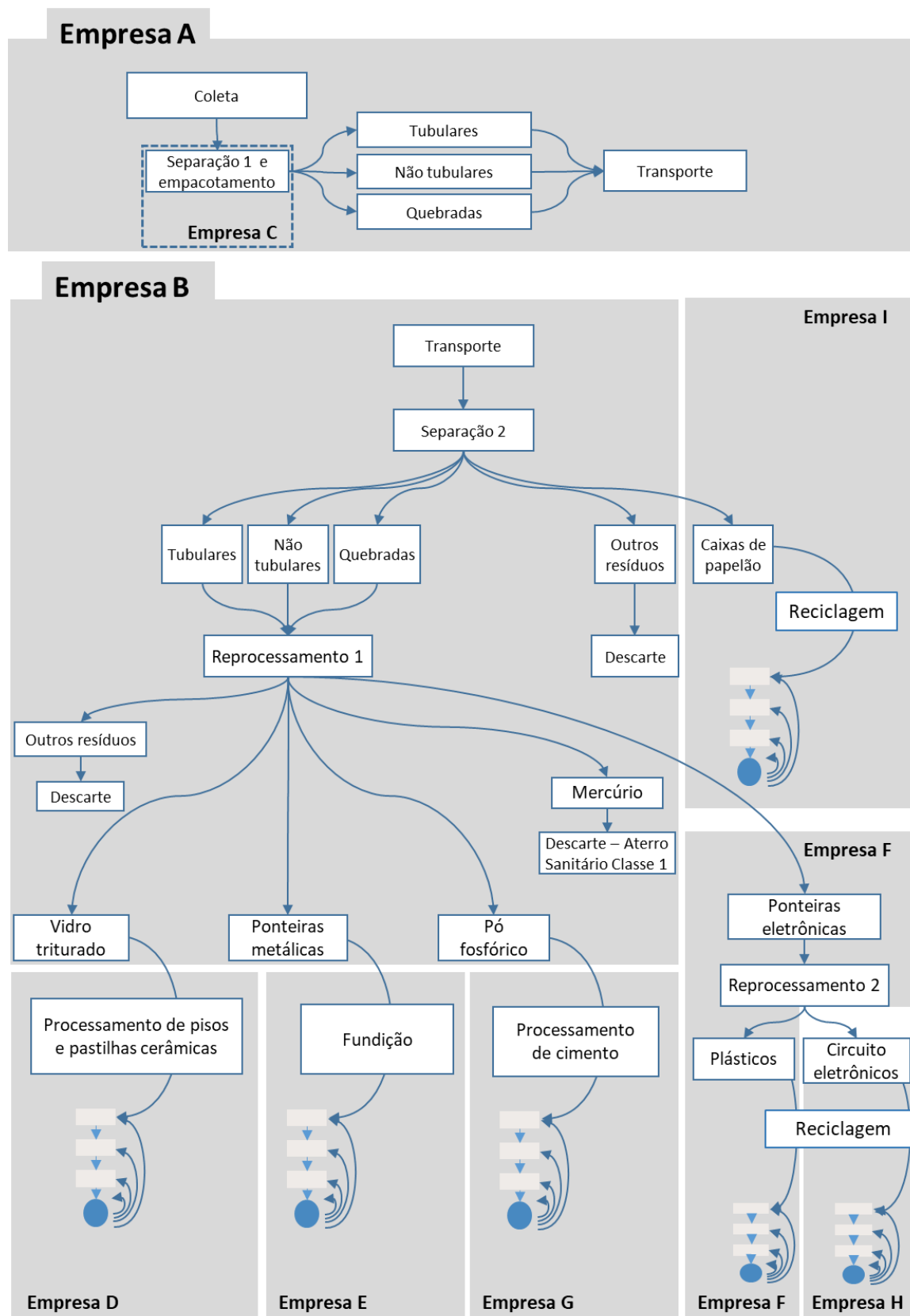
Após o diagnóstico inicial, foi iniciada a etapa de investigação dos principais stakeholders da rede logística reversa. A primeira visita foi realizada nas instalações da Empresa A, localizada em Interlagos, São Paulo. Esta visita foi guiada por um segundo analista de sustentabilidade da regional de São Paulo da Empresa A. Durante a visita foram possíveis a captura de imagens e a realização do questionário de perguntas 1, com questões específicas para aquele processo e instalação de domínio da Empresa A. Desse modo, foi possível entender as atividades sob domínio da Empresa A e os detalhes das mesmas, destacando seus *inputs* e *outputs*. Após esta visita, ocorreram discussões com os outros membros envolvidos na pesquisa, resultando na consolidação das informações obtidas e entendimento do valor gerado pelas atividades da Empresa A.

Na sequência, foi realizada uma visita na Empresa B, situada na cidade de Osasco, no estado de São Paulo. A visita foi guiada pelo diretor da empresa e grande conhecedor do processo de tratamento dos resíduos de lâmpadas

fluorescentes. Durante a visita foi realizada uma entrevista, utilizando como base o questionário de perguntas 2, o qual tornou possível a delimitação e aprofundamento no conhecimento de todas as etapas e atividades envolvidas no tratamento dos resíduos das lâmpadas sob o domínio da Empresa B. Além disso, houve a coleta de imagens e de valores de indicadores de desempenho do processo, assim como o acesso ao dossiê interno de gestão de resíduos das lâmpadas fluorescentes. Após esta visita, também ocorreu uma discussão com os outros membros envolvidos na pesquisa, o que possibilitou a caracterização do processo realizado pela Empresa B, as interações deste stakeholder com os demais, e os valores gerados por essa etapa.

Ao fim das duas visitas e entrevistas, o protocolo de pesquisa foi totalmente esgotado, resultando no completo entendimento da rede de logística reversa de lâmpadas fluorescentes explorada no presente estudo. A Figura 8 traz o mapa de processos e atividades, que ilustra o fluxo de lâmpadas pós uso coletadas, seus componentes e materiais através da rede logística reversa. Neste digrama estão representadas as empresas, os processos realizados por cada uma delas, os *inputs* e *outputs*.

Figura 8. Mapa de processos da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes.





O fluxo das lâmpadas fluorescentes pós uso tem início com a etapa de coleta. Os clientes depositam as lâmpadas pós uso nas estações de coleta da Empresa A; apenas pessoa física pode fazer o depósito de lâmpadas nas estações de coleta, com exceção da própria Empresa A, que deposita as lâmpadas pós uso das suas lojas e demais instalações.

A próxima etapa, nomeada de Separação 1 e Empacotamento (Figura 8), é realizada pela Empresa C, a qual tem o conhecimento e equipamentos necessários para a realização de tal atividade. Primeiramente, as lâmpadas depositadas nas estações de coleta são separadas em três categorias: tubulares, não tubulares e quebradas. São utilizadas caixas de papelão específica para este processo, homologadas pela Agência Nacional Transporte Terrestre (ANTT). As lâmpadas tubulares são alocadas nas caixas FAB 3 e as lâmpadas quebradas e não tubulares são alocadas nas caixas FAB 2.

Após o empacotamento das lâmpadas, as caixas são paletizadas em pallets descartáveis. O empilhamento máximo de caixas deve ser de 5 caixas para evitar quebras. Após isso, é passado um filme plástico em torno das caixas e pallets. Assim, os pallets estão prontos para serem transportados da Empresa A para a Empresa B.

O transporte é realizado pela Empresa A e pela Empresa B. Nas lojas situadas na grande São Paulo, o transporte é executado apenas por caminhões da Empresa B, e ocorre diretamente das lojas da Empresa A para a instalação da Empresa B.

Nas lojas situadas nas demais regionais (Interior de São Paulo, Sul, Centro Oeste e Norte), a atividade é feita em duas fases: primeiramente, os pallets são levados até o centro de distribuição (CD) da Empresa A, situado em Cajamar, utilizando caminhões próprios; posteriormente, utilizando caminhões próprios, a Empresa B, faz o transporte dos pallets do CD de Cajamar para a instalação da Empresa B. No transporte envolvendo o CD de Cajamar, há uma otimização da redução de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) emitido pelo uso de automóveis. Os caminhões que voltariam vazios das lojas após a realização de entrega de produtos, agora voltam para o CD carregados de pallets com caixas de lâmpadas coletadas pós uso.

No Nordeste, o transporte dos pallets ocorre diretamente das lojas da Empresa A para a instalação da Empresa B, pela Transportadora homologada pela Empresa B.

As lâmpadas que chegam na Empresa B, após serem despaletizadas e desempacotadas, passam por mais um processo de separação. Esse processo, denominado Separação 2 na Figura 8, objetiva a separação das lâmpadas novamente nas três categorias, como também a separação das lâmpadas de resíduos como poeira, papel, entre outros. Os outputs dessa etapa são: lâmpadas quebradas, lâmpadas tubulares, lâmpadas não tubulares, outros resíduos e caixas de papelão. Nas salas em que ocorre esta etapa de separação existem dutos de ar e filtro, os quais captam o ar que possa estar contaminado com vapor de mercúrio advindo das lâmpadas fluorescentes, e tratam esse ar antes de retorná-lo para a atmosfera.

As caixas de papelão são enviadas pela Empresa B para a Empresa I, a qual realizará a reciclagem das caixas de papelão. Os demais resíduos são descartados no lixo comum.

As lâmpadas separadas passam pela etapa de Reprocessamento 1, a qual é o processo de reciclagem das lâmpadas e consiste em duas etapas: esmagamento das lâmpadas e tratamento térmico. As máquinas realizam o esmagamento das lâmpadas, e através de um sistema de separadores gravimétricos e eletromagnéticos, o vidro, as ponteiros metálicas e as ponteiros eletrônicas são separadas. O pó fosfórico, contendo particulados e vapor de mercúrio, é coletado em um filtro de ar com pó de carvão. No interior deste filtro de ar, o pó fosfórico é aquecido a altas temperaturas e há a separação do vapor de mercúrio presente no pó fosfórico. O pó fosfórico é então coletado e armazenado. O vapor de mercúrio que ainda continua no filtro de ar é então neutralizado a partir da interação com o pó de carvão. Este pó de carvão é trocado de 4 em 4 anos, quando já está saturado e não realiza mais a neutralização do mercúrio. Esse pó de carvão que é retirado é destinado a um aterro Classe 1 (descarte de resíduos industriais perigosos). Ainda, qualquer outro resíduo comum gerado durante a etapa de Reprocessamento 1, como

por exemplo, pedaços de papel, pedaços de plástico e poeira, são destinados ao lixo comum.

Desse modo, ao final da etapa de Reprocessamento 1, são obtidos como subprodutos: vidro triturado, ponteiros metálicos, ponteiros eletrônicos e pó fosfórico.

O vidro triturado é reincorporado na cadeia de pisos e pastilhas cerâmicas pela Empresa D; as ponteiros metálicos são reincorporados na cadeia produtiva como matéria-prima, após passarem pelo processo de fundição, realizada pela Empresa E; o pó fosfórico é reincorporado na cadeia de processamento de cimento, pela Empresa G.

As ponteiros eletrônicos ainda passam por mais uma etapa de reprocessamento, identificada como Reprocessamento 2, na Figura 8, executada pela Empresa F. A empresa F faz uma separação das ponteiros eletrônicos em partes plásticas e circuitos eletrônicos. As partes plásticas são recicladas pela própria Empresa F, e os circuitos eletrônicos são reciclados pela Empresa H.

Foram coletados da empresa B indicadores de desempenho de processo (Apêndice C), os quais correspondem a quantidade de lâmpadas tubulares e quantidade de lâmpadas não tubulares, coletadas pela Empresa A nas 41 lojas, que entram no processo e a quantidade de subprodutos que saem do processo, tomando como referência os anos de 2014, 2015 e 2016.

Atualmente, a gestão da logística reversa está sendo gradualmente transferida do domínio da Empresa A para o domínio de uma organização sem fins lucrativos estabelecida pelo Governo Brasileiro, formada pelos principais produtores e importadores de lâmpadas fluorescentes. No entanto, não há mudanças quanto as empresas atores do processo e nem quanto às atividades do processo.

Comparando a logística reversa de lâmpadas fluorescentes executada pela Empresa A com os casos estudados em Fleischmann et al. (2000), pode-se notar que é um processo descentralizado, pois atividades similares, como por exemplo a Separação e o Reprocessamento de produto e material, estão

estabelecidas em mais de uma instalação (Figura 8). Além disso, é um processo executado em vários níveis, uma vez que a recuperação das lâmpadas fluorescentes exige diferentes atividades, que por sua vez são realizadas por diferentes Empresas e em diferentes instalações. Por exemplo, a coleta é realizada pela Empresa A, enquanto que a descontaminação é realizada pela Empresa B, e a reincorporação dos subprodutos gerados ocorre por meio de mais quatro empresas diferentes. Assim, nota-se que integração horizontal e vertical na rede do fluxo logístico de recuperação de lâmpadas é alto, o que também leva a um alto grau de cooperação entre as partes que a compõe. Ainda, trata-se de uma rede logística reversa de ciclo aberto (*open-loop*), pois o mercado de descarte pós uso não é o mesmo mercado de reuso do novo material; como mostrado acima, as lâmpadas são desmontadas e então as partes são reincorporadas em novas cadeias produtivas.

Assim, pode-se inferir, que o modelo de logística reversa estudado na presente pesquisa é um modelo em cascata de geração de valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b; MORENO et al., 2016), uma vez que apresenta a reciclagem como método de reprocessamento das lâmpadas fluorescentes pós uso, possibilitando a diversificação do uso do componente e material ao longo da cadeia. Os componentes e materiais tratados, após a reciclagem das lâmpadas, podem entrar em diferentes cadeias produtivas substituindo em cada uma delas a entrada de materiais virgens no fluxo produtivo. Assim, gera-se valor a partir do reuso de resíduos, como também a partir da redução de extração de matérias-primas virgens.

#### **4.2 Verificação da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes como uma solução circular através da estrutura ReSOLVE**

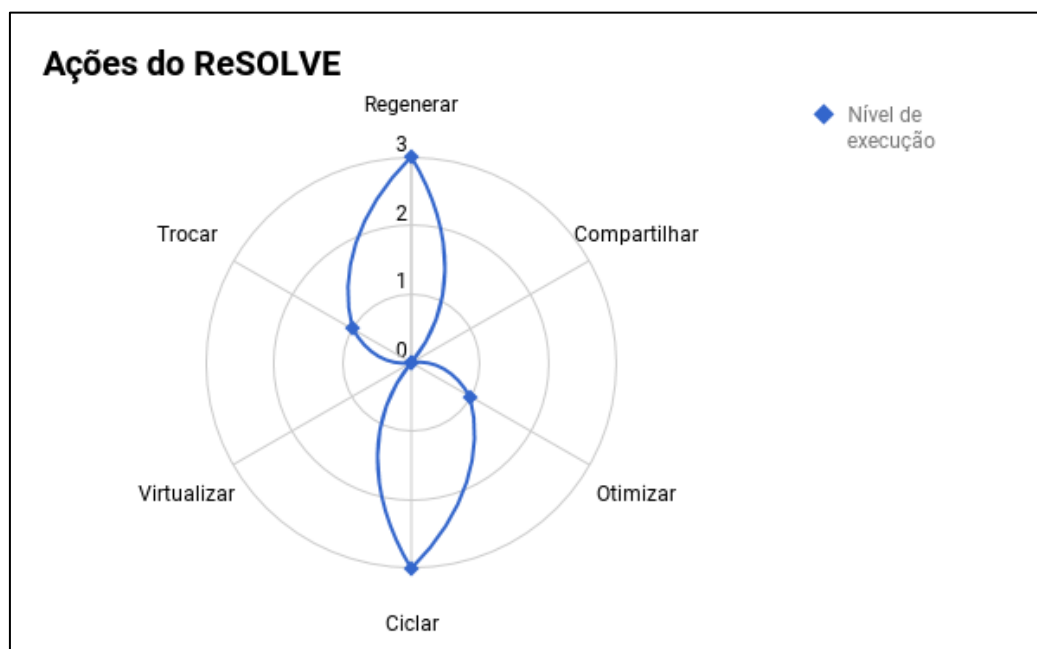
Na *Figura 9*, o gráfico radar mostra o nível de atuação da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes em cada ação da Estrutura ReSOLVE (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b), detalhadas na seção 2.1.3. Retomando os níveis de atuação, são eles:

- ✓ 0: não executa a ação;
- ✓ 1: a ação é superficialmente executada;

- ✓ 2: a ação é executada;
- ✓ 3: a ação é fortemente executada.

A primeira ação pontuada por Ellen MacArthur Foundation (2015b) na estrutura ReSOLVE, é a ação de regenerar. O gráfico (Figura 9), apresenta que a rede logística reversa executa essa ação fortemente. Esta atribuição pode ser justificada pelo fato da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes ser criada, principalmente, para reduzir a quantidade de mercúrio descartada incorretamente no meio ambiente, evitando assim, a contaminação de rios, solos e ar, como também, por gerar subprodutos tratados que possam ser reincorporados como matéria-prima em outras cadeias produtivas, reduzindo assim a extração de matérias-primas virgens. Ainda, pode ser citado o tratamento de ar contaminado com mercúrio antes desse ser devolvido a atmosfera, durante o processo de Separação 2 (Figura 8), como forma de devolver recursos biológicos tratados à biosfera.

*Figura 9. Gráfico dos níveis de execução para cada ação da estrutura ReSOLVE quando analisadas dentro da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes.*



Desse modo, é coerente afirmar que a rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes executa fortemente a regeneração da saúde dos ecossistemas,

como sugerido por Ellen MacArthur Foundation (2015b), principalmente por gerar valor a partir do fornecimento de materiais completamente reciclados que podem substituir matérias-primas virgens em novos processos (MORENO et al., 2016).

A segunda ação que é executada fortemente pela rede logística reversa estudada nessa pesquisa é a ação do ciclar. De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2015b), uma das atividades que promove o ciclar de produtos, componentes e materiais é a reciclagem. Como citado anteriormente, o Reprocessamento 1 (Figura 8) trata-se de um processo de reciclagem, gerando subprodutos que serão utilizados em outras cadeias. Além disso, as ponteiras eletrônicas geradas desse Reprocessamento 1 passam por mais um outro Reprocessamento 2 (Figura 8) e posterior reciclagem, gerando mais subprodutos que serão reincorporados em novas cadeias. Consequentemente, a rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes exerce fortemente a ação do ciclar, uma vez que gera valor através da extensão do tempo de vida dos componentes e materiais das lâmpadas pós uso a partir da reciclagem (Moreno et al. 2016).

Para as ações otimizar e trocar, foi atribuído à rede logística reversa o nível 1 de execução (Figura 9). Pode-se notar a otimização no processo quando se toma o Transporte (Figura 8) para análise, uma vez que a quantidade de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) que está sendo emitida pelos caminhões é reduzida, para o transporte de lâmpadas envolvendo o CD de Cajamar. No entanto, trata-se de uma atividade pontual em um projeto de recuperação de produtos de enorme grandeza, sendo caracterizada então como uma ação superficialmente executada.

Atualmente, a otimização em termos de produto já vem ocorrendo com a fabricação e inserção dos *Light Emitting Diodes* no mercado, ou lâmpadas LED, como comumente são conhecidas. As lâmpadas LED são mais eficientes do ponto de vista energético e ainda não apresentam mercúrio em sua composição. No entanto, sua popularização ainda está ocorrendo no Brasil, e seu custo é mais elevado do que as outras lâmpadas presentes no mercado (INMETRO, 2016).

Ainda, a fim de otimizar o processo, o programa de logística reversa poderia ser mais divulgado pela empresa varejista. A divulgação atual é feita apenas no site e nas lojas físicas. A comunicação poderia ser mais explorada em mídias sociais, como *Facebook* e *Instagram*, por exemplo, a fim de popularizar ainda mais o serviço prestado.

Na análise da ação trocar, a única ação viabilizadora que pode ser identificada na rede logística reversa é a aplicação de novas tecnologias, como a tecnologia utilizada para tratamento de mercúrio durante o processo de reciclagem das lâmpadas.

Já para as ações compartilhar e virtualizar, não foram identificadas nenhuma ação viabilizadora ao longo da rede logística reversa. Consequentemente, foi atribuído nível 0 de execução para estas duas ações (Figura 9).

A ação compartilhar poderia ser atualmente mais explorada pela servitização, tendência global de modelo de negócio, no qual a venda tradicional de produtos é substituída pela manutenção dos produtos. Neste tipo de oferta de valor, as indústrias são possuidoras dos produtos e prestam serviços de manutenção garantindo seu funcionamento, enquanto que os clientes pagam por usufruir das funções destes produtos (ZAPAROLLI, 2017). No caso de lâmpadas fluorescentes, o grande ganho com a servitização seria o maior interesse da empresa que oferta o serviço de que as lâmpadas sejam projetadas para durar mais, além de oportunidades ligadas à otimização da rede logística reversa.

Atualmente, por falta de informação ou de interesse, muitos usuários finais acabam por não realizar o descarte correto em estações de coleta, acabando por descartarem em lixos comuns. No sistema de servitização, os próprios fabricantes ou importadores de lâmpadas fluorescentes que seriam responsáveis e interessados por coletar as lâmpadas no fim de sua vida útil. Desse modo, a geração de valor ao longo do ciclo de vida das lâmpadas fluorescentes aumentaria, através do aumento de lâmpadas recicladas, aumento na quantidade de subprodutos gerados para reutilização, diminuição na quantidade de matérias-primas virgens extraídas da natureza e diminuição de externalidades negativas associadas ao descarte incorreto de mercúrio.

## 5 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, foram realizadas a revisão bibliográfica, a fim de proporcionar base conceitual para a pesquisadora e leitor acerca de economia circular, logística reversa e reciclagem de lâmpadas fluorescentes. Após isso, foi realizada a etapa de coleta de dados, dividida em duas fases: diagnóstico inicial da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes e investigação dos stakeholders da mesma rede logística reversa.

Como resultados dos dados coletados, foram modelados dois mapas. O primeiro foi o mapa de stakeholders da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes, o qual estabelece as responsabilidades que cada stakeholder assume na rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes. O segundo mapa, o mapa de processos da rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes, mostra as atividades realizadas por cada empresa, os inputs e outputs dessas atividades, os reprocessamentos pelos quais as lâmpadas fluorescentes passam, assim como as cadeias que os subprodutos gerados são reincorporados.

A fim de verificar a rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes com origem no varejo como uma solução circular, foi feita uma análise da estrutura ReSOLVE, avaliando qual o nível de execução de cada uma das seis ações dentro da rede logística reversa abordada no presente estudo. Verificou-se que a rede logística reversa executa fortemente as ações regenerar e ciclar, por se tratar de uma rede que visa a reciclagem das lâmpadas fluorescentes, possibilitando a reintrodução dos seus componentes e materiais nas cadeia produtivas, regenerando a saúde dos ecossistemas. As ações otimizar e trocar são superficialmente executadas, uma vez que a otimização ocorre pontualmente na etapa de transporte com a redução de CO<sub>2</sub> emitido, e a troca ocorre apenas em relação à tecnologia utilizada no reprocessamento de lâmpadas. Por outro lado, as ações compartilhar e trocar não são executadas em nenhum nível.

Assim, pode-se concluir que a rede de logística reversa de lâmpadas estudada na presente pesquisa pode ser considerada como uma solução circular, uma



vez que atende, em diferentes níveis, quatro ações da estrutura ReSOLVE. Todas as ações realizadas contribuem para a manutenção dos componentes e materiais do produto no seu mais alto nível de utilidade o maior tempo possível durante seu ciclo de vida, como é proposto por Ellen MacArthur Foundation (2015a). Os impactos gerados são positivos, uma vez que é criado valor a partir da reciclagem das lâmpadas fluorescentes, e os impactos negativos são minimizados, uma vez que a grande problemática do descarte incorreto de mercúrio é parcialmente solucionada.

Desse modo, o meio ambiente, a sociedade e as empresas, diretamente e indiretamente ligadas com as lâmpadas fluorescentes, são beneficiadas pela rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes.

No entanto, ainda existem ações que podem ser futuramente exploradas a fim de contribuir para o aumento da geração de valor no ciclo de vida das lâmpadas. A inserção das lâmpadas LED como substitutas de lâmpadas fluorescentes e o suporte para o desenvolvimento da servitização de lâmpadas fluorescentes eliminariam a necessidade de tratamento do mercúrio proveniente de lâmpadas e suas consequentes externalidades negativas. Ainda assim, é necessário considerar que as lâmpadas LED também têm vida útil finita e devem ser coletadas e recicladas. Esta pesquisa pode ajudar a estruturar a rede logística reversa deste tipo de lâmpada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACILA, D. M.; FISCHER, K.; KOLICHESKI, M. B. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 21-30, 2014. Edição Especial.

BOCKEN, N. M. P.; SHORT, S. W.; RANA, P.; EVANS. S. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 42-56, 2014.

BOCKEN, N.M. P.; DE PAUW, I.; BAKKER, C.; VAN DER GRINTEN, B. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, vol. 35, v. 5, p. 308-320, 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; Altera a lei nº 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e dá outras providências. D.O.U. de 03 Ago. 2010, p. 2.

CAUCHICK, P. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, vol. 17, v. 1, p. 216-229, 2007.

DURÃO JÚNIOR, W. A.; WINDMÖLLER, C. C. A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes. **Revista Química Nova Escola**, n. 28, p. 15-19, 2008.

ELLEN MC ARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition, 2012. Disponível em < <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 02 de Outubro de 2017.

ELLEN MC ARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy Vol. 3: accelerating the scale-up across global supply chains, 2014. Disponível em < <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-3-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains>>. Acesso em: 21 de Outubro de 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition, Dez. 2015a. Disponível em <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 19 de Setembro de 2017

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe, Jul. 2015b. Disponível em <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/growth-within-a-circular-economy-vision-for-a-competitive-europe>> . Acesso em: 06 de Outubro de 2017.

FLEISCHMANN, M.; KRIKKE H. R.; DEKKER, R.; FLAPPER, S. D. P. A characterization of logistics networks for product recovery. **The International Journal of Management Science**, v. 20, p. 653-666, 2000.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 3, p. 603-626, 2015.

INMETRO. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Lâmpada LED**. 2016.

JUN, H. B.; KIRITSIS, D.; XIROUCHAKIS, P. Research issues on closed-loop PLM. **Computers in Industry**, v. 58, n. 8-9, p. 855-868, 2007.

LACY, L.; RUTQVIST, J. Waste to wealth: The circular economy advantage. United Kingdom: 2015.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36-51, 2016.

LEITE, P. R. Logística reversa: categorias e práticas empresariais em programas implementados no Brasil - um ensaio de categorização.

MORENO, M.; DE LOS RIOS, C.; ROWE, Z.; CHAMLEY, F. A Conceptual Framework for Circular Design. **Sustainability**, v. 937, n. 8, 2016.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**. University of Nevada. Center for Logistics Management, 1998.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v.17, p.48-56, 2016.

TREVISAN, A.H.; COSTA, D. G.; COSTA, J. M. H.. Operacionalização da Logística Reversa em Soluções Circulares: Mapeamento das Responsabilidades dos Stakeholders. In: **11º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto**, 2017, São Paulo.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**. V. 22, n. 2, p. 195-219, 2002. .

ZAPAROLLI, D. Paque pelo usufruto. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, v. 259, p. 78-72, set. 2017. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/>>. Acesso em: 01 Nov. de 2017.

**APÊNDICE A – Entendimento do processo da logística reversa da Empresa A**

1. Quais as atividades sob o domínio da Empresa A?
2. Qual a origem das lâmpadas coletadas pela Empresa A?
3. Quais os tipos de lâmpadas que são coletadas?
4. Qual a quantidade máxima coletada por ciclo? Entende-se por ciclo cada vez que as lâmpadas são retiradas da estação de coleta.
5. É necessária uma etapa de separação depois da coleta na estação?
6. Como é feita essa separação e quem realiza essa separação?
7. Como é feito o empacotamento para o transporte das lâmpadas para a Empresa B?
8. As caixas utilizadas para o empacotamento e transporte são oriundas de materiais recicláveis ou materiais virgens?
9. Quem realiza o transporte da Empresa A para a Empresa B?
10. Todas as atividades citadas anteriormente ocorrem na mesma instalação?
11. Quais os indicadores da Empresa A para o processo?

**APÊNDICE B** – Entendimento do processo da logística reversa da Empresa B.

1. Quando as caixas carregadas de lâmpadas chegam na Empresa B, qual a sequência de atividades realizadas?
2. Qual a tecnologia utilizada no tratamento dos resíduos das lâmpadas?
3. Quais as partes das lâmpadas que são tratadas?
4. As atividades citadas anteriormente ocorrem todas na mesma instalação?
5. Qual o destino dos subprodutos gerados do tratamento dos resíduos das lâmpadas?
6. Existe alguma otimização no processo (desde o transporte das lâmpadas coletadas na Empresa A até a redistribuição dos subprodutos gerados) a fim de torná-lo mais sustentável?
7. Quais os indicadores da Empresa B para o processo?

**APÊNDICE C** – Indicadores de desempenho para a rede logística reversa de lâmpadas fluorescentes das 41 lojas da rede varejista nos anos de 2014, 2015 e 2016.

<b>Quantidade de Lâmpadas Coletadas (unidades)</b>	
<b>Tubulares</b>	<b>Não tubulares</b>
1.211.345	807.563

<b>Quantidade de Subprodutos Gerados (kg)</b>		
<b>Metal</b>	<b>Pó fosfórico</b>	<b>Vidro</b>
123.497	62.906	1.252.904