

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ISADORA MENDES

Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular: um estudo de caso em São Carlos-SP

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO CARLOS

2020

ISADORA MENDES

Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular: um estudo de caso em São Carlos-SP

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Sênior Valdir Schalch

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2020

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

M538d	<p>Mendes, Isadora</p> <p>Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular : um estudo de caso em São Carlos-SP / Isadora Mendes; orientador Valdir Schalch. -- São Carlos, 2020.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2020.</p> <p>1. Economia circular. 2. Gerenciamento de resíduos sólidos. 3. Resíduos industriais. I. Título.</p>
-------	---

Elaborado por Elena Luzia Palloni Gonçalves – CRB 8/4464

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Bacharela **ISADORA MENDES**.

Título da dissertação: "Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular: um estudo de caso em São Carlos-SP".

Data da defesa: 24/09/2020.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Valdir Schalch**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)

APROVADA

Prof. Dr. **Alexandre Toshio Igari**
(Escola de Artes, Ciências e Humanidades/EACH-USP)

APROVADA

Prof. Dr. **Mário Augusto Tavares Russo**
(Instituto Politécnico de Viana do Castelo/IPVC)

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Dr. **Eduardo Mario Mendiolo**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rosana e Osvaldo, que me proporcionaram toda estrutura para chegar até aqui, e que me deram (e tenho certeza que darão) todo apoio e incentivo às minhas escolhas. Tenho muito amor por vocês.

Ao meu irmão, Leonardo, pela amizade, amor e por estar sempre ao meu lado.

Ao Prof. Valdir Schalch, por quem tenho grande consideração. Agradeço pela confiança, por ter me concedido essa oportunidade e por ter me aberto a porta deste incrível mundo dos resíduos sólidos, sobre o qual temos tanto a avançar! Agradeço também pela humildade e bom humor de sempre.

À Prof.^a Érica Pugliesi, pela disponibilidade em momentos em que precisei de apoio e pelas valiosas contribuições que forneceu a este trabalho.

Aos colegas do NEPER, em especial a Viviane Jim Hee Kim e Ana Maria Rodrigues Costa de Castro, pelas conversas que muito contribuíram e por todo o apoio;

Às Valdirenes, por quem tenho tanto carinho e senti falta nessa trajetória final.

À minha madrinha, Bi, que sempre me incentivou a fazer o mestrado. Obrigada pelas conversas, pela disposição em me ajudar e por compartilhar sua vasta experiência na área acadêmica;

Aos meus amigos, que me ouviram e aconselharam em momentos de apreensão. Não posso deixar de agradecer-los, também, pelos momentos de alegria e descontração.

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial à Sá, Rose e Pri, pela disponibilidade, atenção e auxílio nas questões burocráticas;

Aos funcionários da indústria selecionada para elaboração do estudo de caso que tive contato, pelo fornecimento das informações, as quais foram imprescindíveis para realização desta pesquisa;

À querida USP, instituição que me proporcionou oportunidades valiosas de crescimento pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

MENDES, I. **Diagnóstico do gerenciamento de resíduos industriais e perspectivas de aplicação de economia circular**: um estudo de caso em São Carlos-SP. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

O modelo de crescimento econômico vigente apresenta genericamente caráter linear, pautado na extração de recursos naturais, fabricação de produtos, consumo exacerbado e descarte. Esta alternativa se apresenta cada vez menos sustentável, tanto por contribuir para escassez de recursos finitos quanto por aumentar as incertezas associadas aos negócios industriais, que dependem da oferta de recursos naturais para a manufatura de matérias-primas, componentes e produtos. Por outro lado, as indústrias têm de planejar ações e dispender recursos financeiros para o descarte adequado de resíduos, os quais muitas vezes são passíveis de reaproveitamento. Como alternativa à substituição do modelo linear, a economia circular tem sido vista como uma ferramenta que pode conter o esgotamento de insumos naturais e a intensificação da geração de resíduos sólidos, por meio da criação de fluxos circulares que recuperam e regeneram materiais. Tal ação resulta em benefícios econômicos, ambientais e sociais, contribuindo para atingir a sustentabilidade. Diante deste contexto, a presente pesquisa tem por objetivo avaliar a aplicação da economia circular no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em uma indústria localizada no município de São Carlos-SP, a fim de verificar a circularidade dos resíduos gerados a partir das formas de destinação adotadas para eles, e ademais, propor sugestões para intensificá-la. Assim, esta dissertação pretende articular a temática de resíduos industriais com a economia circular. A abordagem metodológica utilizada baseou-se em um estudo de caso, desenvolvido em uma única unidade industrial. Os resultados da pesquisa indicaram que 81% dos resíduos gerados na indústria são encaminhados para estratégias de destinação que promovem a circularidade (reutilização, reciclagem e recuperação energética) e 19% para estratégia que não a contempla (disposição final). Constatou-se que 48% dos resíduos são enviados para reciclagem, 26% para recuperação energética e somente 7% para reutilização, apontando que esta última estratégia, embora seja a mais circular dentre as três, é a menos adotada. Os resultados permitiram aferir que o estabelecimento de fluxos circulares pode contribuir para criar oportunidades econômicas para a indústria e para reduzir o envio de resíduos para aterros sanitários, resultando no aproveitamento dos materiais por mais tempo e, portanto, na conservação de recursos. Ademais, notou-se alguns pontos cruciais para criação de fluxos circulares:

integração e colaboração entre os agentes envolvidos nas cadeias circulares dos materiais; considerar todo o ciclo de vida do material no planejamento de ações; o nível de execução de práticas de economia circular depende do escopo de atuação da organização.

Palavras-chave: Economia circular. Gerenciamento de resíduos sólidos. Resíduos industriais.

ABSTRACT

MENDES, I. **Diagnosis of industrial waste management and prospects for application of circular economy**: a case study in São Carlos-SP. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

The current economic growth model has a linear behavior, based on the extraction of natural resources, product manufacture, excessive consumption and final disposal. Such an alternative has proven less and less sustainable, due to both contribution to scarcity of financial resources and increase in uncertainties related to industrial businesses, which depend on the supply of natural resources for the manufacture of raw materials, components and products. On the other hand, industries must plan actions and obtain financial resources for a proper disposal of wastes, which can often be reused. Circular economy has been an alternative to replacing the linear model, since it can control the depletion of natural inputs and intensification of solid waste generation through circular flows that recover and regenerate materials. Such an action results in economic, environmental and social benefits, hence, sustainability. This dissertation investigates the application of circular economy for the management of solid wastes generated by an industry located in the city of São Carlos-SP. The circularity of such wastes was analyzed from the forms of destination adopted, and suggestions for their intensification are proposed towards associating the topic of industrial waste with circular economy. The methodological approach used was based on a case study, developed in a single industrial unit. The survey results indicated 81% of the wastes generated by the industry are subjected to disposal strategies that promote circularity (reuse, recycling and energy recovery), whereas 19% are submitted to a strategy that does not include it (final disposal). 48% undergo recycling, 26% are use for energy recovery, and only 7% are reused, which highlights the latter strategy, although being the most circular, is the least adopted. The results also showed the establishment of circular flows can offer economic opportunities to industries and reduce the sending of waste to landfills, thereby using them longer and preserving resources. The crucial points for the creation of circular flows were integration and collaboration among the agents involved in the circular chains of materials, consideration of the entire life cycle of the material in action planning, and dependence of level of execution of circular economy practices on the scope of the organization's activities.

Keywords: Circular economy. Solid waste management. Industrial waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de resíduos sólidos quanto à origem	28
Figura 2 - Fluxograma de um processo industrial genérico	34
Figura 3 - Trajetória das legislações e normas técnicas aplicáveis ao gerenciamento de resíduos industriais	36
Figura 4 – Fluxos de materiais diante da perspectiva da economia circular	46
Figura 5 – Protocolo de coleta de informações sobre os resíduos gerados na indústria.....	66
Figura 6 – Elementos utilizados para a avaliação da aplicação de economia circular	71
Figura 7 – Processo produtivo da indústria	75
Figura 8 – Fluxograma da origem do cavaco de alumínio	75
Figura 9 – Fluxograma da origem do cavaco de alumínio com ferro	76
Figura 10 – Fluxograma da origem do cavaco de ferro	77
Figura 11 – Fluxograma da origem da diatomita	77
Figura 12 – Fluxograma da origem de EPI contaminados	78
Figura 13 – Fluxograma da origem do lodo de efluente industrial	79
Figura 14 – Fluxograma da origem da manta filtrante	80
Figura 15 – Fluxograma da origem do material metálico	80
Figura 16 – Fluxograma da origem do óleo lubrificante.....	81
Figura 17 – Fluxograma da origem de panos e estopas	81
Figura 18 – Fluxograma da origem de pasta de silicone	82
Figura 19 – Fluxograma da origem de materiais de varrição de fábrica	83
Figura 20 – Fluxograma da origem de baterias.....	83
Figura 21 – Fluxograma da origem de embalagens de alimentos	84
Figura 22 – Fluxograma da origem de restos de alimentos.....	85
Figura 23 – Fluxograma da origem de embalagens de latas de tinta.....	85
Figura 24 – Fluxograma da origem de embalagens plásticas.....	86
Figura 25 – Fluxograma da origem de caixas plásticas.....	87
Figura 26 – Fluxograma da origem de isopor	87
Figura 27 – Fluxograma da origem de lâmpadas queimadas	88
Figura 28 – Fluxograma da origem de lodo de efluente sanitário.....	88
Figura 29 – Fluxograma da origem da madeira	89
Figura 30 – Fluxograma da origem dos materiais passíveis de reciclagem	90
Figura 31 – Fluxograma da origem de papéis usados para fins de higiene	91
Figura 32 – Fluxograma da origem de papel e papelão	91
Figura 33 – Fluxograma da origem de resíduos de serviços de saúde	92
Figura 34 – Fluxograma da origem de vidro.....	93
Figura 35 – Quantidade de tipos de materiais gerados por forma de destinação	95
Figura 36 – Quantidade de materiais em toneladas enviada para cada tipo de destinação anualmente	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de criação de valor a partir da economia circular.....	48
Quadro 2 - Estratégias circulares orientadas para resíduos sólidos e seus meios de implementação ...	52
Quadro 3 – Estratégias voltadas ao setor de gestão de resíduos visando a transição para a economia circular.....	56
Quadro 4 – Etapas metodológicas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa	62
Quadro 5 – Descrição das visitas realizadas à indústria.....	65
Quadro 6 – Roteiro para a entrevista com os gestores da indústria.....	66
Quadro 7 – Linha de raciocínio para definir os elementos de avaliação da economia circular	70
Quadro 8 – Tipos de materiais identificados no diagnóstico	94
Quadro 9 – Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para reutilização	98
Quadro 10 - Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para reciclagem.....	101
Quadro 11 - Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para recuperação energética	110
Quadro 12 – Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para recuperação energética	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa de geração de resíduos industriais no estado de São Paulo em 2010.....	38
Tabela 2 - Estimativa de geração de resíduos industriais no município de São Carlos em 2019.....	39

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACV Avaliação do Ciclo de Vida

CADRI Certificados de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental

CNI Confederação Nacional da Indústria

EC Economia circular

EL Economia linear

EMF Ellen MacArthur Foundation

EPI Equipamentos de proteção individual

ETE Estação de tratamento de esgoto

GEE Gases de efeito estufa

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

ISWA International Solid Waste Association

PGRSS Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde

PIB Produto Interno Bruto

PMGIRS Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSS Resíduos de serviços de saúde

SINIR Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

Sumário

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS.....	25
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1. Resíduos sólidos	27
3.2. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos	30
3.3. Resíduos Industriais.....	33
3.4. Economia Circular	40
3.4.1. Origem da Economia Circular	40
3.4.2. Do modelo linear ao circular.....	43
3.4.3. Fluxos de materiais e a criação de valor na Economia Circular	46
3.4.4. Elementos da Economia Circular	50
3.4.5. Resíduos Sólidos diante da perspectiva da Economia Circular	54
4. MATERIAL E MÉTODOS	59
4.1. Abordagem metodológica.....	59
4.2. Seleção da unidade de análise	63
4.3. Contato com indústria.....	64
4.4. Coleta de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos.....	64
4.5. Elaboração do diagnóstico do gerenciamento de resíduos	68
4.6. Identificação dos elementos de avaliação da aplicação da Economia Circular.....	70
4.7. Avaliação da circularidade dos resíduos sólidos gerados na indústria	71
4.8. Limitações da pesquisa.....	72
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
5.1. Caracterização da indústria.....	73
5.2. Caracterização do processo produtivo da indústria	74
5.3. Diagnóstico dos resíduos sólidos gerados na indústria	75
5.4. Identificação das formas de destinação mais e menos adotadas para os materiais	94
5.5. Avaliação da circularidade dos materiais gerados na indústria e identificação de oportunidades e desafios.....	96
6. CONCLUSÃO	123
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	127
REFERÊNCIAS	129

1. INTRODUÇÃO

O processo de industrialização acelerada proporcionou à sociedade maior disponibilidade e quantidade de bens e serviços em menor tempo (VIEIRA, 2009), promovendo bem-estar e qualidade de vida. Por outro lado, simultaneamente, constata-se o surgimento de efeitos adversos oriundos de tais atividades. Muitas vezes, esse fato tornou-se mais evidenciado a partir da ocorrência de inúmeros desastres decorrentes do desenvolvimento de atividades econômicas, os quais desencadearam mortes, complicações à saúde da população e lançamento de poluentes no ambiente (ABADIA, 2018).

Paralelo às atividades industriais, pode-se elencar demais motivos que contribuem para o agravamento deste quadro, dentre eles, o crescimento populacional e a crescente urbanização (FRANCISCO, 2016). A população mundial atual é composta por cerca de 7,3 bilhões de pessoas e estima-se que atinja 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2015). Ambos são considerados causas para a intensificação da produção de bens materiais e da oferta de serviços (IWASAKA, 2018), a fim de satisfazer as necessidades de um número mais significativo de habitantes.

Pode-se apontar ainda, como fator adicional, o crescimento econômico de países em desenvolvimento, o qual proporcionou o aumento do tamanho da classe média global. Estima-se atingir 4 bilhões de pessoas pertencentes à referida classe até 2030 (FRANCISCO, 2016; ONU, 2010). Esse aspecto converge para maior acessibilidade à bens materiais e, conseqüentemente, para a expansão do consumo.

Estes fatores somados ao crescimento acelerado das atividades industriais condicionaram a demanda cada vez maior por recursos naturais (LIEDER; RASHID, 2016). Meadows et al. (1972) destacam o solo, a água dos rios, as reservas de metais, as florestas e os oceanos como elementos condicionantes do desenvolvimento das atividades humanas, pois têm papel crucial no fornecimento de alimentos, matérias-primas e combustíveis fósseis, além de receberem os resíduos sólidos e atuarem na reciclagem de substâncias químicas. No entanto, o ecossistema possui uma capacidade limitada de suprir tais necessidades (IWASAKA, 2018) e, sendo assim, os requisitos do crescimento econômico e populacional não podem ser atendidos (LIEDER; RASHID, 2016).

Outrossim, a extração e o consumo de recursos naturais causaram o aumento dos impactos negativos no meio ambiente, entre eles a intensificação da geração de resíduos

sólidos (FRANCISCO, 2016), tanto por parte de processos industriais quanto pela cultura do consumo exacerbado e do descarte precoce de bens.

Diante deste cenário, observa-se, de um lado a geração de efeitos adversos decorrentes de atividades com enfoque no desenvolvimento econômico e, de outro, a demanda por sua continuidade, causada pelo aumento populacional e suas respectivas necessidades.

O tradicional modelo de produção e consumo, denominado linear, é caracterizado por extrair, processar, consumir e descartar materiais como rejeitos, desprezando a finitude dos recursos e a capacidade de assimilação do ecossistema (BARDERI, 2017).

Sendo assim, o modelo de economia linear (EL) resulta em prejuízos para a sociedade (BARDERI, 2017), entre eles: riscos de oferta, já que muitos países carecem de reservas de recursos naturais e realizam importações para suprir suas necessidades (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION - EMF, 2015); intensificação da pressão e a exposição a riscos sobre os negócios industriais (EMF, 2015; LIEDER; RASHID, 2016), especialmente devido à volatilidade de preços associadas a redução da disponibilidade e oferta de insumos virgens (EMF, 2015; FISCHER; PASCUCCI, 2017); aumento de incertezas dos negócios decorrentes da volatilidade, a qual dificulta o crescimento econômico (EMF, 2015); perdas econômicas decorrentes do desperdício de materiais com valor agregado, os quais são descartados sem possibilidade de reaproveitamento e reinserção em novas cadeias produtivas (BARDERI, 2017); a degradação dos sistemas naturais (EMF, 2015); as tendências regulatórias, que têm por intuito precificar as externalidades negativas a fim de reduzi-las, como é o caso de alguns países europeus que criaram impostos sobre os aterros sanitários (EMF, 2015).

Em suma, o tradicional modelo econômico reflete o aumento de riscos, associados à qualidade do meio ambiente e ao desenvolvimento da vertente econômica (FISCHER; PASCUCCI, 2017). Diante desse cenário, como alternativa ao modelo de economia tradicional, emerge a economia circular (EC), que pretende desvincular o crescimento econômico do consumo de recursos finitos e proporcionar o desenvolvimento de sistemas econômicos mais resilientes (EMF, 2015). Nesse sentido, incentiva a conservação dos recursos naturais e alavanca novas oportunidades de negócios e criação de empregos. Desta forma, a EC objetiva, além de eliminar os impactos negativos, aumentar os impactos positivos (IWASAKA, 2018).

O setor industrial, em 2019, teve 20,9% de participação no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, ocupando o segundo lugar das atividades econômicas contribuintes, ficando atrás somente do setor de serviços (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2020a). Fica evidente que se constitui em uma atividade cujo papel é relevante para o desenvolvimento econômico do país.

As atividades industriais são caracterizadas pelo consumo de energia e insumos para a transformação das matérias-primas em produtos, processo que, inevitavelmente, resulta na geração de resíduos sólidos ou rejeitos (SCHALCH et al., 2019). Ao mesmo tempo em que o setor industrial apresenta importância econômica, tem potencial para causar impactos ambientais negativos e, sendo assim, o gerenciamento adequado dos resíduos se torna uma ferramenta de relevância para manutenção da qualidade do meio ambiente e para evitar danos à saúde pública.

Nesse sentido, a temática de resíduos sólidos passou a ser uma questão relevante para as indústrias instaladas no Brasil, especialmente após a elaboração da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), legislação que estabelece diretrizes para a gestão e o gerenciamento adequados dos resíduos sólidos no país (BARDERI, 2017).

A PNRS descreve o gerenciamento de resíduos sólidos como um conjunto de ações envolvendo etapas que abrangem desde a coleta dos resíduos até a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). A mesma legislação estabelece que o gerenciamento deve ser orientado para a priorização da prevenção da geração de resíduos e, em casos de inviabilidade, recomendam-se alternativas que contemplem os resíduos como recursos e reduzam ao máximo o encaminhamento para disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Nesse sentido, a EC pode ser uma ferramenta de auxílio para o cumprimento da hierarquia de ações sobre os resíduos proposta pela PNRS.

De acordo com EMF (2015), um dos princípios da EC consiste no aproveitamento máximo do uso dos recursos, com intuito de gerar a menor quantidade de rejeitos possível. Para isso, aborda o planejamento de fluxos circulares (EMF, 2015), os quais podem ser aplicados para os resíduos sólidos, materiais com valor econômico e social agregados (BRASIL, 2010).

A circularidade permite que os resíduos sejam regenerados ou recuperados e, assim, utilizados em novos ciclos produtivos (EMF, 2015). Isso contribui para a redução da extração de insumos virgens a serem utilizados em novos processos produtivos e para a redução da

produção de rejeitos. Diante deste contexto, o presente trabalho buscou avaliar a circularidade dos resíduos gerados em uma indústria do município de São Carlos-SP, escolhida como estudo de caso.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa consiste em avaliar a aplicação de práticas de economia circular no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em uma indústria do município de São Carlos-SP.

A partir deste, delimitou-se os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na indústria, com intuito de determinar: tipo do resíduo, classe, quantidade, acondicionamento, armazenamento, coleta, destinação e disposição final;
2. Identificar as estratégias de destinação mais e menos utilizadas para os resíduos gerados;
3. Avaliar se a indústria promove a circularidade dos resíduos gerados;
4. Identificar oportunidades e desafios relacionados à circularidade dos resíduos sólidos gerados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção visa apresentar conceitos e definições considerados relevantes para os temas discutidos na presente pesquisa, sendo eles: resíduos sólidos, resíduos industriais, gestão e gerenciamento, EC, gestão de resíduos sólidos sob a perspectiva de EC.

3.1. Resíduos sólidos

A PNRS define resíduos sólidos como sendo:

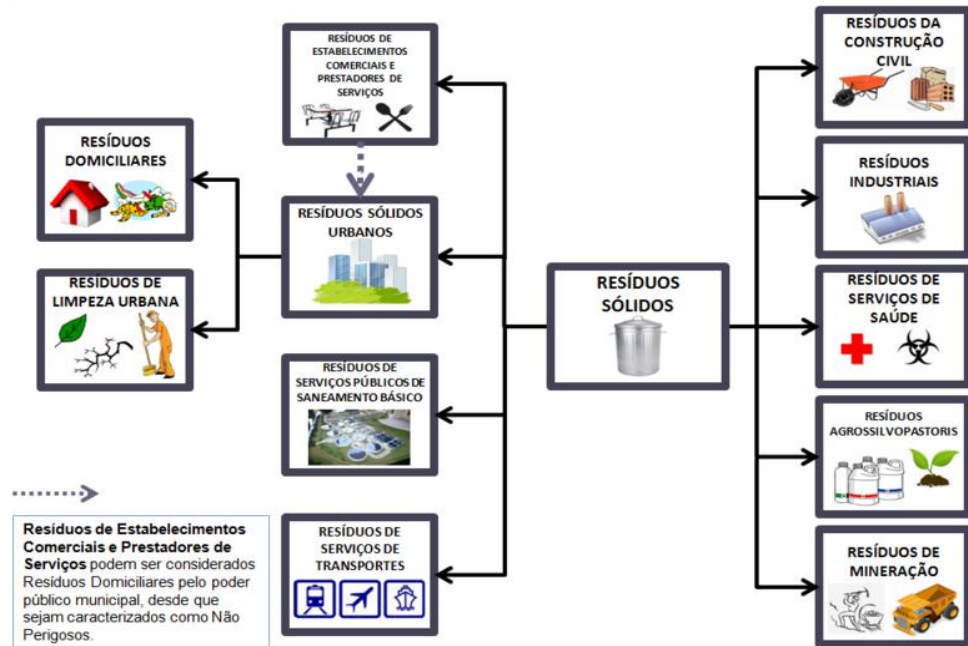
Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS, os resíduos sólidos apresentam duas formas distintas de classificação: quanto à origem e quanto à periculosidade. No que diz respeito à origem, são classificados em (Figura 1):

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

- j) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios (BRASIL, 2010).

Figura 1 - Classificação de resíduos sólidos quanto à origem



Fonte: Schalh, Castro e Córdoba. (2015).

Quanto à periculosidade, a PNRS define os resíduos perigosos como aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade ou mutagenicidade (BRASIL, 2010).

A classificação dos resíduos de acordo com a periculosidade também é estabelecida pela NBR 10.004:2004 e tem como base o processo ou atividade que os geraram, a constituição dos resíduos em relação aos componentes e características que os integram e a comparação dos constituintes com a lista de resíduos e substâncias propícias a impactar negativamente o meio ambiente e a saúde humana (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004).

A norma aqui discutida tem como referências normativas as NBR 10.005:2004 (Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos), NBR 10.006:2004 (Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos) e NBR 10.007:2004 (Amostragem de resíduos sólidos). Essas normas fornecem informações acerca de

procedimentos a serem executados para identificar a classe de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

Os resíduos perigosos, definidos pela NBR 10.004:2004 como pertencentes à Classe I, são aqueles que, a partir de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, possuem características que podem causar danos à saúde pública ou riscos ao meio ambiente. As características que definem a periculosidade são inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004).

Os resíduos não perigosos são aqueles desprovidos das características apresentadas pelos perigosos, e são pertencentes à Classe II, sendo segregados em Classe II A e Classe II B. A Classe II A é representada por resíduos não inertes, que podem apresentar biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A Classe II B corresponde aos resíduos inertes, não solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, não considerando aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A identificação da classe dos resíduos é uma etapa crucial, pois permite o direcionamento de ações para o gerenciamento, que devem ser planejadas de forma a acarretar menos impactos negativos possíveis ao meio ambiente e à saúde humana (PUGLIESI, 2010).

Ao dispor resíduos de forma inadequada, induz-se modificações no meio ambiente, como geração de maus odores decorrentes da decomposição dos resíduos, poluição visual, de corpos de água, do ar, e do solo (CAETANO, 2017). A poluição de corpos de água e do solo pode ocorrer por meio da infiltração de chorume nestes compartimentos. A poluição do ar, por sua vez, decorre da liberação de material particulado pela ação do vento ou por queimadas. As chuvas podem contribuir com o carregamento de substâncias e nutrientes tóxicos, que causam prejuízos à integridade do corpo de água e da fauna (CASTILHOS JR. et al., 2006). A disposição inadequada de resíduos também pode prejudicar o funcionamento de infraestruturas, como o entupimento dos sistemas de drenagem urbana. Além do potencial de poluição do ar, solo e água, os resíduos podem criar ambiente propício à proliferação de vetores de doenças, podendo assim causar outros impactos (BESEN, 2011).

Diante da possibilidade de alteração da qualidade do meio ambiente e dos riscos à saúde humana, é imprescindível que os resíduos sólidos sejam gerenciados adequadamente, de forma a garantir a melhor alternativa para a destinação dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), respeitando a viabilidade nos âmbitos

econômico, tecnológico e ambiental do local em que estão inseridos. No tópico a seguir, serão apresentados conceitos e distinções referentes à gestão e ao gerenciamento.

3.2. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, instituiu a PNRS, considerada um relevante marco regulatório acerca da temática de resíduos sólidos no Brasil. A lei dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos da Política bem como diretrizes para gestão e gerenciamento adequados, atribuindo as responsabilidades ao poder público e aos geradores e apresentando instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Em seu Capítulo II, Art. 3º, inciso XI, a PNRS determina a gestão integrada como: “conjunto de ações voltadas para busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010).

Em seu Capítulo II, Art. 3º, inciso X, a PNRS define gerenciamento como:

Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, de acordo com o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei (BRASIL, 2010).

Nota-se, a partir das definições estabelecidas pela PNRS, a distinção entre os conceitos de gestão e gerenciamento. Enquanto a gestão abrange o processo de planejamento de diretrizes e objetivos para as ações, o gerenciamento envolve a execução das mesmas, de forma a atingir o que foi planejado.

Segundo Araújo (2002), gestão integrada significa conceber, planejar, definir, organizar e controlar as ações. O gerenciamento compreende a efetivação delas, por meio de feitos técnico-operacionais que buscam implementar, orientar, coordenar e fiscalizar e atingir os propósitos definidos na gestão de resíduos sólidos.

Para Pugliesi (2010), a gestão integrada tem como apoio arranjos institucionais, instrumentos legais e mecanismos de financiamento para atingir a organização do planejamento de estratégias, execução, medidas de controle e da redução de resíduos.

Cumprir destacar que a partir da definição de gerenciamento, a PNRS distingue resíduos de rejeitos. De acordo com a legislação, um resíduo pode ser considerado rejeito

somente quando esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis (BRASIL, 2010). Desta forma, os resíduos sólidos são considerados materiais com valor econômico e social agregados. Sendo assim, podem ser considerados como insumos para novos processos, gerando renda e empregos. A disposição final ambientalmente correta consiste em uma estratégia que representa o fim da vida útil de um material. Em casos de adoção dessa alternativa, torna-se inviável todas as formas aplicáveis de reaproveitamento e geração de valor econômico e social, o que muitas vezes representa um desperdício de recursos.

No Art. 9º a PNRS estabelece uma ordem de prioridade como diretriz para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos, sendo: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Essa hierarquia de ações é estabelecida a fim de reduzir danos ao meio ambiente e à saúde pública (MESSAGE, 2019).

Em primeira instância, a não geração de resíduos sólidos é considerada como estratégia prioritária. Caso o consumo de insumos materiais seja realmente necessário, devem ser estruturadas ações com enfoque na redução da geração e, quando não for possível de executá-la, deve-se implementar a reutilização. Esta, é definida pela PNRS como “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química (...)” (BRASIL, 2010). Consiste em uma estratégia que não demanda a transformação do objeto, o qual pode ser utilizado para o mesmo fim a que foi concebido ou para fins distintos.

Já a reciclagem é definida pela PNRS como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (...)” (BRASIL, 2010). Diferentemente da reutilização, a reciclagem envolve a transformação dos resíduos sólidos visando reaproveitá-los.

A reciclagem dos resíduos sólidos orgânicos pode ser atingida por meio da compostagem e da digestão anaeróbia. Esta, consiste em um processo de degradação aeróbia, no qual controlam-se condições como umidade, oxigênio e nutrientes (especialmente carbono e nitrogênio), com intuito de favorecer o desenvolvimento de microrganismos no solo atuantes na decomposição da matéria orgânica (BRASIL, 2017). Esse processo resulta na produção de um composto, o qual pode ser utilizado como insumo para culturas agrícolas, a

fim de mitigar a depleção de nutrientes e reduzir o uso de fertilizantes químicos (BEKCHANOV; MIRZABAEV, 2018), contribuindo para a reinserção de nutrientes biológicos no sistema natural de forma segura. Cumpre destacar que Brasil (2017) menciona a compostagem como alternativa para reciclagem ou tratamento dos resíduos sólidos orgânicos. Para a presente pesquisa, considera-se como um processo realizado para fins de reciclagem, seguindo a concepção de EC. Além da compostagem, os resíduos sólidos orgânicos podem ser reciclados por meio da biodigestão anaeróbia ou da vermicompostagem (BRASIL, 2017).

Aqueles que não são passíveis de reciclagem, devem ser encaminhados para tratamento, definido como “uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável” (INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM, 2001).

Dentre estes procedimentos, destacam-se os tratamentos térmicos: “todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800 graus Celsius” (BRASIL, 2002b). Sendo assim, o tratamento térmico abarca métodos que contemplam a decomposição térmica dos resíduos sólidos, alternativa que tem sido amplamente discutida tanto no âmbito público quanto no privado, a fim de solucionar problemas relacionados a utilização de áreas para construção de aterros sanitários e o risco de passivos ambientais que podem estar associados às práticas de disposição final. Isso porque, além disso, por meio de alguns tipos de tratamento térmico, é possível recuperar a energia contida nos resíduos, a qual pode ser revertida em energia térmica ou elétrica e em combustíveis alternativos (TABASOVÁ et al., 2012). Dentre outras vantagens, o tratamento térmico elimina materiais que apresentam alto potencial de causar impactos negativos no meio ambiente e à saúde pública e, ademais, reduz o volume dos resíduos gerados (TABASOVÁ et al., 2012). São exemplos de tecnologias para tratamento térmico: incineração, pirólise, gaseificação e plasma.

Em última instância, quando todas as estratégias de gerenciamento anteriormente descritas são inexecutáveis, deve-se encaminhar os rejeitos para disposição final ambientalmente correta, definida pela PNRS como “distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (...)” (BRASIL, 2010). Ademais, cumpre destacar que são proibidas formas de destinação de resíduos sólidos ou de disposição final de rejeitos que envolvem o lançamento em corpos hídricos, in natura a céu

aberto, queima a céu aberto ou em equipamentos ou instalações que não apresentam licenciamento para tal fim (BRASIL, 2010).

3.3. Resíduos Industriais

A PNRS define resíduos industriais de acordo com a origem, como “os gerados nos processos produtivos e instalações industriais” (BRASIL, 2010).

A Resolução Conama nº 313, de 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, conceitua resíduos industriais como:

Todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (BRASIL, 2002a).

Ademais, a Lei 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos fornece a seguinte definição para resíduos industriais:

Resíduos provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias e similares, inclusive resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto (SÃO PAULO, 2006).

De acordo com as definições apresentadas acima, observa-se que esta categoria de resíduos abrange tanto os oriundos de processos produtivos quanto aqueles que possuem características similares às de resíduos domiciliares, como os provenientes de refeitórios, áreas administrativas, atividades de poda e capina e até mesmo resíduos potencialmente infectantes, como os gerados em ambulatórios presentes nas indústrias (SCHALCH et al., 2019).

De acordo com Schalch et al. (2019), um processo industrial corresponde a um conjunto de operações e atividades inter-relacionadas, caracterizadas pela utilização de energia e insumos a fim de transformar matérias-primas em produtos finais. Essas atividades resultam, inevitavelmente, na geração de subprodutos, resíduos ou rejeitos (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma de um processo industrial genérico



Fonte: adaptado de Schalch et al. (2019).

A qualidade dos materiais, da mão de obra, das máquinas e dos métodos adotados para manusear materiais e operar equipamentos, denominados 4Ms, refletem na taxa de geração de resíduos industriais (SCHALCH et al., 2019).

Devido aos diversos ramos de indústrias existentes bem como suas características, é gerada uma variedade bastante significativa de resíduos oriundos de processos produtivos. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2012), são exemplos de resíduos industriais: resíduos de processos, resíduos de operação de controle de poluição ou descontaminação, materiais adulterados, materiais e substâncias oriundos de atividades de remediação de solo contaminado, resíduos da purificação de matérias-primas e produtos, cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros e cerâmicas.

As atividades industriais podem contribuir geração de poluição ambiental através da liberação de gases, material particulado, efluentes líquidos e resíduos sólidos no ambiente (GANEM, 2015). A contaminação da água é associada ao lançamento de substâncias químicas, como solventes, agrotóxicos, bifenilos policlorados e metais pesados; nutrientes como fósforo e nitrogênio; materiais em suspensão, incluindo particulados e sedimentos; alterações na temperatura provocadas pela utilização de água no processo de resfriamento de equipamentos (GANEM, 2015). A adição desses contaminantes pode alterar as propriedades físico-químicas da água e causar mortalidade de organismos e, conseqüentemente, provocar um desequilíbrio na biota (GANEM, 2015). Além disso, a alteração da qualidade da água pode influenciar a eficiência do processo de tratamento e os usos previstos a ela.

A poluição do solo pode estar relacionada com o gerenciamento inadequado de resíduos provenientes de atividades industriais, especialmente explicado pelas dificuldades de execução de práticas de destinação e disposição final ambientalmente adequadas (GANEM, 2015). A contaminação do solo pode causar alterações nas propriedades físico-químicas, contribuindo para o aumento da contaminação de águas subterrâneas (SÃO CARLOS, 2019).

Para evitar esse cenário, faz-se relevante ações preventivas, no sentido de identificar e implementar medidas para evitar acidentes ambientais.

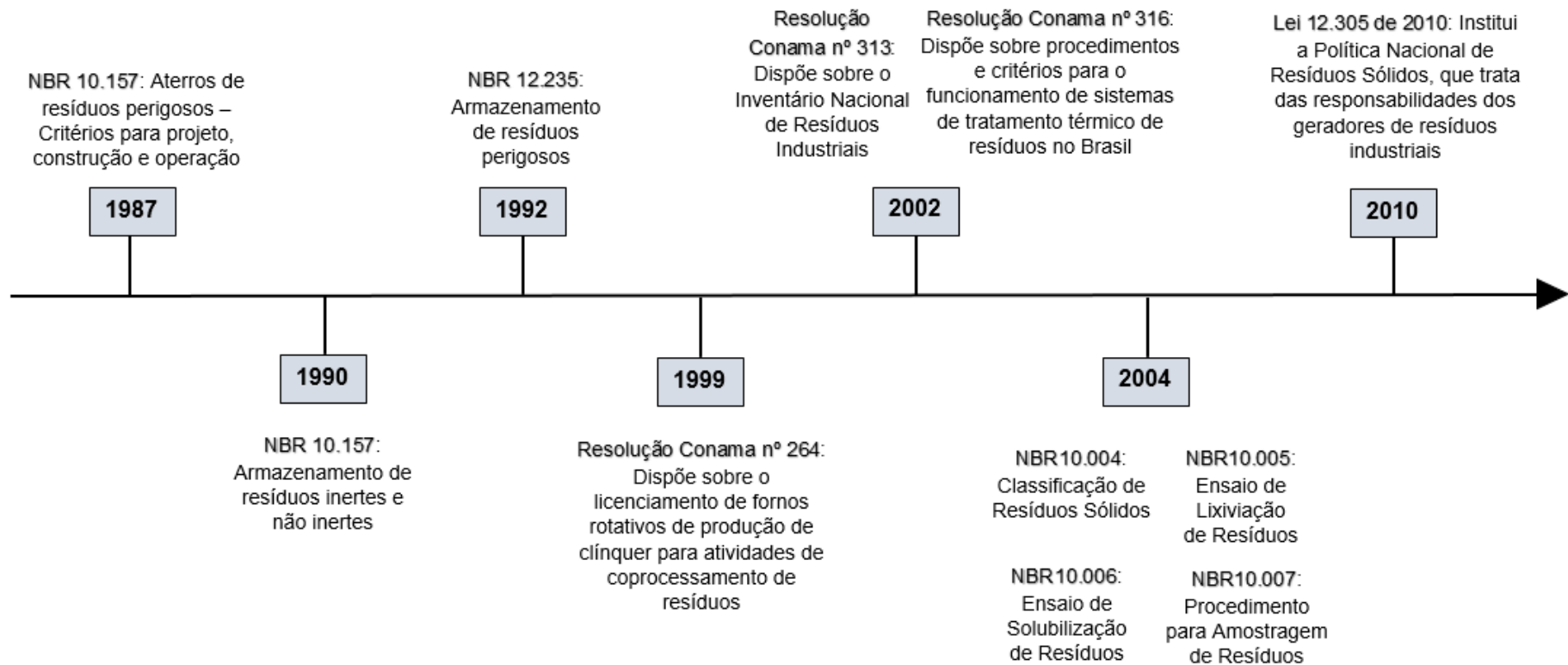
Além disso, as atividades industriais têm potencial para impactar negativamente a saúde humana. Durante as etapas de geração, manuseio, acondicionamento e armazenamento interno, os funcionários podem estar expostos a riscos de acidentes relacionados a substâncias perigosas presentes nos resíduos, seja por contato com a pele, inalação ou ingestão (SCHALCH et al., 2019).

Devido a tais fatores, faz-se relevante planejar e executar ações visando o gerenciamento adequado destes resíduos, a fim de manter a qualidade do meio ambiente e evitar danos à saúde dos indivíduos.

O uso de equipamentos de proteção individual (EPI) pelos trabalhadores, o acondicionamento, a identificação e o armazenamento correto dos resíduos podem auxiliar a redução de riscos de acidentes nas indústrias (SCHALCH et al., 2019). Nesse sentido, o treinamento dos funcionários torna-se um fator crucial para o manuseio adequado e seguro dos resíduos. Cuidados devem ser tomados também nas demais etapas de gerenciamento realizadas externamente à planta industrial, como no transporte, destinação e disposição final (SCHALCH et al., 2019).

Abaixo, consta uma linha do tempo, elaborada com intuito de apresentar as principais normas técnicas e legislações referentes e aplicáveis ao gerenciamento de resíduos industriais (Figura 3).

Figura 3 - Trajetória das legislações e normas técnicas aplicáveis ao gerenciamento de resíduos industriais



Fonte: A autora, com embasamento em Schalch et al. (2019).

O Art. 10º da PNRS, atribui ao gerador a responsabilidade sobre o gerenciamento de resíduos industriais. Fica estabelecida a ele a função de planejar as etapas do gerenciamento, oferecendo destinação ambientalmente adequada aos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Como medida de controle da qualidade do meio ambiente diante da execução dessas atividades, a PNRS determina a elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos para atividades industriais e dispõe sobre seu conteúdo mínimo (BRASIL, 2010). O documento tem por objetivo consolidar informações acerca das etapas do gerenciamento de resíduos gerados, a fim de averiguar boas práticas ou propor melhorias.

A Resolução Conama nº 313, de 29 outubro de 2002, teve como propósito instituir o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, que consiste em um conjunto de informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias brasileiras (BRASIL, 2002a).

A coleta de informações acerca das etapas de gerenciamento de resíduos industriais teve por objetivo elaborar um diagnóstico dos resíduos oriundos de indústrias brasileiras e direcionar planejamento e implementação de ações que visem melhorar continuamente a gestão e o gerenciamento desses resíduos (BRASIL, 2011).

Entretanto, observou-se uma série de dificuldades em relação à elaboração do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, especialmente voltadas à ausência ou falha de envio de dados de indústrias de diversos estados para órgãos estaduais ambientais e para o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Segundo a Resolução, foi atribuída esses dois órgãos ambientais a responsabilidade de compilar as informações concedidas e elaborar Programas Estaduais de Gerenciamento de Resíduos Industriais e o Plano Nacional para Gerenciamento de Resíduos Industriais. (BRASIL, 2002a). No entanto, ambos não foram concebidos.

Em 2011, o SINIR publicou uma versão preliminar do Caderno de Diagnóstico de Resíduos Sólidos Industriais, elaborada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e conduzida pelo Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos. O documento teve como propósito quantificar os resíduos industriais gerados no Brasil bem como recolher informações sobre etapas de coleta, tratamento e disposição final. O intuito consistiu em realizar uma análise comparativa da gestão de resíduos entre os estados, de

forma a averiguar boas práticas e oportunidades de melhorias. Foram encontrados dados de apenas 10 estados brasileiros, sendo que se encontravam desatualizados (CAETANO, 2017).

É possível notar que o Brasil ainda carece de informações consolidadas e sistematizadas acerca dos resíduos industriais gerados no país, o que representa um obstáculo para o direcionamento da gestão e do gerenciamento deste tipo de resíduo.

No que diz respeito aos resíduos industriais no estado de São Paulo, em 2010, a Cetesb realizou uma amostragem da geração dos mesmos. Para composição da amostra, foram escolhidos 1234 empreendimentos, baseados nas tipologias propostas na Resolução Conama nº 313, de 29 de outubro de 2002 (SÃO PAULO, 2014). A coleta de informações foi realizada com base no fornecimento voluntário por parte das indústrias e, novamente, encontrou-se diversas dificuldades associadas a concessão, tanto por parte das indústrias como por parte do sistema utilizado para o recolhimento das informações (SÃO PAULO, 2014).

Para o estado em questão, São Paulo (2014) estimou a geração de 95.839.923 toneladas anuais de resíduos provenientes de atividades industriais, sendo, deste montante, 99,3% classificado como não perigoso e 0,7% como perigoso (Tabela 1).

Tabela 1- Estimativa de geração de resíduos industriais no estado de São Paulo em 2010

Classificação dos resíduos	Geração (t/ano)	%
Classe I - Perigoso	704.498	0,7
Classe II – Não perigoso (II A; II B)	95.135.425	99,3
Total	95.839.923	100

Fonte: adaptado de São Paulo (2014).

Segundo São Paulo (2014), as indústrias metalúrgicas e de manufatura de produtos metálicos são as maiores geradoras de resíduos perigosos, representando 30% do total, seguidas pelas indústrias químicas (28%), material elétrico (10%), coque e refino de petróleo (8%) e, o restante, de outras tipologias industriais.

Em relação a geração de resíduos não perigosos, as usinas de açúcar e álcool são responsáveis pela geração de 86% do total, o que representa influência significativa deste setor nas atividades industriais do estado de São Paulo, considerando que 99,3% dos resíduos são classificados como não perigosos. De acordo com São Paulo (2014), quase a totalidade de resíduos oriundos das atividades de açúcar e álcool no estado são reaproveitados como insumo energético no próprio processo produtivo e como insumo agrícola nas áreas de plantio (SÃO PAULO, 2014). Após as usinas de açúcar e álcool, as indústrias metalúrgicas e de

manufatura de produtos metálicos são consideradas as maiores geradoras de resíduos não perigosos, representando cerca de 6% do total (SÃO PAULO, 2014).

Em relação aos resíduos industriais gerados no município de São Carlos, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), possui um levantamento de informações acerca da geração de 63 indústrias instaladas no município, com o intuito de compreender a geração de resíduos industriais na localidade.

São Carlos (2019) obteve estimativa de geração mais significativa de resíduos não perigosos (representando 96,4% do total) do que resíduos perigosos (representando 3,4% do total), assim como constatado para o estado de São Paulo (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativa de geração de resíduos industriais no município de São Carlos em 2019

Classificação dos resíduos	Geração (t/ano)	%
Classe I – Perigoso	6.463	3,47
Classe II – Não perigoso (II A; II B – inerte)	179.547	96,42
Classe não informada	200	0,10
Total	186.210	100

Fonte: adaptado de São Carlos (2019).

A composição dos resíduos perigosos gerados no município é bastante diversificada, devido às características e especificidades dos processos produtivos que os originam (SÃO CARLOS, 2019). No que diz respeito aos resíduos não perigosos, são originários não só de atividades relacionadas ao processo produtivo, mas também de outras áreas, como refeitórios, sanitários e escritórios (SÃO CARLOS, 2019).

Após a apresentação de conceitos e definições sobre resíduos industriais bem como de alguns dados acerca da geração de resíduos sólidos no estado de São Paulo e no município de São Carlos-SP, serão abordados nos tópicos a seguir, conceitos acerca da EC. A presente pesquisa tem enfoque nos resíduos industriais como objeto de estudo para a verificar o atendimento a princípios de EC. Nesse sentido, faz-se relevante a apresentação de conceitos que envolvem esse modelo.

3.4. Economia Circular

3.4.1. Origem da Economia Circular

O conceito de EC é abordado de diferentes perspectivas por diversos autores (BERTASSINI, 2018). Embora seja um tema bastante discutido recentemente, ainda carece de consenso acerca de sua definição. Esse fato pode ser explicado pela EC fundamentar-se na integração de princípios de diversas disciplinas científicas, como *cradle-to-cradle*, ecologia industrial e simbiose industrial (HOMRICH et al., 2018).

Para Homrich et al. (2018) e CNI (2018b), a EC emerge como uma estratégia econômica e não puramente ambiental. Embora a EC não consista em um movimento ambientalista, engloba questões acerca do meio ambiente e sociais, tornando-se um meio para promover a sustentabilidade nos negócios (GHISELLINI; ULGIATI, 2019; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016; VAN BUREN et al., 2016).

Em meados da década de 1960, despertou-se a emergência para as questões ambientais frente às consequências indesejadas resultantes das atividades econômicas. Na década de 1970, essa temática ganhou força e surgiram diversas escolas de pensamento e conferências para debater e encontrar soluções para a problemática (EMF, 2015), o que levou ao surgimento do conceito de EC.

Segundo a revisão bibliográfica realizada por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), as origens do conceito de EC estão embasadas, majoritariamente, nas áreas de economia ecológica e ecologia industrial, apesar de envolverem outras linhas de pensamento (CNI, 2018).

Diversos estudos (ABADIA, 2018; GEISSDOERFER et al., 2017; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; LIEDER; RASHID, 2016; MOREAU et al., 2017) consideram os economistas ambientais David Pearce e Kerry Turner como precursores das noções de EC. Em seu livro intitulado *Economics of Natural Resources and the Environment*, escrito em 1990, os autores demonstraram a interligação da economia com o meio ambiente (LIEDER; RASHID, 2016), na qual o sistema natural atua como fornecedor de recursos para produção de bens de consumo e como receptor de emissões e resíduos (GEISSDOERFER et al., 2017). Com isso, notaram a demanda por um modelo que garanta a manutenção da qualidade dos serviços ecossistêmicos (LAZZERINI, 2020). Diante do cenário de limite das atividades

econômicas, destacaram que os sistemas industriais podem se espelhar em sistemas naturais, no sentido de confeccionar produtos complexos e criar ciclos fechados, como uma alternativa para continuidade do crescimento econômico (MOREAU et al., 2017).

Para o desenvolvimento do estudo, Pearce e Turner basearam-se no ensaio denominado *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, escrito em 1966 pelo economista Kenneth Boulding (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Boulding descreve a Terra como um sistema fechado e circular que apresenta capacidade limitada de assimilação e, a partir disso, destaca a necessidade de alterar princípios da economia convencional (LIEDER; RASHID, 2016) para alcançar um equilíbrio entre a economia e o meio ambiente (GEISSDOERFER et al., 2017).

Ademais, Pearce e Turner embasaram-se no trabalho do economista Georgescu-Roegen, de 1967, que utiliza a 2ª Lei da Termodinâmica, conhecida como Lei da Entropia, para discutir a ineficiência de sistemas isolados. O aumento da entropia está associado à dissipação de energia e a conversão de recursos em resíduos inerentes a processos econômicos e biológicos (MOREAU et al., 2017). A partir dessa abordagem, nota-se a perda de matéria e energia na transformação de recursos em produtos finais e desperta a atenção para limites do crescimento econômico (BERTASSINI, 2018).

Em 1989, o físico e economista Robert Ayres introduziu o conceito de metabolismo industrial, que remete à totalidade dos fluxos de materiais e energia através de um sistema industrial. O balanço de massas – quantificação das entradas e saídas de matéria e energia em um processo produtivo – permite identificar as externalidades inerentes a determinado processo produtivo e revelar seus respectivos impactos ambientais (RUIZ, 2013).

Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, ainda em 1989, apresentaram o conceito de ecologia industrial e enfatizaram a possibilidade de reinserção de resíduos de um processo produtivo como matéria-prima para outros de demais indústrias (IWASAKA, 2018). Dessa forma, reduz-se a geração de resíduos industriais e promove-se o entendimento desses materiais como recursos com valor econômico agregado. Portanto, esta abordagem incentiva a transição de ciclos abertos para ciclos fechados (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Esses estudos contribuíram para direcionar a necessidade de alteração do modelo econômico convencional, pautado respectivamente na extração, produção, consumo e descarte. A insuficiência desse sistema foi evidenciada ao longo do tempo por diversas

escolas de pensamento, que colaboraram para revelar o colapso das atividades econômicas, causado pela escassez de recursos e pelo lançamento de poluentes no sistema natural.

Embora a introdução do conceito de EC tenha sido realizada por Pearce e Turner no início da década de 1990, a abordagem deste tema em pesquisas científicas e por formuladores de políticas públicas ocorreu a partir do ano 2000 (ABADIA, 2018).

Como consequência da percepção da degradação do meio ambiente relacionada às atividades industriais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016), a China foi o primeiro país a formular uma legislação de incentivo às aplicações do conceito de EC, denominada *Circular Economy Law*, cujo propósito foi a implementação de práticas de EC como estratégia para o desenvolvimento econômico do país (ABADIA, 2018; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). A legislação foi elaborada em 2002 e entrou em vigor em 2009, o que impulsionou o desenvolvimento de pesquisas e a execução de práticas de EC no local (LIEDER; RASHID, 2016).

A abordagem de EC tem ganhado espaço entre formuladores de políticas públicas, governantes e indústrias em diversas nações, especialmente na Europa e China (ABADIA, 2018; SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

A União Europeia lançou em 2015 o Plano de Ação para a Economia Circular e, conseqüentemente, o Pacote de Economia Circular, os quais contêm medidas e propostas de legislação para estimular a transição para EC (GHISELLINI; ULGIATI, 2019). Segundo George, Lin e Chen (2015), países europeus como Alemanha, Holanda e Áustria atuavam, em 2015, na implementação de princípios da EC em suas atividades econômicas.

No que diz respeito ao Brasil, um estudo realizado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) evidenciou que, dentre as indústrias participantes da pesquisa, cerca de 79,5% realizavam alguma iniciativa de EC em 2019, embora 70% delas desconheciam esse conceito (CNI, 2020b). Essas iniciativas incluem a otimização de processos, insumos circulares, recuperação de recursos, extensão da vida útil do produto, produto como serviço, virtualização e compartilhamento (CNI, 2020b). Cumpre ressaltar que o Brasil ainda carece de legislação específica que vise a implementação da EC no país. Contudo, a PNRS abarca elementos que tem potencial para apoiar a transição em direção à circularidade, com ênfase na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos.

A implementação da EC encontra desafios, pautados na transição da EL para a EC, processo que será abordado no tópico a seguir.

3.4.2. Do modelo linear ao circular

O modelo econômico linear é caracterizado por um sistema unidirecional, no qual os recursos são extraídos, utilizados como matérias-primas em processos produtivos e descartados como resíduos (GEORGE; LIN; CHEN, 2015). Além dos resíduos gerados durante a produção, têm-se os oriundos do descarte precoce de produtos por parte dos consumidores, incentivado pelo ritmo acelerado de consumo da sociedade atual.

Para Lieder e Rashid (2016), a lógica linear de consumo, caracterizada pela compra de produtos com obsolescência programada e pela utilização de objetos descartáveis, foi impulsionada a partir da Revolução Industrial. Para Nery e Freire (2017), o mercado tem papel crucial na continuidade do estímulo ao consumo, à medida que investe no lançamento de novas tendências e produtos.

Somado ao consumo exacerbado, tem-se a intensificação da geração de resíduos, muitas vezes lançados no meio ambiente sem tratamento prévio (SIMIÃO, 2011), causando degradação dos sistemas naturais. Governos e empresas têm levantado alternativas para promover a redução e a reciclagem de resíduos, com intuito de reduzir os danos e a necessidade de disposição em aterros sanitários (LIEDER; RASHID, 2016). O modelo de produzir, consumir e descartar tem aumentado as externalidades negativas e causado consequências indesejadas ao meio ambiente, como mudanças climáticas, perda da biodiversidade e do capital natural, além de poluição dos oceanos (EMF, 2015).

Observa-se que o limite da extração de insumos virgens e a problemática em torno da geração de resíduos, muitas vezes, não são fatores levados em consideração na EL (ABADIA, 2018). O meio ambiente é compreendido como fator isolado, entendido apenas como receptor de resíduos, absorvedor de emissões e como fornecedor de insumos virgens. Nota-se, em caso de continuidade desse pensamento, o encaminhamento para escassez de recursos e degradação dos sistemas naturais, o que resultará, em algum momento, no colapso das atividades econômicas. Mostra-se, portanto, como um sistema cada vez mais insustentável, haja vista a finitude de recursos (BARDERI, 2017) e a capacidade limitada de assimilação de recursos pelo planeta (SUÁREZ-EIROA et al., 2019).

De acordo com EMF (2013), a adoção de um sistema baseado em consumo e descarte resulta em perdas de valor ao longo de toda cadeia produtiva. Os processos fabris utilizam energia, matéria-prima e mão-de-obra para a manufatura de bens de consumo. Ao dispor esses produtos no meio ambiente, muitas vezes passíveis de reaproveitamento ou reciclagem, perde-se o valor agregado a eles, o que reflete em desperdício.

Mesmo com investimento em tecnologias e uso eficiente de recursos, em um sistema com enfoque no consumo, a demanda por recursos naturais ainda é contínua, o que reforça a insuficiência do sistema e evidencia que existem alternativas paliativas, ou seja, que desaceleram a necessidade por recursos naturais, mas não a cessam (BARDERI, 2017; EMF, 2013).

Ademais, a EL reflete em riscos para as empresas, como já relatado anteriormente. Ao adotar recursos finitos como base para o processo produtivo, emerge uma vulnerabilidade associada à oferta de recursos no mercado. Crises em torno de um recurso considerado primordial podem causar a instabilidade nos preços, criando incertezas em relação ao crescimento econômico (EMF, 2015).

A partir desse cenário, é perceptível a demanda por um modelo econômico alternativo, que contribua para desvinculação do crescimento econômico associado ao consumo e descarte de recursos finitos (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Nesse sentido, a EC tem como premissa a restauração e regeneração dos materiais, produtos e componentes, através da substituição da lógica do consumo pela lógica do uso (EMF, 2015). Para isso, busca a criação de oportunidades que refletem na valoração de materiais, componentes e produtos ao longo de todo seu ciclo de vida (BARDERI, 2017). A EC se espelha no funcionamento dos ciclos naturais dos ecossistemas, de forma a aplica-los no âmbito econômico (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018).

A presente pesquisa considera a definição de EC estabelecida por Linder, Sarasini e Loon (2017), a qual propõe a introdução de ciclos fechados de produtos, recursos e materiais, como meio de aprimoramento da eficiência de recursos.

Segundo EMF (2015), existem três princípios considerados fundamentos da abordagem de EC:

Princípio 1: preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis.

Princípio 2: otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico.

Princípio 3: estimular a efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades desde o princípio (EMF, 2015, 22 p.).

Para atingir o primeiro princípio, é fundamental considerar, em primeira instância, a desmaterialização dos produtos e serviços e a virtualização, priorizando a não utilização de recursos. Quando for necessária, recomenda-se a escolha consciente de recursos, priorizando tecnologias e processos que utilizem os renováveis ou que apresentem bom desempenho (EMF, 2015). Já o aprimoramento do capital natural pode ser atingido por meio da reinserção de nutrientes biológicos de forma segura no sistema natural, promovendo a criação de condições regenerativas (EMF, 2015). Dessa forma é possível controlar os estoques de capital natural, fundamentais para manutenção do desenvolvimento econômico e social (BARDERI, 2017).

Para cumprimento do segundo princípio, os materiais, componentes e produtos devem ser projetados a partir da concepção de design circular, que visa o aumento da durabilidade e a criação de alternativas que promovem a extensão da vida útil (BOCKEN et al., 2016), como a manutenção, remanufatura, e reciclagem, considerados fatores condicionantes da circularidade (EMF, 2015). Através dessas ações, incentiva-se o rendimento máximo de recursos.

Já, o terceiro princípio tem por objetivo reduzir danos, decorrentes das atividades desempenhadas por uma empresa, a sistemas e áreas como alimentação, habitação, mobilidade, saúde, educação, entretenimento (EMF, 2015). A ideia fundamenta-se em identificar os danos, planejar e implementar formas de reduzi-los.

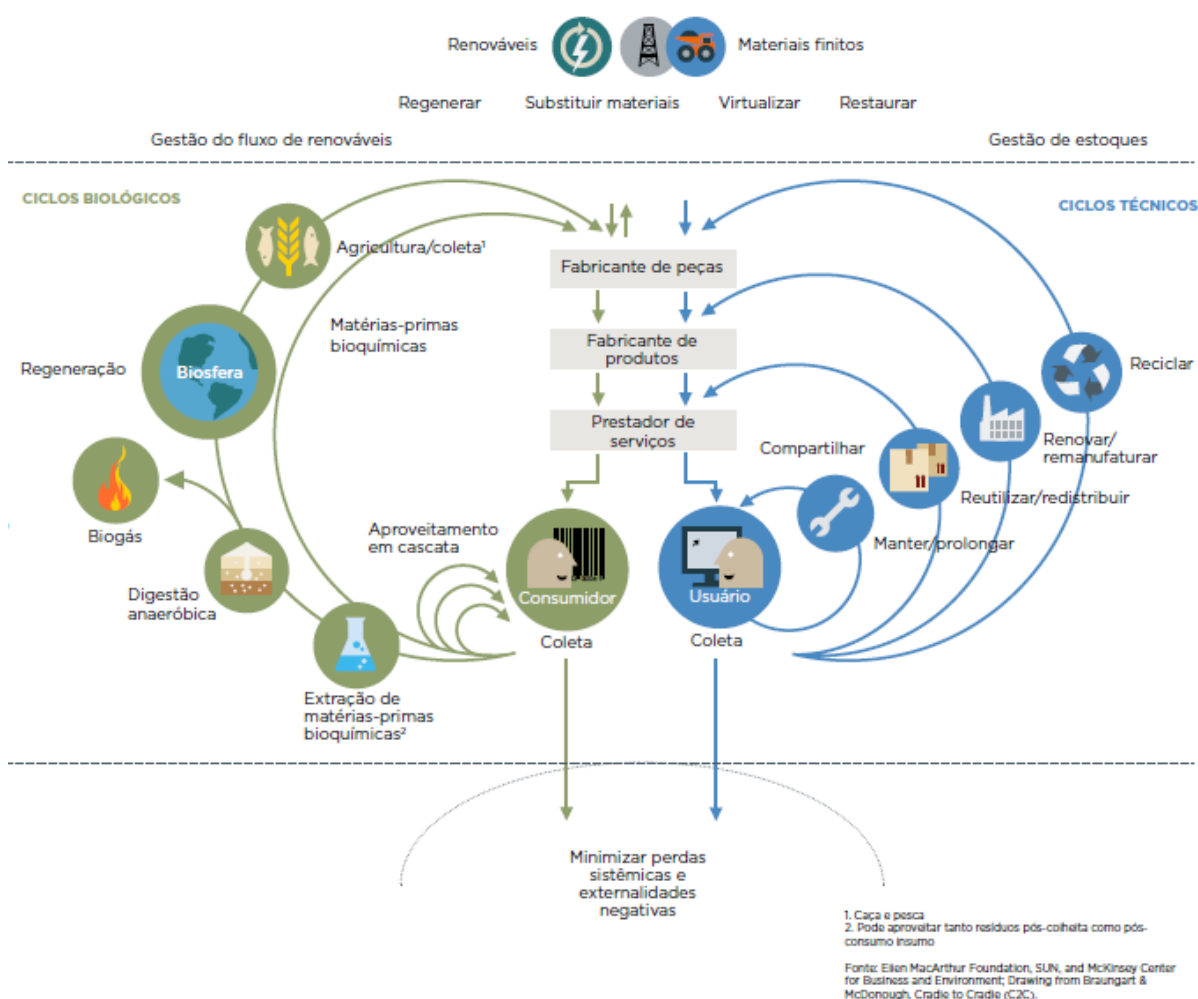
A partir dos três princípios que a constituem, a EC tem como propósito reduzir o desperdício de materiais passíveis de reaproveitamento (ABADIA, 2018), a dependência de novos recursos naturais para continuidade das relações econômicas e a geração de resíduos (POTTING et al., 2017).

Para isso, a EC apoia-se na concepção de *cradle-to-cradle* ou berço-ao-berço (BARDERI, 2017), que visa o fechamento de ciclos para promover a criação de valor. Segundo Bocken et al. (2016), a criação de valor está associada a exploração do valor residual dos produtos, de forma a identificar, planejar e executar alternativas de recuperação e restauração de materiais.

3.4.3. Fluxos de materiais e a criação de valor na Economia Circular

Através do diagrama criado por EMF (2015), é possível observar os fluxos de materiais diante da perspectiva de EC (Figura 4). No diagrama, estes fluxos estão dispostos em oportunidades de ciclos reversos, distinguidas entre ciclo técnico e o ciclo biológico (CNI, 2018). Nota-se que o diagrama apresenta dois recortes, os quais separam o diagrama em três partes. Os três princípios retratados anteriormente são evidenciados nestes três compartimentos.

Figura 4 – Fluxos de materiais diante da perspectiva da economia circular



Fonte: EMF (2015).

O ciclo biológico, localizado à esquerda do diagrama, apresenta oportunidades de gestão de recursos renováveis e abrange os ciclos biogeoquímicos e bens de consumo químicos e alimentícios (ABADIA, 2018). Apresenta a reinserção de nutrientes biológicos no sistema natural e sua regeneração, o que permite que sejam utilizados como matéria-prima em novos processos (EMF, 2015). Para isso, pode ser realizado o aproveitamento em cascata, no

qual nutrientes biológicos podem ser reaproveitados diretamente pelo consumidor, ou, a utilização de nutrientes como matérias-primas bioquímicas por fabricantes ou, até mesmo, a liberação de nutrientes no sistema natural, executada de forma planejada e controlada (BARDERI, 2017). Vale ressaltar que os nutrientes biológicos apresentam características que permitem a sua decomposição por sistemas naturais de forma segura, ou seja, sem provocar danos ao meio ambiente (IWASAKA, 2018).

De acordo com CNI (2018), a regeneração pode ser atingida por meio da gestão territorial e da paisagem, considerando a integração entre sistemas naturais e sistemas econômicos.

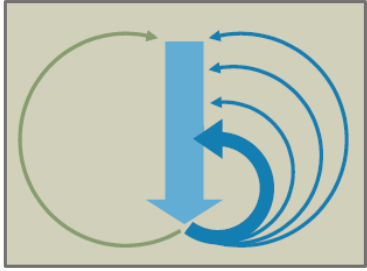
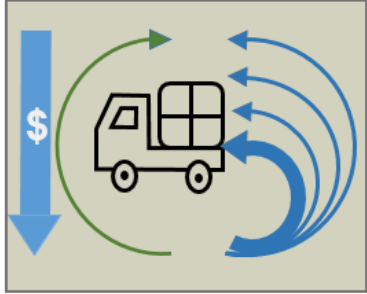
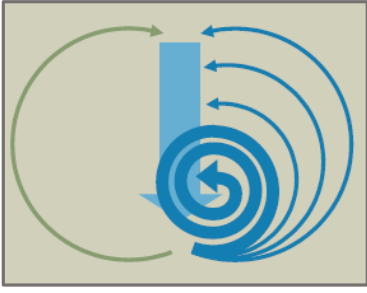
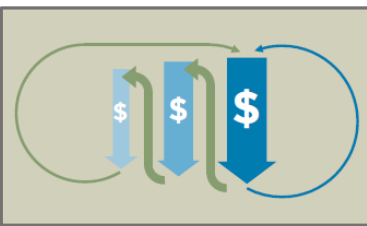
Por outro lado, o ciclo técnico aborda a gestão de recursos finitos (EMF, 2015), com enfoque na recuperação e restauração de bens de consumo duráveis (ABADIA, 2018). Com esse intuito, ele abrange alternativas de compartilhamento, manutenção, reutilização, remanufatura e reciclagem, para que os materiais, componentes e produtos sejam reaproveitados em seu mais alto nível de utilidade dentro dos sistemas industriais e econômicos.

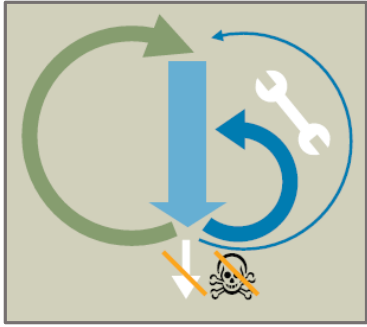
Dessa forma, a abordagem de EC leva em consideração todo o ecossistema, incluindo as relações entre sistemas naturais e os econômicos (BERTASSINI, 2018). Cumpre destacar que a integração e colaboração entre diversos atores dentro e entre os ciclos técnicos e biológicos consistem em fatores chave para o funcionamento dos ciclos reversos, sobre o qual apoia-se a visão de efetividade ecossistêmica (CNI, 2018).

De acordo com CNI (2018), os ciclos reversos intensificam a durabilidade de materiais, componentes e produtos, atenuando a demanda por insumos naturais e vulnerabilidade associada à sua disponibilidade e preço de mercado. Nesse sentido, para que o modelo circular seja implementado, a gestão dos ciclos reversos torna-se um elemento crucial para criação de valor.

No Quadro 1 são abordadas cinco fontes de criação de valor. Segundo EMF (2013), os três princípios da EC apontam para quatro fontes de geração de valor: ciclos internos, extensão da durabilidade dos ciclos, uso em cascata e uso de insumos puros ou isentos de toxicidade. Como fonte de criação de valor complementar, adicionou-se os ciclos geográficos mais internos, relatados por Stahel (2013).

Quadro 1 - Fontes de criação de valor a partir da economia circular

Fontes de criação de valor	Conceito	Diagrama	Fonte
Priorizar ciclos internos	Os ciclos internos apresentam alternativas que poupam quantidade mais significativa de energia, mão-de-obra, capital e externalidades associadas às atividades em relação a ciclos mais abertos.	 <p>Fonte: (EMF, 2013)</p>	EMF (2013)
Promover ciclos geográficos mais internos	Os ciclos geográficos mais internos propõem o transporte dos componentes, matérias-primas e produtos para localidades próximas a que estão situados, com intuito de reduzir custos de transporte	 <p>Fonte: A autora</p>	Stahel (2013)
Estender a durabilidade dos ciclos	A extensão da durabilidade dos ciclos pode ser atingida através da elaboração e execução de estratégias para prolongar o uso de materiais, aproveitando ao máximo sua utilidade.	 <p>Fonte: (EMF, 2013)</p>	EMF (2013)
Realizar o uso em cascata	O uso em cascata propõe a reutilização de componentes e materiais na fabricação de diversas categorias de produtos.	 <p>Fonte: (EMF, 2013)</p>	EMF (2013)

<p>Utilizar insumos puros, isentos de toxicidade ou fáceis de separar</p>	<p>Essas estratégias colaboram para a extensão da vida útil de um produto, material ou componente.</p>	 <p>Fonte: (EMF, 2013)</p>	<p>EMF (2013); Iwasaka (2018)</p>
---	--	--	-----------------------------------

Fonte: A autora.

A abordagem dos ciclos mais internos consiste, portanto, em priorizar o compartilhamento ao invés de alternativas como reutilização, remanufatura e reciclagem (IWASAKA, 2018). Dessa forma, contribui-se para preservação da integridade e complexidade do produto (EMF, 2015) e para conservação dos recursos investidos em sua produção.

Stahel (2013) destaca que, no escopo da EC, tão importante quanto optar por estratégias contempladas em ciclos mais internos, é também minimizar os ciclos em termos geográficos, pois desta forma, se possibilita a redução de custos associados a embalagens e transportes. Sendo assim, planejar o gerenciamento das cadeias circulares considerando esse elemento torna-se um fator crucial para o funcionamento adequado das mesmas.

Os ciclos mais longos e duráveis contribuem para evitar a geração de resíduos na concepção de novos produtos, bem como o consumo de novos recursos e de energia (BERTASSINI, 2018), à medida que busca otimizar estratégias de reutilização, remanufatura e reciclagem (EMF, 2015).

Sobre a perspectiva do uso em cascata, a criação de valor é atingida através do baixo custo associado à fabricação de produtos baseada na reutilização. Ademais, contribui para a redução da necessidade de extração de recursos finitos e para preservação de energia e mão-de-obra decorrentes das atividades de manufatura desses elementos (EMF, 2013). Por meio da abordagem em cascata é possível captar valor contido nesses elementos e aumentar o ciclo de vida dos mesmos (IWASAKA, 2018).

Os insumos puros, livres de toxicidade ou fáceis de reparar devem ser levados em consideração na etapa de design. Os produtos devem ser projetados de forma a facilitar a desmontagem e a separação de componentes, para que as estratégias de remanufatura

consigam ser colocadas em prática (EMF, 2013). O uso de materiais tóxicos na confecção de produtos resulta na dificuldade de implementação de formas de reaproveitamento, à medida que alternativas para tal fim ainda são escassas em relação a esses materiais (ISWA, 2015a). Por isso, sempre que possível, deve-se priorizar o uso de insumos puros. Esses elementos do design podem ser considerados facilitadores da circularidade de componentes, materiais e produtos (EMF, 2013).

Adiante, pretende-se destacar os elementos que caracterizam o modelo de EC pertinentes ao escopo da presente pesquisa, os quais envolvem, principalmente, o conceito de design e de estratégias que promovem a circularidade dos componentes técnicos. A seleção dessas duas vertentes foi embasada no enfoque desta pesquisa, que consiste na aplicação da EC no gerenciamento de resíduos sólidos.

3.4.4. Elementos da Economia Circular

A EC é caracterizada pelo design circular de produtos, embasado na abordagem *cradle-to-cradle*, que considera um sistema totalmente fechado de fluxos de recursos, de forma distinta à EL (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018), como foi dito anteriormente. Então, o design voltado à EC envolve a concepção de produtos de qualidade e duradouros, bem como o planejamento de estratégias que visem à extensão da vida útil (BOCKEN et al., 2016).

O design circular tem o propósito de evitar desperdícios, visto que o planejamento é orientado para reduzir a perda de recursos. Com isso, a seleção das matérias-primas para composição dos produtos torna-se um elemento crucial. Essa etapa abrange o estudo e a escolha de materiais a serem utilizados na manufatura, de forma que possam sofrer desgaste sem quebrar (BOCKEN et al., 2016). Ademais, deve-se priorizar o uso de materiais não tóxicos e que facilitem a recuperação, renovação e atualização (EMF, 2015).

O planejamento da extensão da vida útil envolve um conjunto de estratégias para prolongar a etapa de uso e reaproveitamento do produto, estruturadas por Bocken et al. (2016): oferecimento de serviços como manutenção, reparo e atualização; projeto de produtos que permitam expansão e modificações futuras; investimento em padronização e compatibilidade, de forma a criar produtos com componentes que podem ser reaproveitados em outros; projeto para desmontagem e remontagem, com intuito de possibilitar a separação de componentes de interesse e a reutilização em produtos similares ou distintos. Diante dessa

perspectiva, observa-se oportunidades tanto para os fabricantes quanto para os consumidores. O design circular pode auxiliar no prolongamento do uso do produto pelo consumidor e na ampliação do leque de atuação das empresas, que podem, além de vender produtos, prestar serviços ao consumidor.

A extensão da vida útil de um produto pode ser considerada como um meio de desacelerar a demanda por insumos finitos e a geração de resíduos, à medida que remete a escolhas inteligentes acerca de matérias-primas, montagem e manutenção (ABADIA, 2018; STAHEL, 1982).

O ecodesign, uma vertente do design, considera o projeto de produtos com foco na redução dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida e, por isso, constitui-se em uma ferramenta que pode ser associada ao conceito de EC (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). Envolve a escolha de materiais de baixo impacto para confecção de produtos, a redução do uso de recursos na manufatura de um produto, a otimização de técnicas de produção e dos sistemas de distribuição (MESTRE; COOPER, 2017). Para isso, a conscientização ambiental dos profissionais atuantes na área bem como o conhecimento sobre os recursos para realizar alterações técnicas e estratégicas são um dos fatores necessários (RIOS; CHARNLEY, 2017). Cabe destacar, ademais, a influência da legislação sobre a execução e alteração de paradigma sobre essa vertente. Rios e Charnley (2017) apontam para estudos que abordaram a avaliação do ciclo de vida (ACV) como ferramenta para o direcionamento da seleção de materiais visando a redução de impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto. Perante a circularidade, o ecodesign deve englobar aspectos como durabilidade, reparabilidade e capacidade de atualização (MESTRE; COOPER, 2017).

A EC possui enfoque na otimização dos estoques de recursos (STAHEL, 2013) e na prevenção de resíduos por meio de estratégias como redução, reutilização, reciclagem (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). A EC tem como propósito criar e recuperar valor para os resíduos sólidos, a fim de evitar que sejam dispostos em aterros sanitários, aproveitando ao máximo sua utilidade (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016) e evitando passivos ambientais (VEIGA, 2019). Embora envolva outras estratégias como atualização, renovação e remanufatura (com intuito de prolongar o uso de materiais e postergar a geração de resíduos), optou-se por destacar elementos orientados para o gerenciamento de resíduos bem como seus meios de implementação, que podem contribuir

para promover circularidade aos materiais (Quadro 2), vinculando-se com o propósito desta pesquisa.

Quadro 2 - Estratégias circulares orientadas para resíduos sólidos e seus meios de implementação

Estratégias	Meios de implementação	Fonte
Redução	Investir no uso de tecnologias mais eficientes no processo produtivo e na simplificação de embalagens.	Ranta et al. (2018)
	Reduzir a entrada de matéria-prima e energia através da melhoria da eficiência nos processos produtivos.	Su et al. (2013)
Reutilização	Utilizar produtos ou componentes para a mesma finalidade a que foram concebidos.	Ranta et al. (2018)
Reciclagem	Reinserção de resíduos como matéria-prima para processos produtivos. Assim, associa a reciclagem como estratégia para o fechamento de ciclos. Entretanto, destaca que a reciclagem não influencia a velocidade do fluxo de materiais, ou seja, a demanda por novos insumos permanece.	Stahel (1982)
	Reprocessamento de resíduos, de forma que se tornem produtos, materiais e substâncias, a serem utilizados para mesma finalidade ou outras distintas.	Ranta et al. (2018)
	Processamento de materiais em novos produtos, com intuito de reduzir a necessidade de utilizar matérias-primas virgens	Su et al. (2013)
Recuperação	Incineração de materiais com recuperação energética	Potting et al. (2017); Kirchherr, Reike e Hekkert (2017)

Fonte: A autora.

A EC demanda transformações não somente no âmbito da produção, mas também em relação às formas e hábitos de consumo, os quais podem ser estimulados através de abordagens como a economia compartilhada (ABADIA, 2018), virtualização e sistemas produto-serviço (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

De acordo com Kalmykova, Sadagopan e Rosado (2018), na concepção de sistemas produto-serviço, os produtos são de propriedade do fabricante, que atua exclusivamente no

oferecimento de serviços aos consumidores e retém a responsabilidade sobre o design, reparo, uso, manutenção e reciclagem do produto.

Já a economia compartilhada propõe o uso e acesso a bens de consumo e serviços compartilhados, geralmente administrados por plataformas digitais, o que evidencia o investimento em inovações tecnológicas como um mecanismo facilitador da EC (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). A partir dessa concepção, os consumidores passam a ser usuários (EMF, 2015), que pagam pela utilização de um produto ou realização de um serviço, mas não o retém como propriedade. Essa estratégia permite o aumento da utilização de produtos e o aproveitamento eficiente de recursos, colaborando para manutenção do bem-estar do comprador, desvinculado da posse (ABADIA, 2018; STAHEL, 2013).

Para a viabilidade prática dessas abordagens, torna-se essencial a desvinculação de meios físicos, de forma a investir em serviços ao invés de produtos (IWASAKA, 2018; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018). O investimento em serviços consiste em uma oportunidade de negócios para as empresas, à medida que cria as possibilidades de ampliação de atividades oferecidas para o mercado, o que pode resultar na conquista de novos clientes, no fortalecimento da relação empresa-cliente, geração de empregos e criação de valores dentro da empresa (CNI, 2018).

De acordo com EMF (2015), a EC se espelha no funcionamento dos ecossistemas para compreender e alcançar a resiliência. Nos sistemas naturais a biodiversidade é um fator contribuinte para resistência a mudanças externas. De forma similar, a diversidade dos negócios pode colaborar para resiliência e versatilidade da economia frente a alterações externas inesperadas. Os portes e características de empresas podem contribuir de diferentes formas para a manutenção do sistema. Dessa forma, reduzem-se os riscos associados a negócios focados apenas na competição e ressalta-se a relevância da diversidade de negócios.

Ademais, o fortalecimento da ideia de colaboração entre os agentes envolvidos é de suma importância para o desenvolvimento de ideais de circularidade (CNI, 2018). Como descrito por Kalmykova, Sadagopan e Rosado (2018), a implementação da EC engloba um conjunto de estratégias, as quais envolvem a escolha de materiais, projeto, fabricação, distribuição e vendas, consumo e uso, alternativas de retorno dos materiais para ciclos produtivos. Diante desta diversidade de categorias, fica evidente a relevância da colaboração

e da integração entre os *stakeholders*, visando o sucesso na transição para um modelo circular (IWASAKA, 2018).

3.4.5. Resíduos Sólidos diante da perspectiva da Economia Circular

A geração e o acúmulo de volumes significativos de resíduos sólidos representam um efeito adverso do tradicional modelo de crescimento econômico (VEIGA, 2019). De acordo com Veiga (2019), a gestão de resíduos sólidos tem sido uma ferramenta bastante eficiente para redução de efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente, oriundos da geração e disposição final de resíduos sólidos. Instrumentos legais, investimentos em infraestruturas de saneamento básico bem como desenvolvimento de pesquisas têm auxiliado a prática do gerenciamento adequado, reduzindo a disposição final inadequada e, conseqüentemente, seus impactos negativos (VEIGA, 2019).

Entretanto, na prática, ainda se encontram desafios. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe (2019), foram geradas 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no Brasil no ano de 2018 e, desse montante, 72,6 milhões de toneladas foram coletadas. No que diz respeito à disposição, cerca de 59,5% dos resíduos coletados são encaminhados para aterro sanitário e 40,5%, ainda são enviados para aterros controlados e lixões (ABRELPE, 2019).

Embora a PNRS disponha, em seu Capítulo VI, Art. 47, sobre a proibição do lançamento de resíduos em todos os corpos hídricos e a céu aberto, além da queima a céu aberto ou em instalações e equipamentos não licenciados para tal fim (BRASIL, 2010), percebe-se que uma parte significativa dos resíduos ainda são dispostos de forma inadequada. E em casos contrários, são priorizadas a disposição final ao invés de outras estratégias de gerenciamento consideradas prioritárias.

A disposição final de resíduos pode resultar em passivos ambientais, em casos de falhas durante as fases de projeto e operação de aterros sanitários, em situações em que ocorre em locais inapropriados ou até mesmo diante da ocorrência de acidentes como vazamentos (VEIGA, 2019). Apesar da existência de instrumentos legais que visam a manutenção da qualidade ambiental frente à disposição de resíduos, a prática encontra uma ampla gama de dificuldades.

Portanto, emerge a necessidade de intensificar o planejamento e execução de alternativas como a redução da geração, a reutilização e a reciclagem, que visam reduzir a

quantidade de resíduos encaminhada para a disposição final. Entretanto, diante da concepção da EC, não basta que essas alternativas sejam implementadas como uma solução articulada e direcionada para o fim da vida de um produto, mas sim para todas as etapas do ciclo de vida (GHISELLINI; ULGIATI, 2019; VAN BUREN et al., 2016). Dessa forma, essas estratégias devem ser planejadas e incorporadas nas fases de design do produto, produção, distribuição e nas formas de usar e consumir (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; VEIGA, 2019). O planejamento de ações de cada uma dessas etapas pode influenciar a circularidade dos materiais. Na fase de design do produto, por exemplo, pode-se projetá-lo para que seja possível atualizar, desmontar, remanufaturar, como já relatado anteriormente.

Em casos em que a prevenção da geração e a redução sejam inviáveis, os resíduos não devem ser equiparados a uma problemática a ser solucionada, mas sim representar uma oportunidade de conservar e otimizar os estoques de recursos (STAHEL, 2013), de forma a aproveitar ao máximo sua utilidade e evitar desperdícios, premissas estas estabelecidas pela EC. Assim, pode-se afirmar que a EC busca traçar estratégias que visem o fechamento de ciclos, nos quais os resíduos são considerados matérias-primas para novos produtos ou para processos produtivos (STAHEL, 1982). Diante desta perspectiva, ao invés de “gestão de resíduos”, recebe a denominação de “gestão de recursos”.

Diante do surgimento dessa nova perspectiva de transformação de resíduos em recursos, a *International Solid Waste Association (ISWA)* compôs a *Task Force on Resource Management*. Esta, consiste em uma equipe integrada por profissionais destinada a elaborar um estudo acerca das contribuições que o setor de gestão de resíduos sólidos pode oferecer em direção às premissas da EC, bem como identificar os desafios e barreiras que precisam ser alteradas para a transição da “gestão de resíduos” para “gestão de recursos” (ISWA, 2015b; VEIGA, 2019).

Os estudos resultaram na elaboração de seis relatórios, sendo que o último apresenta uma conclusão dos temas abordados nos demais: *Circular Economy: Trends and Emerging Ideas*; *Circular Economy: Cycles, Loops and Cascades*; *Circular Economy: Closing the Loops*; *Circular Economy: Carbon, Nutrients and Soil*; *Circular Economy: Energy and Fuels*; *Circular Economy: Resources and Opportunities*.

Com intuito de compilar as estratégias voltadas ao setor de gestão de resíduos visando a transição para a EC, elaborou-se o Quadro 3 contendo os pontos a serem destacados, abordados no relatório seis (*Circular Economy: Resources and Opportunities*).

Quadro 3 – Estratégias voltadas ao setor de gestão de resíduos visando a transição para a economia circular

Estratégias	Conceito
Criar impactos positivos e reduzir impactos negativos diante da perspectiva de resíduos sólidos	Impactos positivos englobam as possibilidades de transformação de resíduos em recursos, considerando-os matérias-primas secundárias para processos produtivos.
Priorizar a não geração de resíduos	Incorporar, incentivar e desenvolver atividades relacionadas ao planejamento e implementação da prevenção da geração de resíduos.
Criar mecanismos de solução para desafios acerca do fechamento de ciclos	A deterioração de materiais ao longo do tempo e a geração de resíduos perigosos constituem-se em barreiras para o fechamento de ciclos. A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias podem solucionar esta problemática. Enquanto isso, uso em cascata consiste em uma alternativa plausível para atrasar o envio de resíduos para disposição final.
Gerenciar fluxos de materiais residuais	Em alguns casos, a geração de rejeitos é inevitável. Estes materiais devem ser considerados um recurso energético.
Investir em inovação e pesquisa em áreas multidisciplinares	O setor de gestão de resíduos pode contribuir a partir da experiência que possui em ações para recuperação e restauração de materiais (gerenciamento do ciclo técnico).
Contribuir para o funcionamento adequado dos mercados de materiais	Criar sistemas de negociação e sistemas de trocas transparentes, bem como reconhecer a relevância do princípio da colaboração. O setor de gestão de resíduos, juntamente com outros atores envolvidos, pode apoiar o estabelecimento de tais condições.
Elaborar, revisar e ajustar políticas públicas, instrumentos legais e instrumentos fiscais	Tais políticas e instrumentos auxiliarão a gestão de resíduos em direção à EC. Além disso, tem potencial para proporcionar equilíbrio ao mercado de produtos novos e ao de produtos reciclados.
Interação e comprometimento de todos os agentes envolvidos na cadeia de valor	Todos os agentes envolvidos na gestão de resíduos sólidos devem estar interligados e comprometidos em planejar e implementar ações em direção à EC.

Fonte: A autora, com embasamento em ISWA (2015b).

Para que essas estratégias sejam de fato colocadas em prática, intervenções abrangentes e alterações nos modelos de negócio, no âmbito da produção e do consumo são requeridas (VEIGA, 2019; YUAN, 2006). Todos os agentes envolvidos na gestão de resíduos sólidos devem cumprir as responsabilidades a eles atribuídas, as quais devem ser adequadamente esclarecidas e estabelecidas. Para unir este conjunto de conceitos, torna-se imprescindível a elaboração de instrumentos legais, instrumentos fiscais e da estruturação e fornecimento de incentivos.

Segundo Veiga (2019), um dos maiores desafios da transição da EL para a EC é o bom funcionamento das cadeias de valor, que incluem o gerenciamento da recuperação de matérias-primas, componentes e produtos situados nos mercados (VEIGA, 2019). De acordo com Veiga (2019), com a coleta e a restituição dos materiais, a logística reversa consiste em instrumento que pode auxiliar o retorno dos resíduos para o ciclo técnico, fechando o ciclo dos materiais, além de proporcionar a vinculação dos mercados. Além disso, acordos setoriais podem contribuir para implementar a responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida de um produto entre o poder público, fabricantes e distribuidores (BRASIL, 2010).

Portanto, fica evidente que a transição para a EC, na vertente da gestão de resíduos sólidos, requer diversas modificações que incluem não apenas o gerenciamento adequado, mas também expansão das perspectivas e atuações e alteração de infraestruturas (VEIGA, 2019). Observa-se que se trata de um cenário mais abrangente que o comum, agregando maior quantidade de agentes envolvidos na cadeia.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, são apresentadas a escolha da abordagem metodológica e os procedimentos realizados para execução da presente pesquisa. A abordagem metodológica tem como intuito descrever a natureza do estudo, enquanto os procedimentos pretendem, dentro do escopo da natureza do estudo, revelar como a pesquisa foi estruturada para a obtenção dos resultados.

4.1. Abordagem metodológica

O desenvolvimento de uma pesquisa envolve diversas etapas, que abrangem desde a formulação do problema até a análise e a discussão dos resultados. Entre essas etapas, deve-se traçar um caminho lógico com a finalidade de atingir os objetivos pretendidos (BARDERI, 2017).

Segundo Ventura (2007), as primeiras etapas de uma pesquisa científica consistem na identificação do objeto que se pretende estudar e na determinação de um processo de investigação, ou seja, qual temática será abordada e quais meios e procedimentos serão utilizados para realização do estudo. Esta etapa é caracterizada como preparatória, pois abrange a estruturação da pesquisa.

Os tipos de pesquisa são definidos considerando a natureza do estudo, a abordagem do problema, e os procedimentos técnicos para o atingimento dos objetivos (BARDERI, 2017). De acordo com Trivinos (1987), um plano de pesquisa pode ser estruturado a partir de estudos exploratórios, descritivos e experimentais. Os estudos exploratórios podem anteceder o planejamento da pesquisa de caráter experimental ou descritiva, pois por meio deles, o pesquisador intensifica e aprimora seus conhecimentos sobre uma realidade específica e sua experiência acerca de um problema. Os estudos experimentais são precisos e, sendo assim, realizam uma formulação exata do problema e das hipóteses para definir as variáveis, e, buscam identificar as relações entre elas. Por sua vez, os estudos descritivos demandam um conhecimento prévio sobre a realidade que se pretende estudar e têm como propósito descrever fatos e fenômenos de determinada realidade.

O presente estudo apresenta caráter exploratório-descritivo. O estudo exploratório foi realizado com intuito de aprimorar os conhecimentos teóricos acerca da temática que se pretendeu estudar. Esta etapa forneceu embasamento acerca do conteúdo e permitiu o direcionamento dos objetivos da pesquisa. Dessa forma, diante da abrangência do tema de

resíduos sólidos, optou-se por estudar os industriais. A partir da leitura de bibliografias, selecionou-se a EC como tema complementar.

Observou-se, através de consultas a bibliografias de interesse, a ampla abrangência da EC. Homrich et al. (2018) a relatam como “guarda-chuva”, para se referir à diversidade de assuntos relacionados ao tema. Esta pesquisa, teve como enfoque a temática dos resíduos industriais sobre a perspectiva desta nova abordagem de modelo econômico, já que a aplicação do conceito ainda não é amplamente discutida em trabalhos científicos e possui complexidade. Com isso, o trabalho tem intuito de fornecer noções sobre essa temática, a fim de contribuir para o campo de pesquisa aqui relatado e fornecer embasamento para estudos futuros.

Para esta pesquisa, foi desenvolvido um estudo de caso único com uma unidade de análise, a fim de analisar o segundo princípio da EC dentro de um contexto real sobre o gerenciamento de resíduos gerados em uma única indústria. Yin (2010) relata quatro possibilidades de estruturação de um estudo de caso, sendo elas:

- Estudo de caso único, com uma unidade de análise;
- Estudo de caso único com múltiplas unidades de análise;
- Estudo de caso múltiplo, com unidade de análise única dentro de cada caso;
- Estudo de caso múltiplo, com múltiplas unidades de análise dentro de cada caso.

Os estudos de caso fazem parte dos estudos descritivos e propõem uma investigação detalhada sobre um determinado ambiente, sujeito ou uma situação específica, a fim de obter descrição aprofundada acerca de uma realidade associada ao escopo de pesquisa (GODOY, 1995b).

A seleção de estudo de caso torna-se apropriada em casos que se pretende responder às questões “como” e “por quê”, a respeito de ocorrência de fenômenos, situações de pouco controle sobre os eventos estudados ou quando o enfoque consiste no estudo de fenômenos atuais, que poderão ser estudados exclusivamente dentro de um contexto real (GODOY, 1995b). Diante dessa abordagem, esta pesquisa tem a intenção de compreender a abrangência da aplicação da EC, especificamente no gerenciamento de resíduos gerados na indústria, de forma a identificar desafios e perspectivas, através dos resultados obtidos para aquela realidade. Dessa forma, por se tratar de um estudo realizado dentro de um escopo definido, relatando uma realidade específica, os resultados não podem se aplicar para outros estudos. Entretanto, a discussão gerada a partir deles tem potencial para contribuir para o

direcionamento de estudos futuros, fornecendo embasamento e formulação de hipóteses (TRIVINOS, 1987).

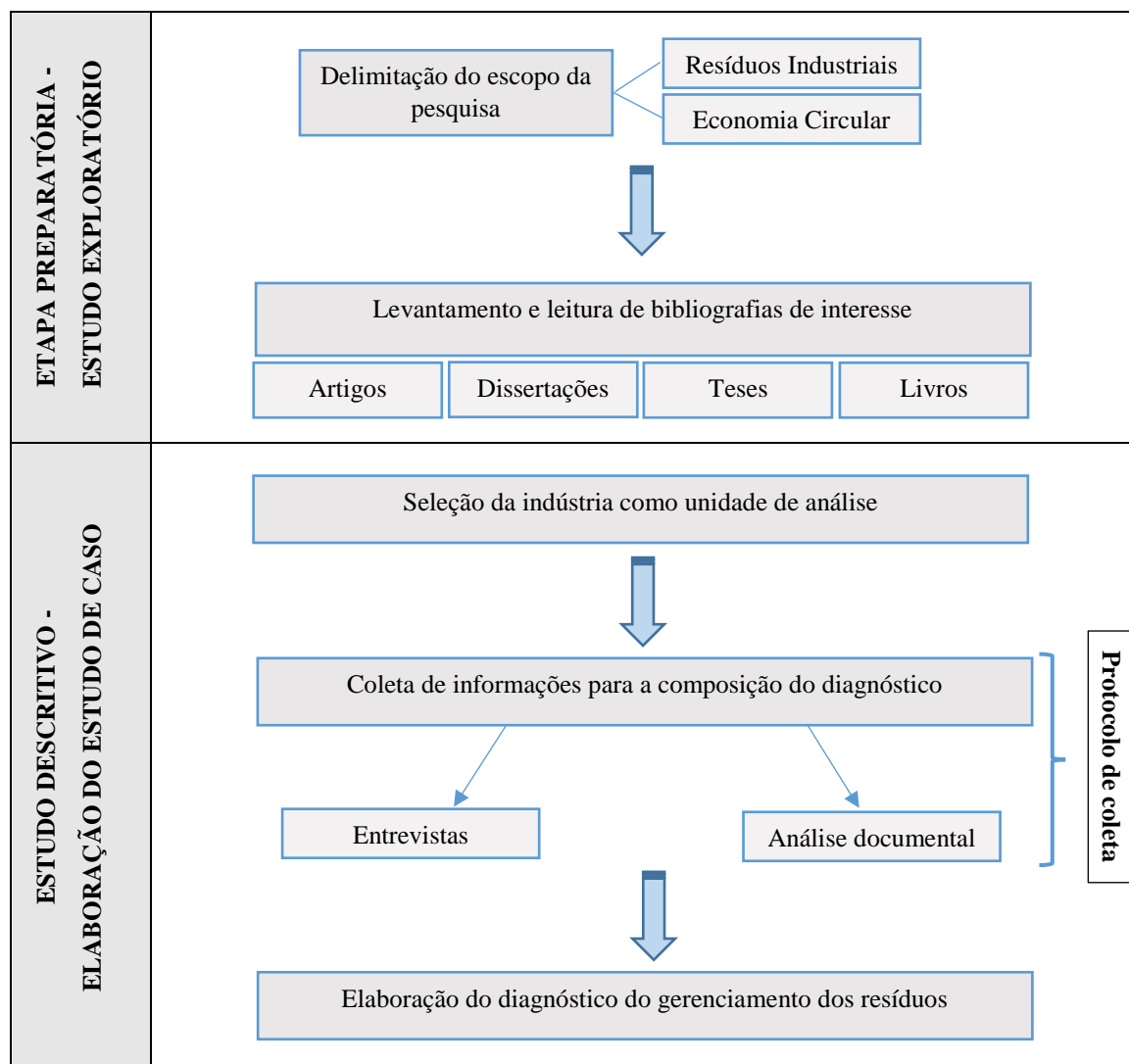
Dentre as variadas técnicas de pesquisas incluídas no estudo de caso, encontra-se a entrevista (GODOY, 1995b). A partir da coleta das informações através deste meio, é possível elaborar relatórios que apresentam caráter mais informal, narrativo, ilustrado com citações, exemplos e descrições fornecidos pelos indivíduos entrevistados, podendo incluir fotos e demais materiais que corroborem para transcrição do caso (GODOY, 1995b). Para realização deste trabalho, a entrevista e a análise documental foram as técnicas de pesquisa abordadas para a coleta de informações, compondo assim, o protocolo de coleta. A análise documental, especificamente para esse estudo, ocorreu com intuito de reunir e obter maior quantidade de informações a respeito das etapas de gerenciamento dos resíduos oriundos da unidade industrial, de forma a complementar as adquiridas a partir de entrevistas e observações feitas durante as visitas na indústria.

De acordo com a definição apresentada por Godoy (1995a), a presente pesquisa apresenta caráter qualitativo. Nesse sentido, distingue-se da pesquisa quantitativa, caracterizada pela medição de eventos estudados e análises estatísticas aprofundadas. A categoria de pesquisa qualitativa abrange a coleta de dados descritivos pelo pesquisador, através do contato direto com indivíduos, situações e processos (GODOY, 1995a). O enfoque consiste em verificar a forma de ocorrência de um fenômeno dentro de procedimentos, atividades e interações (GODOY 1995a).

Este estudo foi estruturado com base nas proposições de Yin (2015) acerca da elaboração de um estudo de caso. Primeiramente, foi delimitado o escopo da pesquisa e realizado um levantamento e leitura de bibliografias de interesse, a fim de obter um conhecimento prévio acerca da teoria sobre a qual se pretendeu desenvolver a pesquisa. A partir dos conhecimentos adquiridos, delimitou-se os objetivos. Em sequência, foi definido o local de aplicação do caso bem como as unidades de análise, e, elaborado um protocolo de coleta de dados. O estudo de caso foi então conduzido, através do qual as informações foram coletadas, posteriormente analisadas e sobre elas, relatadas discussões e conclusões.

No Quadro 4 constam as etapas metodológicas escolhidas para o desenvolvimento desta pesquisa, abrangendo tanto o estudo exploratório quanto o estudo de caso.

Quadro 4 – Etapas metodológicas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: adaptado de Francisco (2016).

Sendo assim, a presente pesquisa foi desenvolvida a partir da seguinte lógica:

- Delimitação da linha de pesquisa, dentro da temática de resíduos sólidos;
- Levantamento e leitura de bibliografias sobre: resíduos industriais; gerenciamento de resíduos industriais; EC, suas características e relação com resíduos sólidos;
- Delimitação da unidade de desenvolvimento do estudo de caso: uma indústria do município de São Carlos-SP;
- Visitas à indústria para coletar informações acerca do gerenciamento de resíduos no local, bem como conhecer espaços de armazenamento dos mesmos;

- Consulta a documentos fornecidos por funcionários do setor de meio ambiente da indústria e de outros de licenciamento disponibilizados em plataforma digital do órgão ambiental estadual (Cetesb);
- Elaboração do diagnóstico;
- Identificação, a partir de informações contidas no diagnóstico, de elementos a serem utilizados para a realização da avaliação da circularidade dos materiais: formas de destinação oferecidas aos resíduos sólidos da indústria;
- Identificação das formas de destinação de resíduos mais e menos adotadas na indústria;
- Relatar desafios e oportunidades relacionados à aplicação da EC no gerenciamento dos resíduos sólidos.

4.2. Seleção da unidade de análise

Selecionou-se como objeto do estudo de caso uma indústria localizada no município de São Carlos – SP. Por questões de sigilo, a razão social da indústria bem como detalhes sobre ela, não serão divulgados nesta pesquisa. Devido a isso, esta pesquisa fará uma abordagem mais superficial acerca das características da indústria.

De acordo com Barderi (2017), dentre os agentes envolvidos no ciclo técnico da EC, estão os fabricantes de produtos, que tem função de estabelecer fluxos circulares a partir da destinação que fornecem aos resíduos gerados, principalmente com enfoque em torná-los recursos para o próprio processo produtivo ou para outros. A partir dessa concepção, considerou-se a escolha de uma indústria como objeto de estudo de caso, já que, nesse sentido, consiste em um fator chave na cadeia de EC. Ademais, as indústrias apresentam potencial de causar uma variedade de impactos negativos no sistema natural. A aplicação da EC contribui para reduzi-los ou intensificar oportunidades para criar ou recuperar valores, causando impactos positivos. Portanto, essa pesquisa tem o propósito de avaliar a aplicação do segundo princípio da EC especificamente em relação aos resíduos sólidos gerados na unidade industrial.

A facilidade de acesso para realizar entrevistas e coletar informações foram os critérios chave para escolha da indústria no município de São Carlos - SP. Dessa forma, torna-se mais simples o processo e reduz-se a probabilidade de empecilhos para visitas. A escolha da indústria apoiou-se, ademais, no interesse da mesma em participar da pesquisa e na liberação de suas informações internas, considerados fatores imprescindíveis para o

desenvolvimento do estudo. A priori, selecionou-se uma indústria de grande porte, pois presumiu-se maior probabilidade de apresentar práticas ambientais bem consolidadas em relação a médias e pequenas.

A unidade de estudo de caso da presente pesquisa apresenta certificação ISO 14.001 e uma política ambiental bem definida, fator que se constituiu em uma oportunidade para o estudo. A norma em questão apresenta desempenho ambiental e a melhoria contínua do sistema de gestão ambiental como componentes de seus requisitos, sobre os quais a presente pesquisa tem potencial para contribuir. Embora a empresa esteja em conformidade com as normas e legislações ambientais, o aprimoramento do sistema deve ser constante, ou seja, a possibilidade de identificação e implementação de melhorias deve ser contínua.

4.3. Contato com indústria

O primeiro contato com a indústria foi feito via telefone, com intuito de organizar uma reunião preliminar para apresentar o plano de pesquisa ao responsável pelo setor ambiental da indústria. Nesse primeiro momento, foram colocados os objetivos principais e apresentados as possíveis contribuições da pesquisa para a indústria, como noções da abrangência de práticas de EC no gerenciamento dos resíduos, de modo a fornecer um panorama e contribuir para o direcionamento de ações visando a melhoria contínua nesse aspecto.

Após a autorização da execução da pesquisa pela assessoria de imprensa da indústria contatada, foram agendadas visitas, uma a uma, para conhecer e observar os aspectos gerais do processo produtivo e locais de armazenagem e, também, coletar informações sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos. O contato para o agendamento das visitas ocorreu, majoritariamente, por meio de ligações telefônicas realizadas diretamente ao setor de meio ambiente. Durante a coleta de dados, dois funcionários do setor de meio ambiente e um da operação da estação de tratamento de esgoto (ETE) foram responsáveis por fornecer as informações e acompanhar as visitas.

4.4. Coleta de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos

A coleta de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos foi realizada a partir de visitas à fábrica, feitas periodicamente, de acordo com a disponibilidade dos funcionários. Para a pesquisa, foram considerados os resíduos gerados em todos os âmbitos da indústria, incluindo os internos e externos aos processos produtivos. Dessa forma, contabilizou-se não apenas os resíduos oriundos da produção, mas também os gerados em

sanitários, escritórios, restaurante, recepção e ambulatório. Foram realizadas um total de 06 visitas à fábrica, as quais foram relatadas abaixo (Quadro 5).

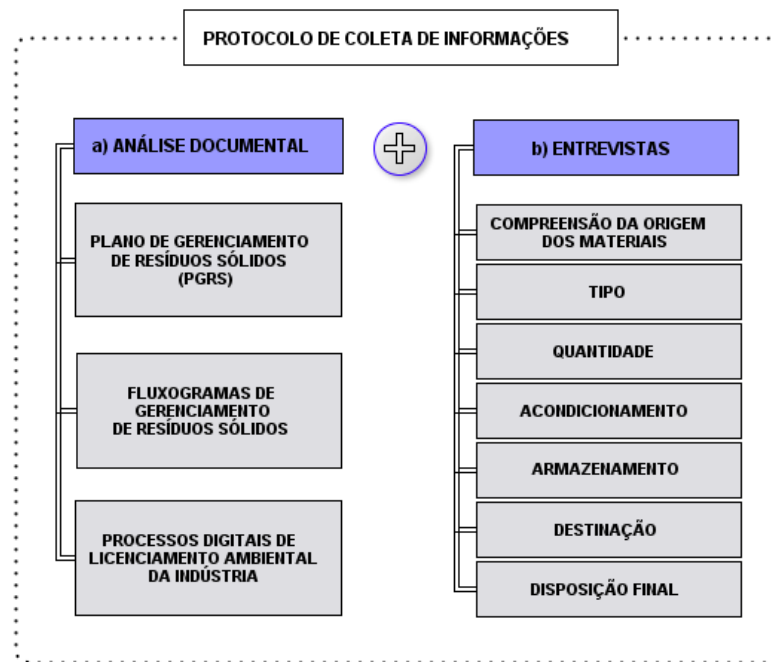
Quadro 5 – Descrição das visitas realizadas à indústria

Visitas	Local	Propósito
1	Escritório do setor de meio ambiente da indústria	Reunião preliminar com o gerente do setor ambiental, com intuito de apresentar a proposta da pesquisa e verificar a viabilidade de realização do estudo.
2	Processo produtivo (linhas de manufatura dos dois tipos de produtos considerados na presente pesquisa)	Conhecimento e visualização das etapas de manufatura do produto produzido pela indústria.
3	Escritório do setor de meio ambiente da indústria	Entrevista com os gestores de meio ambiente para obtenção de informações sobre as etapas do gerenciamento de resíduos gerados na indústria.
4		
5	Galpão de resíduos e ETE	Observação visual das etapas de acondicionamento e armazenamento dos resíduos considerados para o presente estudo.
6	Área de segregação de materiais	

Fonte: A autora.

A coleta de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos foi realizada em duas etapas: (a) análise documental e (b) entrevista com gestores de meio ambiente da indústria. O conjunto dessas etapas compôs o protocolo de coleta de informações para o desenvolvimento da pesquisa (Figura 5):

Figura 5 – Protocolo de coleta de informações sobre os resíduos gerados na indústria



Fonte: A autora.

(a) Entrevista com gestores de meio ambiente da indústria

Com intuito de nortear a entrevista, foi elaborado um roteiro para a entrevista, apresentado abaixo (Quadro 6).

Quadro 6 – Roteiro para a entrevista com os gestores da indústria

Roteiro para entrevista – coleta de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos
1. Quais são os tipos de resíduos gerados na indústria?
2. Existe um banco de dados utilizado para organizar e sistematizar a quantidade gerada dos tipos de resíduos?
3. Em quais locais os resíduos são armazenados?
4. Quais são as formas de tratamento oferecidas para cada tipo de resíduo? O tratamento é realizado nas dependências da indústria ou em outros locais?
5. Após o tratamento, os resíduos são encaminhados para aterro sanitário?
6. A planta da indústria localizada no município de São Carlos – SP apresenta certificação ISO 14.001?

Fonte: A autora.

Este foi planejado em torno de questões mais abertas e gerais acerca das informações que se pretendeu coletar, pois, dessa forma presumiu-se maior probabilidade de coletar informações mais abrangentes, decorrente da maior liberdade para discorrer sobre os assuntos tratados nas perguntas. Com intuito de compor o universo das perguntas a serem feitas na

entrevista, foram escolhidos temas relacionados às etapas do gerenciamento de resíduos. Sendo assim, o roteiro da entrevista foi estruturado em torno dos seguintes temas centrais: tipos de resíduos gerados, existência sistematização da quantidade de resíduos gerados, local de armazenamento dos resíduos, formas de destinação de resíduos e realização interna ou externa à fábrica, existência de disposição final de resíduos em aterros sanitários, certificação ISO 14.001.

A entrevista foi realizada presencialmente, durante duas visitas à unidade industrial, com 02 funcionários do setor de meio ambiente. Sendo assim, foram feitas as perguntas e as respostas bem como comentários adicionais sobre os assuntos abordados foram anotados pela pesquisadora, o que permitiu a elaboração de um relatório contendo as informações fornecidas.

(b) Análise documental

Durante as visitas à fábrica, os funcionários responsáveis pelo setor de meio ambiente da indústria forneceram fluxogramas simplificados, contendo informações sobre a entrada de materiais na fábrica, a atividade que envolve a utilização desses materiais, o resíduo gerado decorrente da atividade, a forma de armazenamento e a forma de tratamento. Estes fluxogramas abrangem 15 tipos de resíduos, sendo eles: lodo industrial, diatomita, “lixo comum”, resíduos de serviços de saúde (RSS), metais, papel e papelão, vidro, madeira, isopor, EPI contaminados, manta filtrante, latas e resíduos de tintas, pasta de silicone, óleo de motor usado e lodo biológico.

As informações acerca do gerenciamento de resíduos sólidos também foram obtidas através de consulta ao Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da indústria, referente ao ano de 2018, que tem como base os dados de 2017. Tais informações correspondem à área geradora, descrição do resíduo e suas características de composição, classe, acondicionamento, quantidade, armazenamento, empresa receptora final e forma de destinação.

Somados aos materiais fornecidos, consultou-se processos digitais de licenciamento ambiental da indústria, especialmente Certificados de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental (CADRI), obtidos através de consulta à plataforma digital do órgão ambiental estadual (CETESB). Optou-se por consultar os CADRI válidos, pois, priorizou-se o acesso a informações atualizadas sobre o gerenciamento de resíduos na unidade industrial. Tipo de

resíduo, quantidade, classe, acondicionamento e destinação são os principais tópicos de interesse para a presente pesquisa descritos nos CADRI.

Optou-se por realizar esta triangulação para as fontes de informações com intuito de obter e reunir maior quantidade de dados possível. Ademais, constituiu-se em uma forma de cruzamento e comparação entre os dados oriundos de cada um dos documentos consultados. Algumas informações sobre quantidade dos resíduos foram reveladas a partir da consulta de mais de um documento. Acredita-se que esta esquematização tenha proporcionado maior confiabilidade sobre as informações obtidas, permitindo assim, validá-las.

4.5. Elaboração do diagnóstico do gerenciamento de resíduos

De acordo com as informações obtidas nas entrevistas e documentos fornecidos e consultados, selecionou-se as seguintes etapas de gerenciamento de resíduos para composição do diagnóstico: tipo de resíduo (1), classe (2), quantidade (3), acondicionamento (4), armazenamento temporário (5), armazenamento final (6), coleta (7), destinação (8) e disposição final (9). Optou-se por englobar essas etapas, pois por meio delas é possível compreender e relatar todo o processo que envolve o gerenciamento, de forma a oferecer ao leitor uma compreensão holística do manejo dos resíduos sólidos.

Abaixo, constam as definições das etapas de gerenciamento selecionadas:

1. Tipo de resíduo: qual é o resíduo;
2. Classe: definida de acordo com o estabelecido pela NBR 10.004:2004: I (perigosos), II A (não perigosos não inertes) e II B (não perigosos inertes);
3. Quantidade: a geração, em números, de resíduos em um determinado período de tempo (anual);
4. Acondicionamento: forma ou recipiente que acomoda os resíduos;
5. Armazenamento temporário: local da indústria em que um resíduo é armazenado, logo após sua geração;
6. Armazenamento final: local da indústria em que o resíduo é armazenado previamente à coleta;
7. Coleta: identificação da empresa responsável por coletar o resíduo;
8. Destinação: forma de destinação do resíduo;
9. Disposição final: forma de disposição do resíduo, quando houver.

Para a composição do diagnóstico do gerenciamento de resíduos, foi criado um fluxograma referente a cada tipo de resíduo gerado nas dependências da indústria, contendo a entrada, o processo e a saída. Esta esquematização tem o intuito de proporcionar a compreensão sobre a origem dos resíduos a partir das atividades desempenhadas pela indústria.

Inicialmente, para a realização da presente pesquisa, considerou-se estudar cada etapa do processo produtivo para compreender onde e quais eram os resíduos sólidos gerados. No entanto, durante as visitas, notou-se que as linhas de manufatura são compostas por diversas etapas bastante detalhadas, o que demandaria um tempo maior para a execução do estudo, inviabilizando essa alternativa.

Devido a isso, escolheu-se um caminho distinto, de forma a identificar os resíduos sólidos gerados na indústria e, em seguida, o processo responsável pela sua geração. Dessa forma, esta pesquisa não inclui em seu escopo o mapeamento e descrição de todas as etapas do processo produtivo, devido à complexidade que apresentam. Assim, considera-se abordar nos fluxogramas apenas as atividades responsáveis pela geração.

Sobre a estrutura dos fluxogramas, a entrada diz respeito ao insumo usado ou que faz parte da realização de algum processo. Para alguns resíduos, considerou-se também a energia como item de entrada, em casos em que ela é utilizada no processo responsável por gerar o resíduo. Em situações contrárias, em que não se utiliza energia para a realização do processo, a mesma não foi abordada. Já o processo, compreende as atividades realizadas na indústria que originam os resíduos sólidos. A saída abrange os resíduos gerados e os produtos obtidos a partir da realização da atividade.

Cumprido destacar que os resíduos sólidos serão tratados na presente pesquisa com a denominação de “materiais”, seguindo a perspectiva da EC de não os tratar como resíduos, mas sim como recursos.

Para cada resíduo, logo abaixo do fluxograma, são relatadas as etapas de gerenciamento. Alguns resíduos não contemplam as nove etapas, pois, nestes casos, as informações não foram disponibilizadas pela indústria ou a mesma não as possui. Em relação a etapa de coleta, optou-se por não revelar a razão social da empresa encarregada de tal serviço, por questões de sigilo. Em consequência, a fim de distinguir as empresas que realizam a coleta dos tipos de resíduos, foram estabelecidas letras para identificação de cada uma delas.

Os fluxogramas e o relato das etapas de gerenciamento de todos os tipos de resíduos sólidos identificados na indústria subsidiaram a elaboração do diagnóstico sobre o gerenciamento dos resíduos, o qual constituir-se-á em objeto de identificação de elementos que servirão de base para avaliar a aplicação da EC.

4.6. Identificação dos elementos de avaliação da aplicação da Economia Circular

Para a escolha dos elementos a serem utilizados para avaliar o atendimento à EC no gerenciamento dos resíduos gerados na indústria, considerou-se o princípio dois da EC, definido por EMF (2015). A partir da definição do mesmo, extraiu-se o conceito de resíduos sólidos que apresenta relação com este princípio e, então, os elementos de interesse para a avaliação da circularidade dos resíduos sólidos gerados na indústria (Quadro 7).

Quadro 7 – Linha de raciocínio para definir os elementos de avaliação da economia circular

Princípio 2	Conceito relacionado à resíduos sólidos	Elementos da EC pertinentes ao estudo
Otimizar o rendimento de recursos, através da promoção da circularidade, de forma a aproveitar ao máximo a utilização de produtos, componentes e materiais (EMF, 2015)	Aumentar a circularidade: utilizar resíduos sólidos como recursos	Reutilização
		Reciclagem
		Recuperação energética

Fonte: A autora.

As formas de destinação como reutilização e reciclagem, podem ser encontradas nas estratégias de circularidade abordadas pelo segundo princípio da EC, de acordo com o observado no Diagrama de Borboletas, elaborado pela EMF. Sendo assim, podem ser um instrumento de avaliação da aplicação da EC.

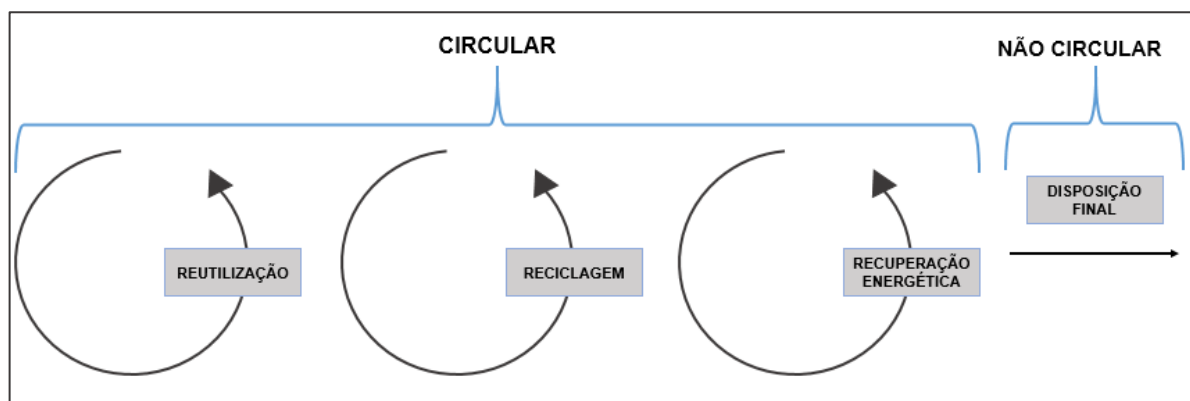
De acordo com as estratégias propostas por Potting et al. (2017) bem como da abordagem de fluxo residual da EC como recurso energético pela ISWA (2015b), o presente estudo considera a recuperação energética integrante da EC, pois evita que os resíduos sejam dispostos sem que haja reaproveitamento prévio. Portanto, diante da concepção da recuperação energética, os resíduos são vistos como recursos.

Optou-se por incluir, ademais, a disposição final dos resíduos como elemento de interesse para a presente pesquisa. Embora a disposição final não seja considerada uma

estratégia contemplada na EC, contribui para a avaliação pois, caso uma quantidade significativa dos resíduos seja encaminhada para disposição final, pode-se concluir que a indústria está mais distante de praticar a circularidade. Geng et al. (2012) consideram a disposição final como indicador do atendimento à EC.

A partir desta linha de raciocínio, a presente pesquisa considera como elementos para avaliação da circularidade no gerenciamento dos resíduos sólidos: a reutilização, a reciclagem, a recuperação energética e a disposição final (Figura 6).

Figura 6 – Elementos utilizados para a avaliação da aplicação de economia circular



Fonte: A autora.

4.7. Avaliação da circularidade dos resíduos sólidos gerados na indústria

Com o propósito de identificar a aplicação da circularidade no gerenciamento de cada tipo de resíduo, contabilizou-se a quantidade dos tipos de resíduos enviados para cada uma destas quatro formas de destinação (reutilização, reciclagem, recuperação energética e disposição final).

A partir do panorama obtido, é possível avaliar o quanto as estratégias de destinação adotadas para os resíduos se aproximam de uma EC, ou seja, o quanto a indústria atende, no quesito gerenciamento de resíduos sólidos, o conceito da circularidade. Assim, serão identificadas e relatadas oportunidades para intensificar a recuperação e a regeneração dos resíduos.

A discussão dos desafios e perspectivas parte do princípio de priorizar ciclos mais internos, tomando como base as estratégias de circularidade contidas no ciclo técnico do Diagrama de Borboletas elaborado por EMF (2015). Dessa forma, contribui-se para a manutenção do valor agregado ao material ao longo de sua produção, como mão-de-obra,

energia e matéria-prima. As oportunidades e barreiras serão descritas a partir de cada uma das formas de destinação e não por cada tipo de resíduo.

Embora a presente pesquisa não tenha coletado informações acerca do tipo de fonte de energia (renovável ou não renovável) utilizada no processo produtivo da unidade industrial, pretendeu-se, relatar brevemente a relação que apresenta com o conceito de circularidade.

Este conjunto de informações permite identificar a perspectiva de aplicação da EC na indústria, em relação à transição para o modelo de EC no escopo dos resíduos sólidos, especificamente.

4.8. Limitações da pesquisa

A priori, pretendeu-se avaliar a aplicação dos três princípios da EC no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados na indústria, com intuito de desenvolver uma avaliação abrangente acerca da aplicação da EC. Entretanto, não se obteve sucesso em relação à coleta de todos os dados necessários para tal. Apesar dessa pesquisa ter enfoque na aplicação da EC especialmente voltada aos resíduos sólidos, notou-se uma diversidade significativa de elementos que podem contribuir para a avaliação.

Foram realizadas diversas tentativas de obtenção das informações relativas a avaliação dos princípios um e três, através de envio de e-mails para o funcionário que esteve em contato e realização de ligações telefônicas diretamente ao setor de meio ambiente da indústria selecionada para o estudo de caso.

Foi enviado um questionário por e-mail, solicitando as informações para avaliar os princípios restantes. Por se tratar de uma indústria multinacional e com mais de uma unidade atuante no Brasil, o processo para ter acesso às informações internas é burocrático e demanda tempo, no caso, alguns meses. Nesse sentido, a indústria de São Carlos-SP necessitou do aval de outra unidade da marca para autorizar a liberação as informações necessárias. Este aval não foi concedido a tempo. Devido a esse motivo, adotou-se como fundamento para identificação de elementos de avaliação exclusivamente o princípio dois da EC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão abordados os resultados desta pesquisa, decorrentes da realização das etapas descritas na metodologia. A primeira parte envolve a caracterização da indústria objeto de estudo de caso, bem como uma breve de seu processo produtivo. A segunda corresponde ao diagnóstico dos resíduos sólidos gerados na indústria, a saber a atividade que os origina bem como a descrição de suas etapas de gerenciamento. A terceira parte refere-se à identificação, a partir do diagnóstico, das formas de destinação mais e menos adotadas para os materiais oriundos das atividades realizadas na indústria. Por fim, a quarta parte contempla a avaliação da circularidade dos materiais gerados na indústria, na qual são apontados alguns desafios e também oportunidades para contemplar ciclos mais internos, promovendo maior circularidade.

5.1. Caracterização da indústria

A indústria, objeto de estudo da presente pesquisa, é multinacional e a instalação da sua primeira unidade no Brasil ocorreu na década de 50. A planta de São Carlos atua na fabricação de produtos, que envolve as atividades de usinagem de blocos de metal fundidos. Os produtos fabricados nesta unidade industrial são utilizados como componentes do produto final da marca, cuja manufatura é executada em outra unidade.

A planta da referida indústria é composta por recepção, escritórios, restaurante, ambulatório médico, linhas de produção dos produtos do tipo A e do tipo B, área de recebimento de materiais, ETE e laboratório para realização de análises químicas simples que não demandam certificação.

Na indústria existem três locais específicos destinados ao armazenamento de resíduos: o galpão de resíduos, a área de segregação de materiais e a ETE. O galpão de resíduos consiste em um local para armazenamento de materiais classificados como perigosos. É uma área coberta, com abertura frontal, com estrutura construída para evitar exposição dos resíduos a intempéries e facilitar o transporte dos materiais tanto para armazenamento quanto para coleta. O galpão apresenta subdivisões, que totalizam cinco áreas. Em cada uma delas, diferentes tipos de materiais são armazenados, entre eles diatomita, pasta de silicone, manta filtrante, terra e areia de varrição, panos e estopas, EPI, lodo de efluente industrial, óleos lubrificantes usados, lâmpadas queimadas e baterias.

A área de segregação de materiais é destinada ao armazenamento de materiais não perigosos, mais especificamente daqueles que são passíveis de reciclagem, até que as empresas responsáveis pela destinação os colem. Consiste em um local coberto, com abertura frontal, projetado para evitar exposição dos resíduos a intempéries e facilitar o manuseio e transporte dos mesmos. Nessa área é feito o recebimento e armazenamento final dos materiais passíveis de reciclagem oriundos das linhas de produção, escritórios e recepção. Alguns funcionários atuam na triagem do material, com intuito de segregá-lo de acordo com a categoria a que pertence. Ao chegar nesse local, é analisada a viabilidade de comercialização, de acordo com os interesses dos compradores. Aqueles materiais que não apresentam viabilidade de compra pelas empresas, acabam sendo enviados para disposição final ambientalmente adequada em aterro sanitário.

A indústria possui duas unidades de ETE. Antes de 2010, a indústria contava com apenas uma, entretanto, a partir deste ano, a quantidade de produtos produzidos pela fábrica aumentou, fato que demandou a construção de uma segunda ETE. Atualmente, uma destina-se ao tratamento de efluente sanitário, oriundo dos sanitários e restaurante, e a outra, ao tratamento de efluente industrial, oriundo do processo produtivo. O processo de tratamento resulta na geração de lodo sanitário e lodo industrial, que permanecem armazenados temporariamente nas ETE.

5.2. Caracterização do processo produtivo da indústria

Para o escopo desta pesquisa, serão consideradas a manufatura de produtos de dois modelos: tipo A e tipo B. Para ambos, o processo produtivo possui fundamento similar. Como matéria-prima, tem-se os blocos de ferro e blocos de alumínio fundidos, os quais são importados de unidades fabris da marca instaladas em outros países. Esses blocos são inseridos no processo produtivo e passam por diversas etapas, nas quais são adicionadas peças e componentes com intuito de compor o produto final. O processo produtivo é caracterizado, portanto, pelas seguintes etapas: entrada de matéria-prima, processo de usinagem do bloco e obtenção do produto final (Figura 7).

Figura 7 – Processo produtivo da indústria



Fonte: A autora.

Posteriormente à manufatura, os produtos passam por testes a ar frio e ar quente, com a finalidade de averiguar o desempenho e funcionamento adequado em ambientes com características climáticas distintas. Nesta etapa, caso seja identificado algum defeito, o produto retorna para o processo produtivo, onde é remanufaturado com intuito de corrigir o problema. Vale ressaltar que, após a realização dos testes, o ar quente é destinado a um lavador de gases, a fim de tratar o gás produzido e conter emissões atmosféricas prejudiciais. Posteriormente ao teste, os produtos são encaminhados para plantas fabris situadas em outras localidades, para serem incorporados nos produtos finais da marca.

5.3. Diagnóstico dos resíduos sólidos gerados na indústria

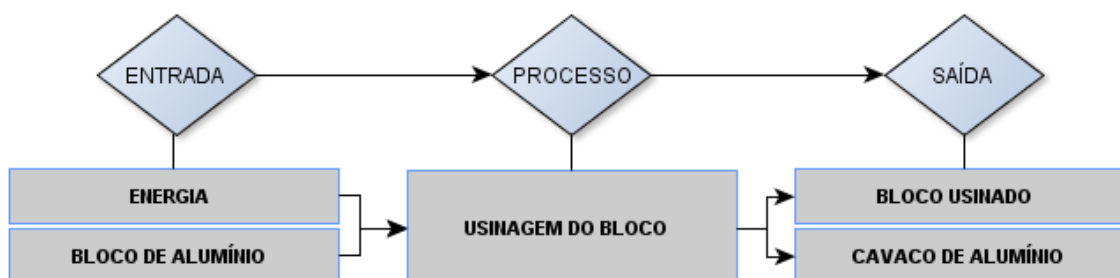
a) Materiais gerados no processo produtivo

Nesta seção são apresentados os tipos de materiais oriundos exclusivamente das linhas de produção dos produtos A e B. Optou-se por realizar esta distinção com intuito de expor o local de origem dos materiais, já que não foi possível apresentá-lo abordando cada etapa do processo produtivo.

- **Cavaco de alumínio**

Este material provém das linhas de produção, mais especificamente da atividade de usinagem do bloco de alumínio (Figura 8).

Figura 8 – Fluxograma da origem do cavaco de alumínio



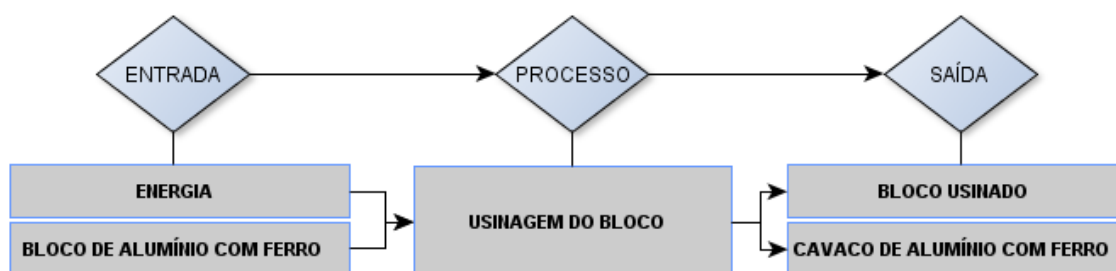
Fonte: A autora.

São geradas cerca de 125 toneladas de cavaco de alumínio no período de um ano. Este resíduo é classificado como II B, sendo, portanto, não perigoso e inerte. Este material é armazenado temporariamente em área do processo produtivo, dentro de caçamba pequena, juntamente com óleo usado e manta filtrante. Posteriormente, é encaminhado para um pátio da área externa, localizado próximo ao processo produtivo, onde é acondicionado em caçamba. O cavaco de alumínio é coletado pela empresa D, atuante no ramo de reciclagem de alumínio e na produção de matérias-primas para outros setores industriais. O cavaco de alumínio é reciclado por meio de processo de fundição e é então revendido para outras empresas interessadas no material.

- **Cavaco de alumínio com ferro**

Este material origina-se no processo produtivo, mais especificamente na atividade de usinagem do bloco de alumínio com ferro (Figura 9).

Figura 9 – Fluxograma da origem do cavaco de alumínio com ferro



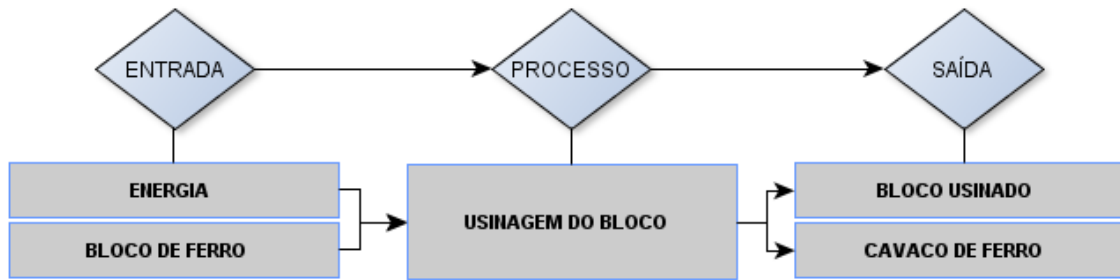
Fonte: A autora.

Durante um ano, foram geradas cerca de 580 toneladas de cavaco de alumínio com ferro na indústria. Esta categoria de resíduos não apresenta periculosidade e é inerte, sendo pertencente à classe II B. Este material é acondicionado em caçamba pequena e armazenado temporariamente na área de geração no processo produtivo, e, posteriormente, é direcionado para caçamba localizada em pátio externo, próximo ao processo produtivo. A coleta do material é realizada pela empresa E, a qual atua na reciclagem por meio do processo de fundição. Posteriormente, a empresa produz e vende materiais reciclados, como ligas de alumínio, aço inox e aço carbono.

- **Cavaco de ferro**

O cavaco de ferro é um material oriundo da usinagem do bloco de ferro, uma das atividades desempenhadas no processo produtivo (Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma da origem do cavaco de ferro



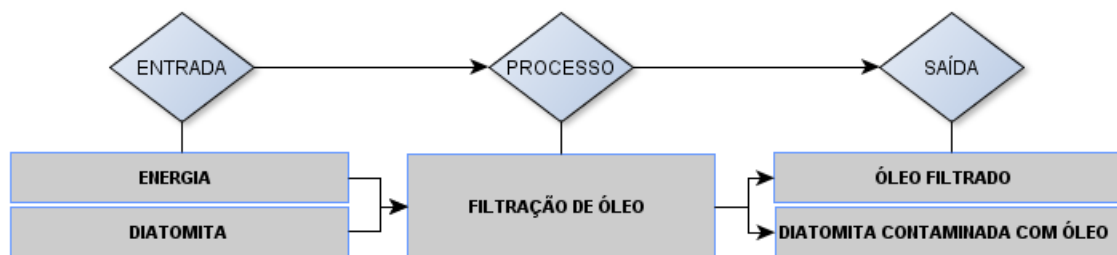
Fonte: A autora.

No período de um ano, gerou-se aproximadamente 2.380 toneladas de cavaco de ferro na indústria, pertencentes à classe II B, sendo um resíduo não perigoso e inerte. O armazenamento temporário é realizado nas dependências do processo produtivo, em caçamba de dimensões pequenas, contendo também óleo usado e a manta filtrante, a qual tem por intuito segregá-los. Posteriormente à separação, o cavaco de ferro é enviado para uma caçamba maior, localizada em pátio externo próximo ao processo produtivo. A indústria vende esse material para empresa C, atuante no ramo de reciclagem de materiais ferrosos e na produção de materiais de diversas especificações, com a finalidade de comercializar os subprodutos para clientes interessados.

- **Diatomita**

Este material é utilizado nos filtros aluvião do processo produtivo e tem papel de filtrar o óleo (Figura 11).

Figura 11 – Fluxograma da origem da diatomita



Fonte: A autora.

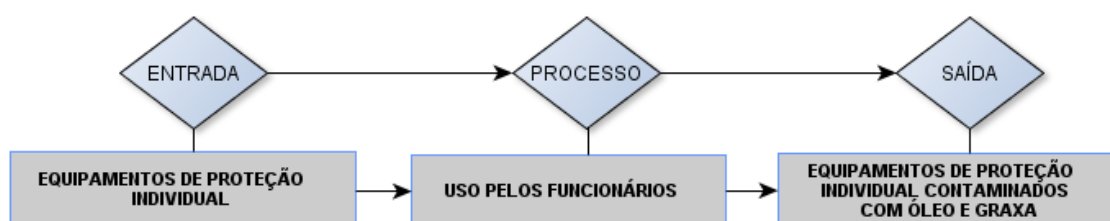
Não foi possível coletar dados sobre a geração de diatomita, exclusivamente. A quantidade do referido material bem como de EPI, manta filtrante, pasta de silicone e latas de tinta gerados pela indústria anualmente corresponde a cerca de 90 toneladas. Não foi disponibilizado o número de geração respectivo a cada um desses materiais. Sendo assim, é considerada a soma da quantidade gerada de cada um deles, totalizando o número relatado.

Por entrar em contato com óleo no processo produtivo, a diatomita é considerada um resíduo perigoso, pertencente à classe I. O armazenamento temporário ocorre no local em que é gerada no processo produtivo, sendo acondicionada em filtros aluvião. Posteriormente, este material é encaminhado para armazenamento final no galpão de resíduos, onde permanece acondicionada juntamente com mantas filtrantes em tambores metálicos de 200 litros. A coleta é realizada pela empresa G, responsável por enviar o material para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira localizada em outro município.

- **EPI contaminados**

Esta categoria de material é proveniente do uso dos EPI pelos funcionários, a fim de garantir a proteção durante o expediente de trabalho (Figura 12).

Figura 12 – Fluxograma da origem de EPI contaminados



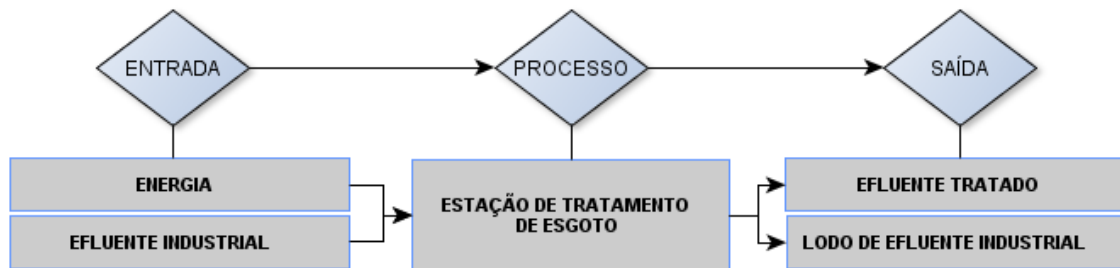
Fonte: A autora.

Os EPI são uniformes, luvas, óculos e protetores auriculares. Devido ao contato com óleo e graxa das máquinas do processo produtivo, são considerados como perigosos e, portanto, pertencentes à classe I. Dentro do processo produtivo, existem tambores metálicos pequenos que abrigam um saco plástico, no qual os EPI são acondicionados após o uso. Posteriormente, os sacos contendo esses materiais são encaminhados para o galpão de resíduos. Nesse local, existem gaiolas aramadas em que os sacos plásticos contendo EPI permanecem armazenados até a coleta. A destinação desses resíduos é de competência da empresa G, que os encaminha para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira situada em outro município.

- **Lodo de efluente industrial**

Este material provém do processo de tratamento do efluente industrial gerado na indústria (Figura 13).

Figura 13 – Fluxograma da origem do lodo de efluente industrial



Fonte: A autora.

Nas linhas de produção são utilizados óleo solúvel e óleo hidráulico nas máquinas e na usinagem dos produtos. Ademais, para a limpeza das linhas de produção e do galpão de resíduos, são usados desengraxantes. Ambos contribuem para a geração de efluente industrial. A quantidade de geração deste material não foi disponibilizada pela indústria. Devido a apresentar substâncias em sua composição que apresentam alto potencial de causar impactos negativos ao meio ambiente, o lodo de efluente industrial é considerado resíduo perigoso, pertencente à classe I.

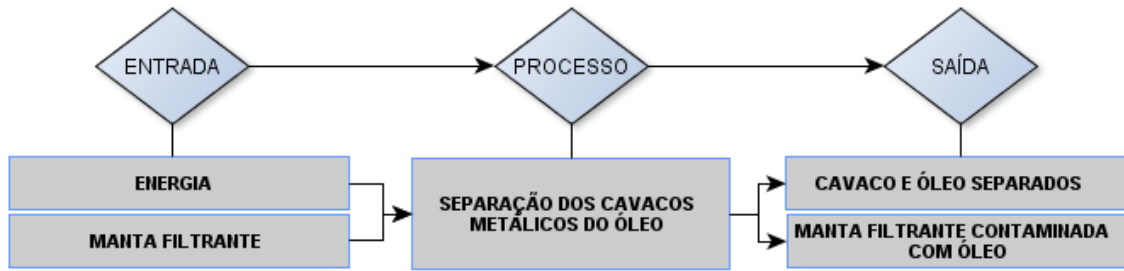
Posteriormente à geração, o efluente industrial é direcionado por tubulações para a ETE, onde receberá tratamento físico-químico. As etapas de tratamento contemplam a adição de substâncias, que causam o rompimento de ligações químicas características do óleo, e o encaminhamento para um tanque de flotação, no qual o óleo presente na superfície é retirado por raspagem. Ao final do processo, o efluente tratado é encaminhado ao coletor público.

Para o adensamento do lodo oriundo do sistema de tratamento, utiliza-se filtro prensa. O lodo procedente do filtro prensa é direcionado, por meio de tubulações, para tambores metálicos de 200 litros, devidamente identificados com etiquetas, contendo a descrição do resíduo e alertando para periculosidade que apresenta. Os tambores são encaminhados da ETE para o galpão de resíduos. É de responsabilidade da empresa G coletar e encaminhar o lodo de efluente industrial para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira localizada em outro município.

- **Manta filtrante**

Este material é oriundo do processo de separação dos cavacos metálicos gerados e do óleo do processo produtivo (Figura 14).

Figura 14 – Fluxograma da origem da manta filtrante



Fonte: A autora.

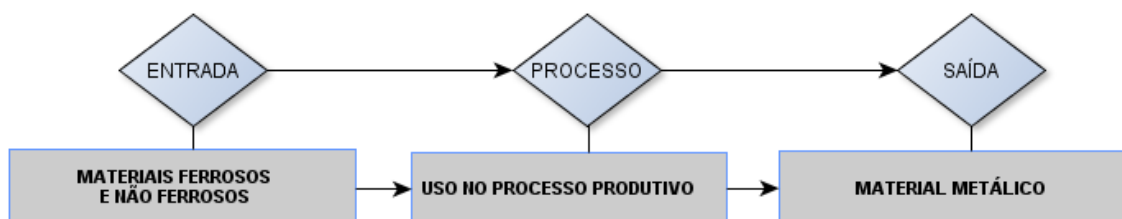
Por estar em contato direto com óleo solúvel utilizado no processo produtivo, a manta filtrante é considerada um material perigoso, pertencente à classe I. O acondicionamento temporário é feito em caçambas pequenas, localizadas dentro do processo produtivo, mais especificamente na área de geração de cavacos metálicos. Antes de serem enviadas para o galpão de resíduos, as mantas filtrantes passam por uma centrífuga, com intuito de segregá-las dos cavacos metálicos e retirar o excesso de óleo.

Vale ressaltar que estes três materiais são armazenados nas dependências do processo produtivo em conjunto. Posteriormente, as mantas contaminadas são acondicionadas em tambores metálicos de 200 litros e armazenadas no galpão de resíduos. A empresa G é responsável pela coleta e destinação para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira localizada em outro município.

- **Material metálico**

Os materiais metálicos são excedentes gerados nas linhas de produção dos produtos dos tipos A e B (Figura 15).

Figura 15 – Fluxograma da origem do material metálico



Fonte: A autora.

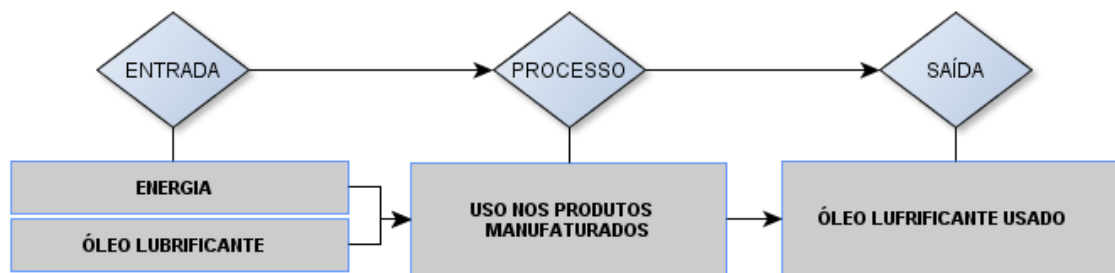
A indústria gera cerca de 450 toneladas de material metálico durante o período de um ano. Esse material não é perigoso e é inerte, portanto, pertence à classe II B. Após a geração, é direcionado da área de origem para área externa, localizada nos arredores do processo produtivo. O material metálico é acondicionado em caçamba, coletada pela empresa

C. Esta, que também coleta cavaco de ferro, realiza a fundição e a fabricação de insumos reciclados para fins de comercialização.

- **Óleo lubrificante**

O óleo lubrificante é utilizado nos produtos fabricados pela unidade industrial para a etapa de teste (Figura 16).

Figura 16 – Fluxograma da origem do óleo lubrificante



Fonte: A autora.

As linhas de produção da indústria geram anualmente cerca de 3.330 toneladas de óleo lubrificante utilizado nos produtos manufaturados pela unidade. Devido à periculosidade que apresenta, ele pertence à classe I. O óleo usado é acondicionado em galões plásticos translúcidos, armazenados no galpão de resíduos. Diferentemente dos outros resíduos perigosos, que são coletados e enviados para destinação adequada em ambiente externo à indústria, o óleo recebe tratamento *in situ*. A empresa H é responsável por realizar o processo de reciclagem do óleo usado nos domínios da indústria, por meio do rerrefino. A partir desse processo, o óleo reciclado torna-se apto para uso e retorna para o processo produtivo, onde será utilizado novamente.

- **Panos e estopas**

Este material é proveniente do uso para limpeza de maquinários e peças usadas no processo produtivo (Figura 17).

Figura 17 – Fluxograma da origem de panos e estopas



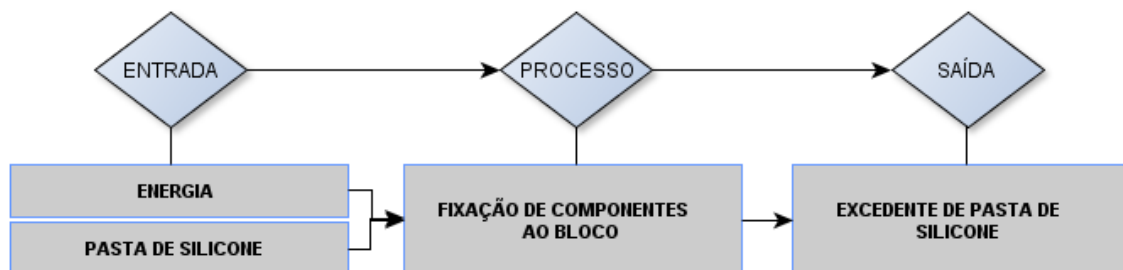
Fonte: A autora.

Durante o período de um ano, são geradas na indústria aproximadamente 100 toneladas de panos e estopas contaminados. O acondicionamento desse material é feito em tambores metálicos com tampa, os quais abrigam sacos plásticos em seu interior. O armazenamento temporário ocorre em área do processo produtivo. Posteriormente, os sacos contendo panos e estopas contaminados são encaminhados para o galpão de resíduos, onde são armazenados em gaiolas aramadas. As etapas de coleta e destinação são de responsabilidade da empresa I, que realiza a lavagem deste material. Dessa forma, panos e estopas limpos retornam para a indústria e são utilizados novamente.

- **Pasta de silicone**

O excedente de pasta de silicone é oriundo do processo de fixação de componentes ao bloco de metal fundido, etapa desempenhada nas linhas de produção (Figura 18).

Figura 18 – Fluxograma da origem de pasta de silicone



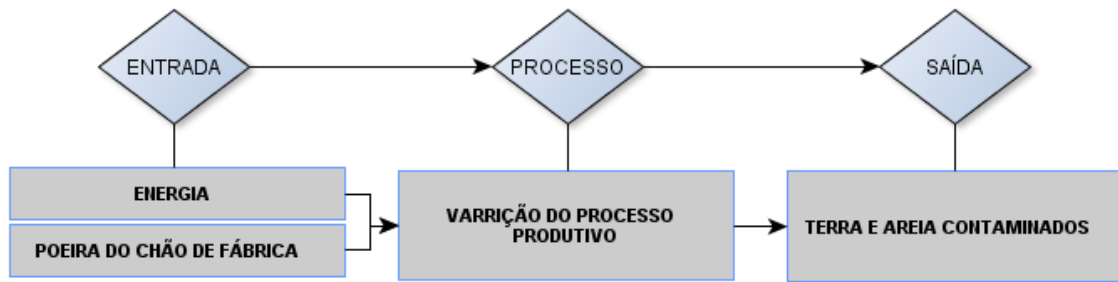
Fonte: A autora.

Devido às características que apresenta em sua composição, o excedente de pasta de silicone pertence à classe I. Após a geração, é diretamente disposto em um recipiente de plástico rígido de coloração branca, localizado abaixo da máquina que produz o excedente do material. Posteriormente, é encaminhado para o galpão de resíduos. As etapas de coleta e destinação são realizadas pela empresa G, que encaminha o material para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira situada em outro município.

- **Varrição de fábrica**

O processo de varrição do chão de fábrica resulta na geração de terra e areia contaminadas (Figura 19).

Figura 19 – Fluxograma da origem de materiais de varrição de fábrica



Fonte: A autora.

A quantidade de terra e areia contaminadas oriundas do processo de varrição da indústria corresponde a 70 toneladas anuais. Esse material é considerado como classe I, por ser proveniente do chão das linhas de produção, sobre os quais pode haver algum tipo de material perigoso. Após a geração, os produtos decorrentes da varrição são acondicionados em tambores metálicos de 200 litros, nas dependências do galpão de resíduos. A coleta e destinação é realizada pela empresa G, que encaminha o material para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira localizada em outro município.

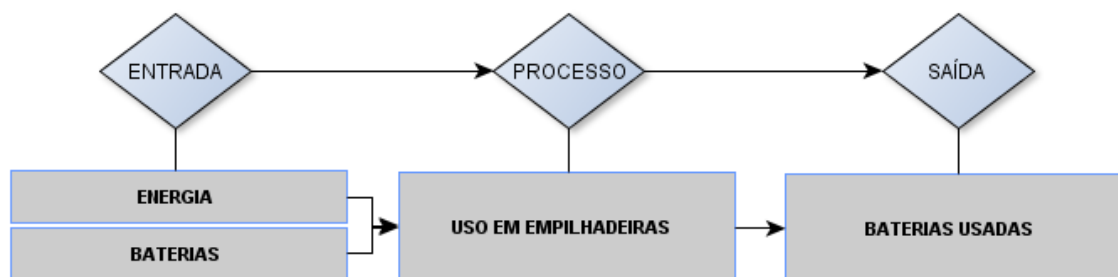
b) Materiais gerados na indústria em geral

Neste tópico, serão apresentados os materiais gerados em outros domínios da indústria, como escritórios, área de recebimento de materiais, restaurante, cozinha e ambulatório. Desta forma, desconsidera aqueles oriundos do processo produtivo.

• Baterias

As baterias usadas provêm da utilização em empilhadeiras, com intuito de permitir o funcionamento das mesmas (Figura 20).

Figura 20 – Fluxograma da origem de baterias



Fonte: A autora.

A quantidade de baterias usadas gerada pela indústria não foi disponibilizada. São pertencentes à classe I, pois apresentam substâncias em sua composição que as confere

periculosidade. Após o fim da vida útil, são retiradas das empilhadeiras e armazenadas a granel no galpão de resíduos. Quando atingem uma quantidade que compense o custo do transporte, são enviadas para unidade da indústria situada em outro município. Nessa planta industrial, são coletadas e destinadas pela empresa K, atuante na reciclagem de baterias.

- **Embalagens de alimentos**

Na indústria, há um restaurante que serve refeições no café da manhã, almoço e jantar, contemplando todos os turnos de trabalho dos funcionários. Os alimentos são preparados em cozinha localizada dentro da indústria, o que resulta na geração de embalagens de alimentos (Figura 21).

Figura 21 – Fluxograma da origem de embalagens de alimentos



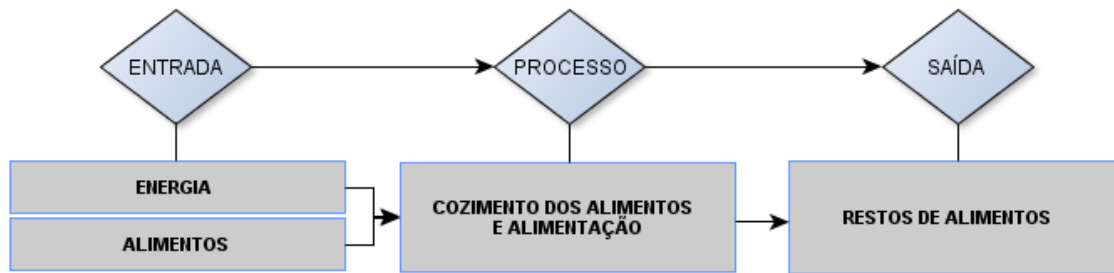
Fonte: A autora.

Anualmente, cerca de 10 toneladas de embalagens de alimentos são geradas na indústria. Esse material pertence à classe II A, pois não apresenta periculosidade e não é inerte. Após a geração, o acondicionamento é realizado em lixeiras dispostas no ambiente da cozinha. Posteriormente, o acondicionamento é feito em caçamba coberta. A coleta e a destinação do material são de responsabilidade da empresa A, encarregada do envio de restos de alimentos provenientes dos restaurantes e da cozinha para compostagem. Anteriormente à compostagem, a empresa realiza a segregação dos restos de alimentos das embalagens, com intuito de não comprometer o processo. As embalagens de alimentos são, então, encaminhadas para disposição ambientalmente correta em aterro sanitário.

- **Restos de alimentos**

Os restos de alimentos são oriundos do preparo bem como do excedente de refeições (Figura 22).

Figura 22 – Fluxograma da origem de restos de alimentos



Fonte: A autora.

A indústria gera aproximadamente 20 toneladas de restos de alimentos durante o período de um ano. Este material pertence à classe II A, pois não apresenta em sua composição características que o concedem periculosidade e, também, não são inertes. O acondicionamento é feito em lixeiras dispostas nos ambientes da cozinha e do restaurante. Posteriormente, são acondicionados em caçamba coberta para serem coletados e destinados pela empresa A.

Nos domínios da mesma, anteriormente ao envio para o processo de compostagem propriamente dito, o material passa por um processo de triagem, no qual separam-se os restos de alimentos de embalagens de produtos alimentícios. Posteriormente, os restos de alimentos são enviados para compostagem. O composto orgânico resultante do processo é utilizado por agricultores como adubo em culturas agrícolas.

- **Embalagens de latas de tinta**

Este material é gerado esporadicamente na indústria, somente em casos de manutenção da pintura dos prédios que compõem a unidade industrial (Figura 23).

Figura 23 – Fluxograma da origem de embalagens de latas de tinta



Fonte: A autora.

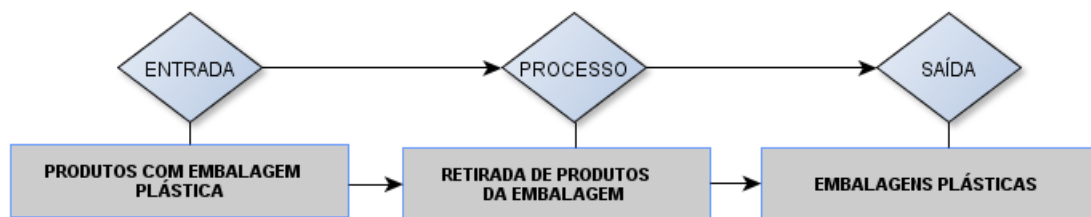
A manutenção da pintura dos prédios não é realizada com frequência na indústria e, por conseguinte, não existe uma estimativa da quantidade gerada desses resíduos. As embalagens de tintas para fins imobiliários contendo filme seco de tinta em seu interior não apresentam periculosidade e, portanto, se enquadram na classe II A. Em casos de realização

de pinturas nos prédios, após a geração, as embalagens de latas de tinta são encaminhadas para o galpão de resíduos. A empresa G é responsável pela coleta e destinação para coprocessamento em fornos de indústria cimenteira localizada em outro município.

- **Embalagens plásticas**

Este tipo de material origina-se em locais como a recepção, em escritórios e lixeiras localizadas nos arredores dos prédios da indústria, e corresponde a embalagens plásticas de alimentos, instrumentos de escritório e outras (Figura 24).

Figura 24 – Fluxograma da origem de embalagens plásticas



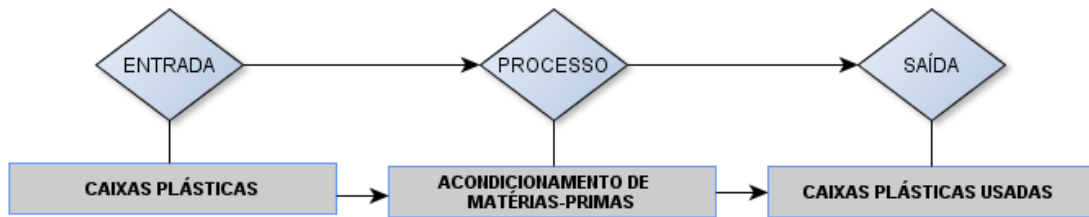
Fonte: A autora.

A indústria gera cerca de 140 toneladas de plásticos anualmente. Este material é classificado como II A, devido à ausência de periculosidade em sua composição e por não ser inerte. As embalagens plásticas são acondicionadas em sacos plásticos, dispostos em lixeiras localizadas nos escritórios e nos arredores do processo produtivo. Sendo assim, após a geração, permanecem nos setores de origem e, posteriormente, são encaminhados à área de segregação de materiais. Os resíduos passam por triagem e, aqueles identificados como passíveis de reciclagem, de acordo com o tipo e aceitabilidade de venda no mercado, são encaminhados para esta forma de destinação. Portanto, a empresa F realiza a coleta e a reciclagem.

- **Caixas plásticas**

Este tipo de material é oriundo do recebimento de materiais pela indústria, a serem utilizados no processo produtivo (Figura 25).

Figura 25 – Fluxograma da origem de caixas plásticas



Fonte: A autora.

De forma similar às embalagens, as caixas plásticas são classificadas como II A, sendo não perigosas e não inertes. São provenientes da área de recebimento de materiais e, após a retirada de matérias-primas contidas nas mesmas, são acondicionadas a granel e armazenadas no mesmo local em que foram geradas. Este material retorna para o fornecedor e, posteriormente, à indústria para o recebimento de novos materiais. Dessa forma, as caixas plásticas são reutilizadas.

- **Isopor**

O isopor é proveniente de embalagens de produtos recebidos a serem utilizados no processo produtivo (Figura 26).

Figura 26 – Fluxograma da origem de isopor



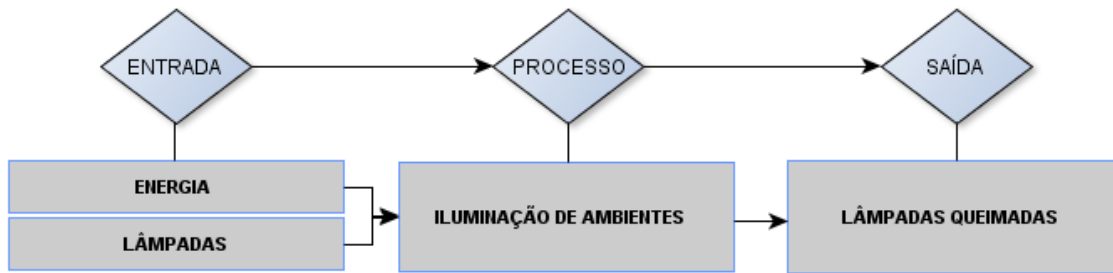
Fonte: A autora.

A quantidade de isopor sem uso gerada na indústria anualmente corresponde à 2 toneladas. Esse tipo de material não apresenta periculosidade e não é inerte, sendo pertencente à classe II A. O isopor sem uso é encaminhado da área de recebimento de materiais, onde é originado, para a área de segregação de materiais. A empresa F coleta e destina o material para reciclagem, além do direcionamento para empresas que possuem interesse em comprá-lo.

- **Lâmpadas queimadas**

Este tipo de material provém de diversas áreas da unidade industrial que dispõem de iluminação (Figura 27).

Figura 27 – Fluxograma da origem de lâmpadas queimadas



Fonte: A autora.

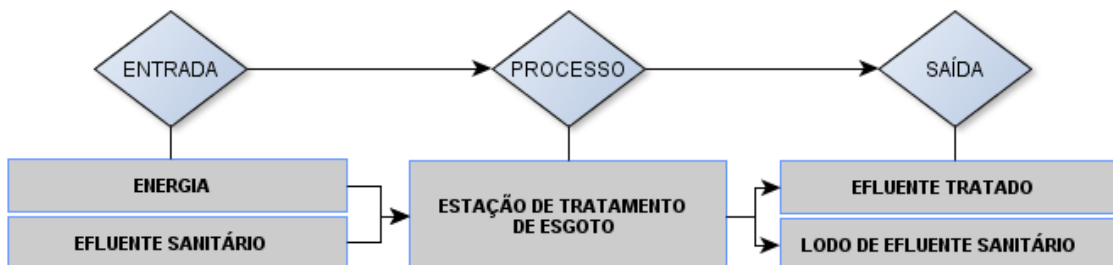
Devido às substâncias utilizadas em sua composição, as lâmpadas queimadas são consideradas perigosas e, portanto, pertencentes à classe I. A quantidade de geração deste material pela indústria não foi disponibilizada. A geração é eventual e ocorre somente em casos do fim da vida útil da lâmpada. As utilizadas para iluminação da fábrica são fluorescentes, no entanto, a unidade industrial está substituindo para LED, mais econômicas e duráveis, embora o investimento inicial seja maior.

Quando queimadas, são encaminhadas para o galpão de resíduos, onde são acondicionadas em caixa de madeira. Ao atingir a sua capacidade, a indústria entra em contato com a empresa J, responsável pela coleta e destinação. Essa empresa realiza a descontaminação e a reciclagem das lâmpadas queimadas.

- **Lodo de efluente sanitário**

Este material provém do processo de tratamento do efluente sanitário gerado na indústria (Figura 28).

Figura 28 – Fluxograma da origem de lodo de efluente sanitário



Fonte: A autora.

O efluente doméstico, oriundo da utilização de água na cozinha, sanitários e restaurante, é encaminhado para rede coletora de esgoto da indústria e, posteriormente, para a

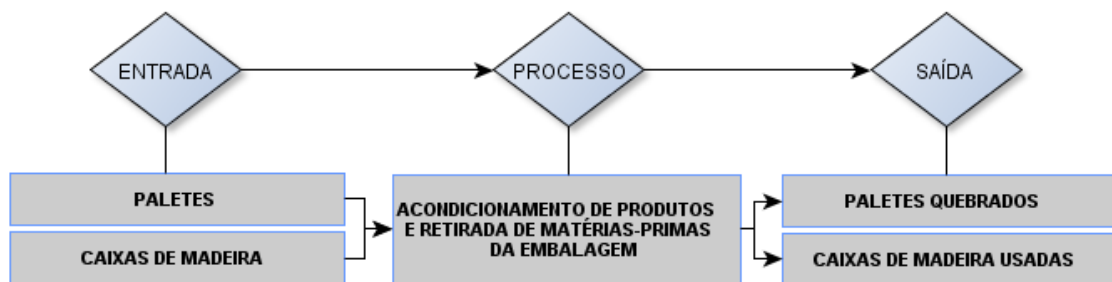
ETE. Com a finalidade de tratar o efluente doméstico, utiliza-se o sistema de lodos ativados, o qual gera lodo de efluente sanitário.

A quantidade gerada desse material não foi disponibilizada pela indústria. Entretanto, acredita-se que a geração seja menor que a de lodo de efluente industrial, pois a utilização de água em sanitários, restaurante e cozinha ocorre em menor escala em relação a geração de óleo no processo produtivo, que permanece em funcionamento por diversas horas por dia. A empresa B coleta o lodo de efluente sanitário nas dependências da ETE e o dispõe em aterro sanitário.

- **Madeira**

A madeira provém da área de recebimento de materiais e é utilizada para acondicionar os produtos manufaturados na indústria (paletes) e matérias-primas recebidas (caixas de madeira) (Figura 29).

Figura 29 – Fluxograma da origem da madeira



Fonte: A autora.

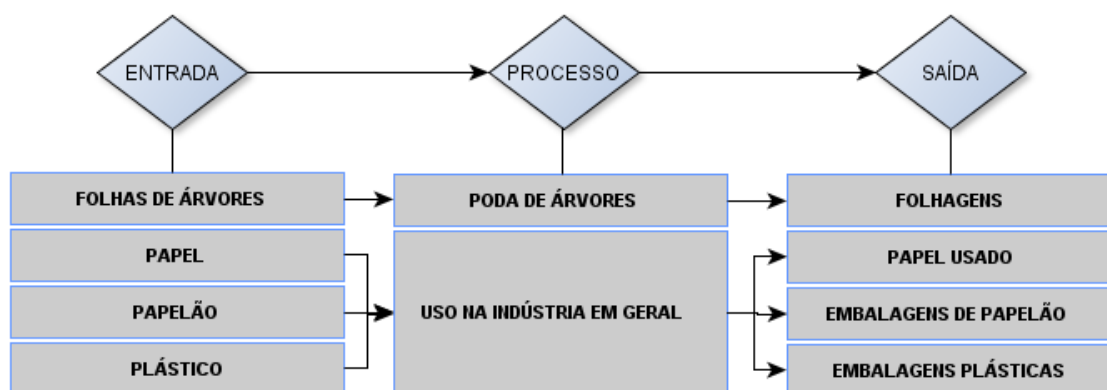
Constatou-se que aproximadamente 550 toneladas de madeira foram geradas na indústria no período de um ano. Este material pertence à classe II A, sendo não perigoso e não inerte. Após a geração, é transportado da central de recebimento de materiais para a área de segregação de materiais, onde é separado das demais categorias e acondicionado em caçamba, para fins de coleta. A empresa F é encarregada de realizar as etapas de coleta e a destinação. As madeiras são recicladas e revendidas para outras empresas interessadas no material.

- **Materiais diversos passíveis de reciclagem**

Esta categoria apresenta diferenças em relação à de papel e papelão (a qual será apresentada adiante), embalagens plásticas e caixas plásticas pois a destinação desses materiais é distinta em relação aos materiais referidos no presente tópico. Por este motivo, optou-se por segregá-los das demais categorias que abarcam tipos de materiais com características próximas ou semelhantes.

Os materiais diversos passíveis de reciclagem são provenientes da retirada de embalagens de alimentos e, igualmente, de produtos utilizados nos escritórios (Figura 30).

Figura 30 – Fluxograma da origem dos materiais passíveis de reciclagem



Fonte: A autora.

A quantidade gerada desses materiais durante o período de um ano corresponde a 30 toneladas. Esses resíduos pertencem à classe II A, pois não apresentam periculosidade e não são inertes.

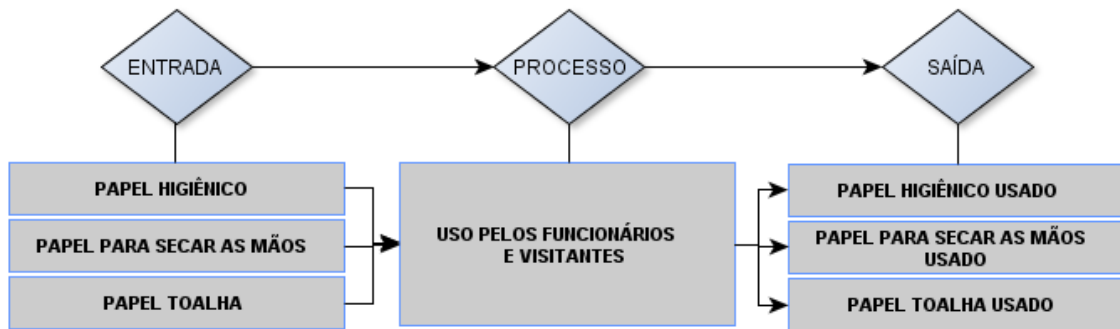
O acondicionamento é feito em sacos plásticos, alocados em lixeiras localizadas nos escritórios e recepção e, também, em coletores presentes em diversas áreas da indústria, as quais compreendem o processo produtivo, arredores dos restaurantes, caminhos que levam até os galpões dos processos produtivos referentes aos dois tipos de produtos. Vale ressaltar que os coletores são dispostos em pontos estratégicos de geração e apresentam identificação de acordo com o estabelecido pela Resolução Conama nº 275, de 25 de abril de 2001.

Já as folhagens, após a geração, são acondicionadas em sacos plásticos. Posteriormente, todos esses materiais são encaminhados para área de segregação de materiais, onde passam por um processo de triagem, a fim de identificar os passíveis de reciclagem, de acordo com sua composição e resposta do mercado perante a compra do material. Os resíduos que não apresentam mercado de compra, são coletados pela empresa B e encaminhados para disposição final ambientalmente adequada em aterro sanitário.

- **Papéis usados para fins de higiene**

Estes materiais são oriundos da utilização de papel pelos funcionários e visitantes, nos sanitários ou restaurante (Figura 31).

Figura 31 – Fluxograma da origem de papéis usados para fins de higiene



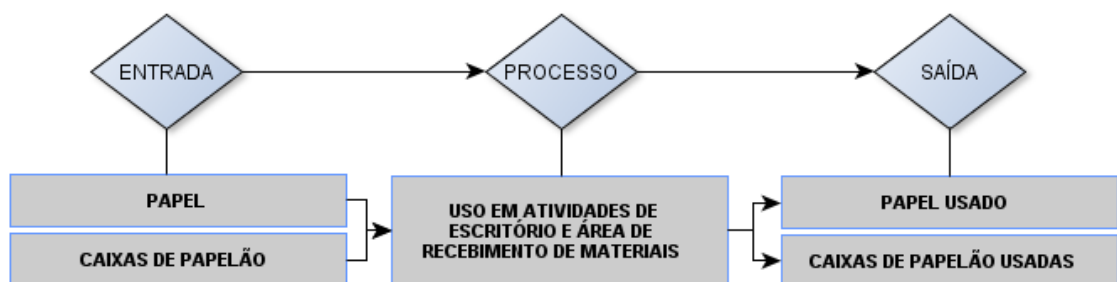
Fonte: A autora.

A quantidade gerada anualmente de papéis para fins de higiene na indústria é de aproximadamente 40 toneladas. Esse material pertence à classe II A, sendo isento de periculosidade e não inerte. O acondicionamento é realizado em lixeiras, as quais abrigam sacos plásticos e estão localizadas nas dependências do restaurante e sanitários. O armazenamento temporário é feito, portanto, nestes dois locais de geração. Posteriormente, os sacos contendo o material são enviados para a área de segregação de materiais. A coleta e a destinação são realizadas pela empresa B, que envia o material para aterro sanitário.

- **Papel e papelão**

Os papéis e papelões são provenientes da utilização em atividades de escritório e do recebimento de materiais a serem usados na indústria (Figura 32).

Figura 32 – Fluxograma da origem de papel e papelão



Fonte: A autora.

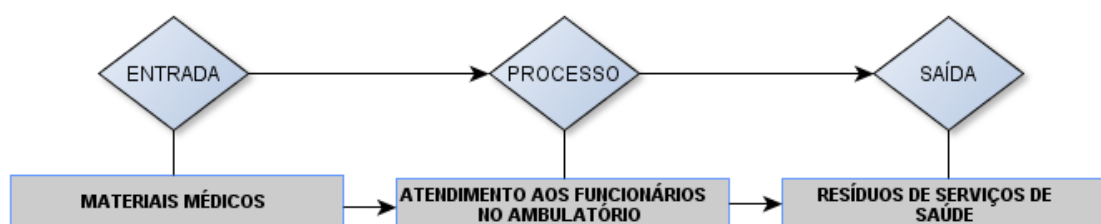
A quantidade de papel usado e de caixas de papelão gerada durante o período de um ano pela indústria corresponde à aproximadamente 310 toneladas. Esses materiais são classificados como II A, pois não apresentam periculosidade e não são inertes. Os papéis usados são acondicionados em sacos contidos em lixeiras presentes nos escritórios e, posteriormente, são direcionados à área de segregação de materiais. Já as caixas de papelão, após a geração, são encaminhadas para a área de segregação de materiais. Para serem

coletados, ambos os materiais são acondicionados em caçamba. A destinação dos papéis e papelões gerados na indústria é a reciclagem, realizada por empresa F, também responsável pela coleta e que realiza a reciclagem.

- **Resíduos de serviços de saúde**

A indústria possui um ambulatório para atender funcionários em caso de emergências de saúde, no qual geram-se RSS (Figura 33).

Figura 33 – Fluxograma da origem de resíduos de serviços de saúde



Fonte: A autora.

Nesse ambiente, são utilizadas luvas, algodão, seringas, gaze, agulha, abaixador de língua, esparadrapos e demais materiais médicos. Em comparação com os outros tipos abordados no presente estudo, os RSS compõem uma parcela pouco significativa da geração de resíduos na indústria, o equivalente a cerca de 0,02 toneladas no período de um ano. Estes materiais são classificados como perigosos, pois podem apresentar em sua composição presença de microrganismos patogênicos e demais características que o conferem periculosidade, como toxicidade, corrosividade, inflamabilidade e reatividade.

O ambulatório da indústria é responsável pela geração de RSS pertencentes aos grupos A, B, D e E¹. Resíduos que apresentam radioatividade, enquadrados no grupo C, não são gerados, pois o ambulatório não possui equipamento para realização exames de raio-x. De acordo com o previsto no Art. 20, inciso I, da PNRS os estabelecimentos geradores de RSS devem elaborar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRSS). Vale ressaltar que a indústria cumpre essa obrigatoriedade, pois apresenta PGRSS que atende o conteúdo mínimo descrito no Art. 23 da PNRS.

O ambulatório possui lixeiras constituídas por plástico rígido, devidamente identificadas. Para o acondicionamento dos resíduos pertencentes aos grupos A e B são utilizados sacos brancos leitosos de 30 litros, para o grupo D são utilizados sacos pretos de 30

¹ Para a compreensão sobre os grupos de RSS, recomenda-se a consulta à Anvisa RDC nº 222 de 2018 e Resolução Conama nº 358 de 2005.

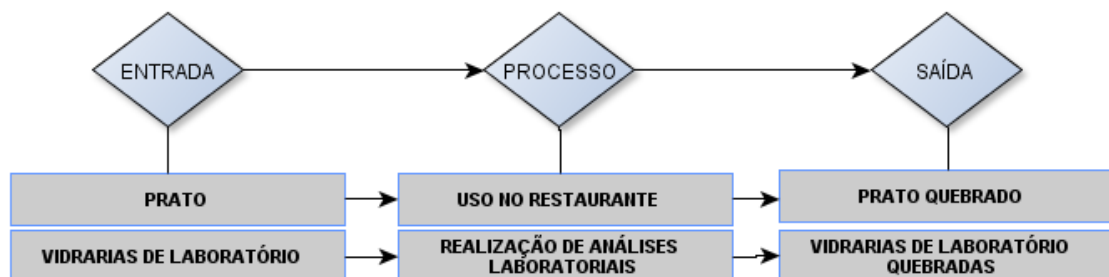
litros e para o Grupo E, caixas de papelão do tipo Descarpack. Os materiais contaminados permanecem armazenados no ambulatório até que sejam coletados.

A empresa B é responsável pela coleta, tratamento e disposição final dos RSS gerados na indústria. Os resíduos do grupo D são encaminhados para aterro sanitário do município, pois suas características se assemelham aos resíduos domiciliares. Os resíduos dos grupos A, B e E recebem tratamento em autoclave. Segundo Message (2019), a autoclavagem consiste em um método térmico de tratamento dos RSS, que são expostos a altas temperaturas e pressão. O processo contribui para desinfecção e descaracterização do resíduo, que, posteriormente, é disposto em aterro sanitário.

- **Vidro**

Este material é gerado esporadicamente na indústria, somente em casos de quebra de pratos no restaurante ou de vidrarias utilizadas no laboratório (Figura 34).

Figura 34 – Fluxograma da origem de vidro



Fonte: A autora.

Os vidros pertencem à classe II B, pois não apresentam características em sua composição que os conferem periculosidade e, também, são inertes. Não há geração significativa destes materiais na indústria, pois a mesma não ocorre com frequência, apenas esporadicamente. Em decorrência de tal fato, não existe uma estimativa da quantidade de materiais de vidro gerados. Posteriormente à geração, os materiais de vidro são enviados para a área de segregação de materiais. Nessa localidade, são coletados e destinados para reciclagem pela empresa F.

Ao todo, foram identificados 27 tipos de materiais gerados nas atividades desempenhadas pela indústria (Quadro 8).

Quadro 8 – Tipos de materiais identificados no diagnóstico

Tipos de materiais identificados	
1 – Panos e estopas	15 - Vidro
2 – Caixas plásticas	16 – Diatomita
3 – Cavaco de alumínio	17 – EPI contaminado
4 – Cavaco de alumínio com ferro	18 – Lodo de efluente industrial
5 – Cavaco de ferro	19 – Manta filtrante
6 – Material metálico	20 – Pasta de silicone
7 – Óleo lubrificante	21 – Varrição de fábrica
8 – Baterias	22 – Embalagens de latas de tinta
9 – Restos de alimentos	23 – Embalagens de alimentos
10 – Embalagens plásticas	24 – Lodo de efluente sanitário
11 – Isopor	25 – Materiais diversos passíveis de reciclagem
12 – Lâmpadas queimadas	26 – Papéis usados para fins de higiene
13 - Madeira	27 – Resíduos de serviços de saúde
14 – Papel e papelão	

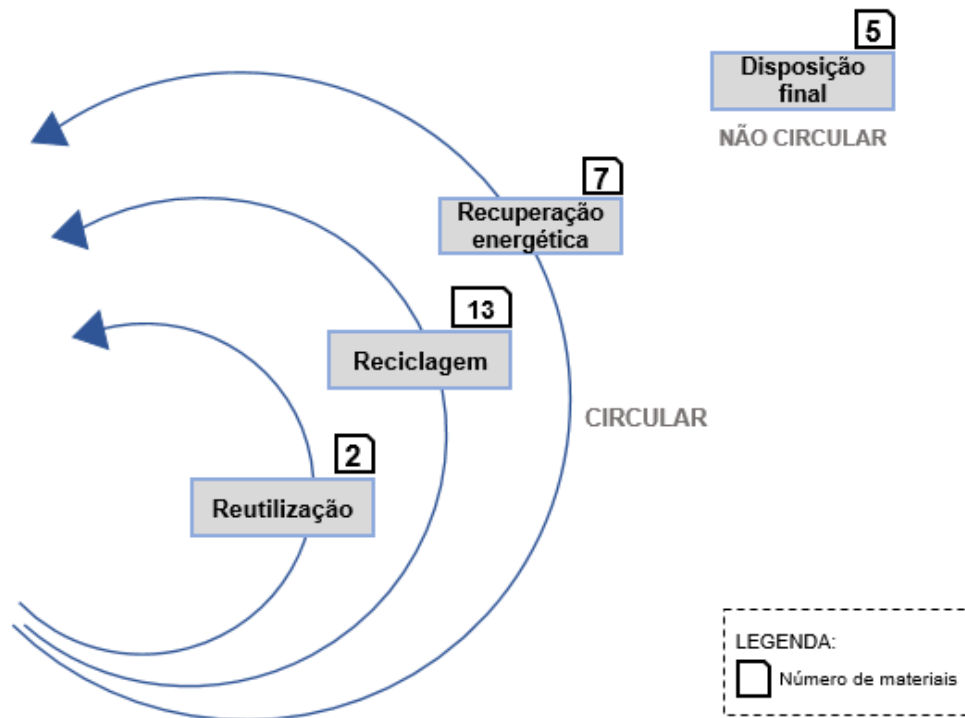
Fonte: A autora

Deste total, 12 são gerados especificamente nas linhas de produção dos dois tipos de produtos manufaturados e 15 são gerados em atividades realizadas em outros locais, entre eles área de recebimento de materiais, escritórios, recepção, restaurante, cozinha, sanitários, ambulatório e laboratório.

5.4. Identificação das formas de destinação mais e menos adotadas para os materiais

Diante das informações coletadas para a elaboração do diagnóstico, identificou-se 4 formas de destinação adotadas para os materiais gerados: reutilização, reciclagem, recuperação energética e disposição final. Tais elementos são considerados como base para a avaliação da circularidade dos materiais gerados nas dependências da indústria objeto de estudo da presente pesquisa. Abaixo, consta a Figura 35, na qual os materiais gerados na indústria são agrupados de acordo com a alternativa de destinação que recebem.

Figura 35 – Quantidade de tipos de materiais gerados por forma de destinação

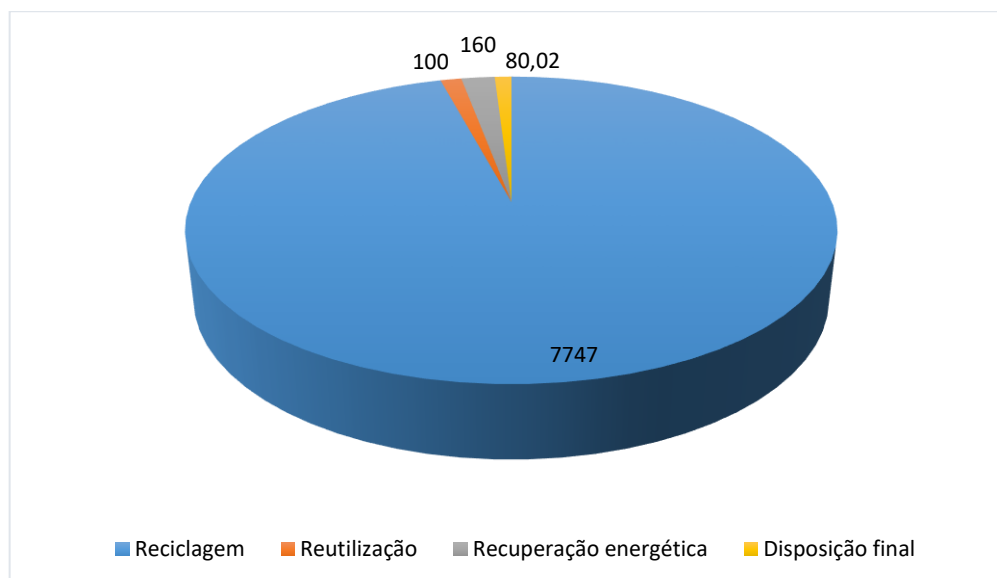


Fonte: A autora.

Pelo menos 100 toneladas de materiais são destinadas à reutilização, 7.747 à reciclagem, 160 à recuperação energética e, por fim, 80,02 para a disposição final. Dessa forma, observa-se que elevada quantidade de materiais é destinada à reciclagem e pouca quantidade é enviada para recuperação energética, disposição final e reutilização (Figura 36).

Cabe destacar que esses valores obtidos são referentes à 20 tipos de materiais, sobre os quais foi possível obter informações sobre a quantidade gerada. Desta forma, a quantidade de 7 tipos de materiais não foi contabilizada na elaboração da figura abaixo, pois não foi possível coletar informações sobre eles. Destes 7 tipos de materiais, 4 são enviados para reciclagem, 1 para reutilização, 1 para recuperação energética e 1 para disposição final.

Figura 36 – Quantidade de materiais em toneladas enviada para cada tipo de destinação anualmente



Fonte: A autora.

5.5. Avaliação da circularidade dos materiais gerados na indústria e identificação de oportunidades e desafios

Não foi possível coletar informações sobre a fonte de energia utilizada no processo produtivo da indústria, se é de origem renovável ou não renovável. Acredita-se que seja utilizada energia elétrica. No entanto, foi identificado que 52% dos materiais gerados na indústria são oriundos de processos que demandam o consumo de energia, enquanto 48% são provenientes de processos que não utilizam energia. Nota-se que, além do consumo de matérias-primas, as atividades industriais necessitam de utilização de energia, principalmente aquelas relativas aos processos produtivos.

Diante da concepção da circularidade, deve-se considerar em primeira instância, o uso de energia de fontes renováveis, a fim de reduzir a extração de recursos finitos para fins energéticos. Em paralelo, recomenda-se a utilização de tecnologias que apresentem bom desempenho para a realização dos processos, a fim de gerar menor quantidade de excedentes de produção possível.

Observa-se que as escolhas de energia e matéria-prima no início do processo produtivo resultam em reflexos nos materiais gerados ao fim do mesmo e, devido a isso, não se deve planejar e executar ações visando melhorias somente ao fim do processo. A EC, no que diz respeito à gestão e ao gerenciamento resíduos sólidos, leva em consideração o planejamento das etapas que antecedem e influenciam a geração, com intuito de prevenir e reduzir.

Em relação à periculosidade, considerando a totalidade dos tipos de materiais gerados, constata-se que a indústria apresenta geração de 59% tipos de materiais não perigosos e 41% tipos de materiais perigosos. Embora a quantidade gerada de alguns tipos de materiais não tenha sido disponibilizada, presume-se que os não perigosos sejam gerados em maior quantidade, o que se explica, principalmente, pela geração de elevada quantidade de cavacos de alumínio, cavacos de alumínio com ferro e cavacos de ferro, além dos materiais metálicos (3.535 toneladas anuais). Estas categorias possuem geração elevada devido ao processo produtivo se fundamentar na usinagem dos blocos metálicos fundidos, atividade que ocorre durante os turnos de trabalho da manhã, tarde e noite.

O restante dos materiais não perigosos abrange restos e embalagens de alimentos, embalagens de tinta, papéis para fins de higiene, papel e papelão, plástico, vidro, madeira e isopor. Os materiais perigosos são oriundos das linhas de produção, exceto os RSS, baterias e lâmpadas queimadas. O óleo lubrificante é o material perigoso gerado em maior quantidade pela indústria (3.330 toneladas anuais), devido a utilização no processo produtivo.

Em relação ao local de destinação, constatou-se que 96% dos materiais são destinados em locais externos à indústria e 4% internamente, o que indica o dispêndio de recursos financeiros pela indústria para o transporte e embalagens de quase todos os tipos de materiais gerados. Ademais, remete à existência de custos relacionados ao combustível do veículo utilizado como meio de transporte dos materiais e a mão de obra empregada no serviço. Portanto, em termos geográficos, os materiais gerados na indústria apresentam baixa circularidade, pois são majoritariamente destinados em local externo ao que foram originados, representando custos e processos adicionais relativos à tais atividades.

Até o presente momento, pretendeu-se descrever as principais observações referentes às informações extraídas do diagnóstico, o que permitiu a obtenção de um panorama básico dos materiais gerados na indústria. A seguir, serão apresentadas informações mais aprofundadas sobre cada uma das formas de destinação, descrevendo oportunidades para intensificar a circularidade dos materiais identificados no diagnóstico.

- **Reutilização**

Abaixo, são apresentadas algumas informações do diagnóstico que são pertinentes para a discussão do presente tópico e, também, as principais oportunidades identificadas para a aplicação da EC (Quadro 9).

Quadro 9 – Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para reutilização

Ciclo da EC	Tipo de material	Classificação	Destinação interna ou externa	Principais oportunidades identificadas
Técnico	Panos e estopas	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar sistemas de lavagem deste material em ambiente interno à indústria • Manutenção preventiva do maquinário • Controle da quantidade de óleo inserida no processo produtivo
	Caixas plásticas	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Usar somente o necessário • Estender a reutilização do material, seja para mesma finalidade a que foi concebida ou distinta.

Fonte: A autora.

A reutilização é adotada para cerca de 7% dos materiais oriundos das atividades da indústria, sendo, portanto, a estratégia de destinação menos contemplada. Este cenário demonstra que a destinação da maioria dos materiais gerados na indústria se distancia de estratégias consideradas prioritárias na concepção da EC.

O reuso dos materiais para a mesma finalidade a que foram concebidos ou para fins distintos evita a perda dos insumos materiais, energéticos e de mão de obra investidos na etapa de sua confecção. Ademais, é uma estratégia vantajosa para o gerenciamento dos materiais gerados, pois não demanda o uso de insumos para realização da recuperação, como é o caso da reciclagem. Nesse sentido, nota-se que a reutilização é uma alternativa de destinação pouco contemplada para os materiais da indústria, embora seja considerada prioritária devido à manutenção do valor agregado aos materiais que promove, correspondente ao princípio de valorização da EC.

Em relação à periculosidade dos materiais enviados para a reutilização, 50% são classificados como perigosos (panos e estopas) e 50% como não perigosos (caixas plásticas). Os panos e estopas passam a apresentar periculosidade após o contato com óleos e graxas oriundos do processo produtivo e, caso não houvesse, seria classificado não perigoso. Devido a esse fato, novamente, destaca-se a relevância do uso de insumos livres de toxicidade como matérias-primas do processo produtivo sempre que possível.

Os panos e estopas contaminados, utilizados pelos funcionários do processo produtivo, são destinados à lavagem para posterior reuso. Durante uma das visitas à planta industrial, o gestor da área de meio ambiente relatou que, devido à composição desse material, a reutilização torna-se viável, pois mesmo após a lavagem a qualidade do produto é mantida. Para a lavagem dos panos e estopas contaminados, a indústria estabeleceu parceria com uma empresa que coleta o material e realiza o serviço, o que enfatiza, mais uma vez, a necessidade de colaboração e interação entre agentes para a criação e manutenção de fluxos circulares.

Em relação à circularidade em termos geográficos, o envio para a lavagem em empresa localizada em outro município resulta em custos com transporte para a indústria, como constatado por Stahel (2013). Nota-se que, em relação aos panos e estopas, embora a reutilização seja considerada um fluxo circular interno que conserva o valor dos materiais e os recupera, em termos geográficos é caracterizado por um fluxo circular mais externo, devido aos custos com transporte e utilização de insumos como combustível para tal fim.

Em relação à proposta de ciclos menores em termos geográficos, a indústria pode analisar a viabilidade da instalação de equipamentos de lavagem destes materiais internamente, de forma a enviar o efluente gerado para a ETE destinada a efluentes industriais. Dessa forma, os custos com o transporte e serviço desempenhados por uma empresa terceirizada tornam-se desnecessários. Inicialmente, a indústria necessitará dispender recursos financeiros para a implementação dessa alternativa. Entretanto, deve-se superar o ideal de obter retornos a curto prazo (desafio relatado pelo gestor de meio ambiente durante a entrevista) e analisar a estratégia que apresenta potencial de gerar benefícios a longo prazo, o que consiste em uma das premissas da EC, relatada por CNI (2018).

Os panos e estopas são utilizados para limpeza de óleos e graxas provenientes das linhas de produção. A manutenção preventiva das máquinas visando bom desempenho bem como o controle da quantidade de óleo inserido nelas deve ser priorizada, visando atenuar desperdícios do material e a geração de excedentes. Com isso, pode-se reduzir o uso de panos e estopas para a limpeza. Percebe-se que a redução da geração de resíduos representa a economia de custos para a indústria com a destinação.

Reutilizar o material representa o aumento do rendimento dos recursos utilizados em sua confecção, prolongando a durabilidade. Dessa forma, minimiza-se a demanda de compra de novos panos e estopas, o que pode representar a redução de gastos para a empresa nesse aspecto. Ademais, ao reutilizar o material, contribui-se indiretamente para a redução da

extração de insumos virgens para fabricação de novos produtos e, simultaneamente, gera-se menor quantidade de rejeitos a serem enviados para a disposição final.

Para a empresa contratada, o oferecimento do serviço de lavagem consiste em uma oportunidade de negócio. Percebe-se que, embora a empresa não atue com a venda de materiais, a prestação de serviços representa uma oportunidade de mercado, de geração de empregos e, também, um meio para alavancar a vida útil do material. Diante dessa gama de oportunidades e benefícios que refletem em impactos positivos ao longo da cadeia, percebe-se o incentivo para a efetividade ecossistêmica, a qual é considerada uma característica da EC, abordada por CNI (2018).

As caixas plásticas oriundas do setor de logística são outro tipo de material reutilizado pela indústria. São utilizadas para o acondicionamento de materiais recebidos na planta industrial e, após desempenharem tal função, são armazenadas até retornarem ao fornecedor, que as utiliza e envia novamente para a indústria perante a necessidade de recebimento de novas matérias-primas. Sendo assim, a caixa é reutilizada diversas vezes pelo fornecedor e pela indústria, intensificando a durabilidade do uso do material.

Contudo, destaca-se o transporte deste material entre a indústria e a empresa fornecedora e o consequente dispêndio de recursos financeiros para tal fim, embora seja indireto. As caixas plásticas têm o propósito de uso para acondicionamento e armazenamento de materiais e, assim, o transporte não é realizado unicamente pelo comércio das caixas e sim pelo transporte das matérias-primas. A reutilização consiste então, em uma oportunidade de reduzir a compra de recipientes de alocação de matérias-primas. De forma similar aos panos e as estopas, o reuso das caixas plásticas contribui para redução da extração de insumos virgens para confecção de novos materiais e da geração de rejeitos enviados para aterro sanitário, à medida que estende a utilização do material e conserva os valores investidos na etapa de manufatura.

A fim de prevenir ou reduzir a geração de materiais na indústria, propõe-se a reavaliação da necessidade do uso de cada um deles e, caso seja imprescindível, deve-se planejar ações para utilizar somente a quantidade necessária. Se a redução não for possível, há a possibilidade de formular estratégias para contemplar a reutilização, entre elas adotar uso do material para finalidades similares ou distintas a que foi concebido. Para exemplificar, recomenda-se a continuidade da reutilização de rascunhos de impressora sempre que houver necessidade do uso de papel.

Identificaram-se diversas oportunidades de fluxos circulares a partir da reutilização destes dois tipos de materiais. Entretanto, 93% dos resíduos gerados pela indústria são destinados por meio de outras estratégias consideradas menos circulares, como a reciclagem, a recuperação energética e a disposição final. Esse cenário evidencia que a indústria adota a reutilização para apenas 2 dos 27 materiais gerados, o que é uma quantidade pouco significativa diante do total. Sendo assim, a unidade industrial atinge pouco os ciclos mais internos, relatados como uma fonte de valorização por EMF (2015).

- **Reciclagem**

O quadro a seguir (Quadro 10) apresenta lógica similar de estruturação relatada no tópico de reutilização.

Quadro 10 - Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para reciclagem

Ciclo da EC	Tipo de material	Classificação	Destinação interna ou externa	Principais oportunidades identificadas
Biológico	Restos de alimentos	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Educação ambiental
Técnico	Cavaco de alumínio	II B	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Aprimorar o design técnico do bloco fundido: usar o mínimo de material possível; prolongar a durabilidade; projetar para desmontagem
	Cavaco de alumínio com ferro	II B	Externa	
	Cavaco de ferro	II B	Externa	
	Materiais metálicos	II B	Externa	
	Embalagens plásticas	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Substituir plásticos de uso único • Usar somente o necessário • Planejar ações de reutilização.
	Isopor sem uso	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Usar somente o necessário • Planejar ações de reutilização
	Madeira	II A	Externa	
	Vidro	II B	Externa	
	Papel e papelão	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Usar somente o necessário • Usar sistemas de computadores para o armazenamento de informações • Planejar ações de reutilização
	Óleo lubrificante	I	Interna	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação da viabilidade de substituição por óleo renovável • Usar somente o necessário
Baterias	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Investir no design para prolongar o uso (externo à 	

				indústria)
	Lâmpadas queimadas	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Investir no design para prolongar o uso (externo à indústria) • Investir em eficiência energética: instalar painéis fotovoltaicos para captação de energia

Fonte: A autora.

A reciclagem é a forma de destinação adotada majoritariamente pela indústria, contemplando cerca de 48% dos tipos de materiais gerados. Essa estratégia evita o descarte de materiais passíveis de reaproveitamento. Com isso, os resíduos são considerados como recursos que, por meio do processamento, tornam-se matérias-primas. Observa-se que essa estratégia representa a formação de um fluxo circular, no qual o material considerado como resíduo é recuperado e reinserido em outras cadeias produtivas ou até mesmo na mesma, como ocorre com o óleo lubrificante oriundo do processo produtivo da indústria.

Embora a reciclagem proporcione a recuperação do material e evite que seja descartado, consiste em uma estratégia que se aproxima mais da utilização de tecnologias de fim-de-tubo, implementadas para fins de tratamento do material. Dessa forma, distancia-se de estratégias consideradas prioritárias diante da premissa da EC, como a prevenção e a redução da geração e a reutilização. Isso ocorre, pois, a reciclagem demanda a utilização de outros materiais para a incorporação ao subproduto a ser manufaturado, além do emprego de energia e mão de obra para a realização do processo. Portanto, reciclar demanda o investimento em novos recursos, distintamente das estratégias de prevenção, redução da geração e reutilização, que mantém o valor investido na concepção do produto e não demanda a utilização de novos insumos.

Os materiais destinados a reciclagem gerados na indústria são oriundos do processo produtivo, mais especificamente da usinagem dos blocos fundidos, atividade que gera uma quantidade significativa de cavacos e materiais metálicos (3.535 toneladas anuais) e também do óleo lubrificante usado nos produtos manufaturados (3.330 toneladas anuais). No entanto, os materiais destinados à reciclagem também são provenientes de atividades desenvolvidas externamente ao processo produtivo, como da área de recebimento de materiais, escritórios, cozinha, restaurante, laboratório.

Foi possível notar que, do total de materiais destinados à reciclagem, 77% são classificados como não perigosos e 23% como perigosos. Isso evidencia, para fins deste

estudo, que a maioria dos materiais destinados à reciclagem (considerada uma estratégia circular) são não isentos de periculosidade.

A geração, o acondicionamento, o armazenamento e a triagem são de responsabilidade da indústria. Contudo, a coleta e a destinação são realizadas por outras empresas, as quais: compram o material e apenas revendem para outras empresas, como ocorre com a empresa F; ou compram o material e atuam na fabricação de novos produtos utilizando o material reciclado, com a finalidade de vendê-los, como as empresas C, D e E.

Portanto, nota-se que a reciclagem dos materiais é realizada majoritariamente em ambiente externo à indústria, incorporando custos de transporte e, em alguns casos, de destinação, como constatado por Stahel (2013). Com exceção da reciclagem de óleo utilizado no processo produtivo, os materiais não são processados e utilizados no mesmo processo produtivo que os originou. Nesse sentido, o fluxo circular geográfico dos materiais encaminhados para a reciclagem não é o mais interno possível. Por outro lado, os materiais gerados constituem-se em matérias-primas para confecção de demais produtos, que podem ter finalidade similar ou distinta do original. Esse argumento é válido tanto para a reciclagem de nutrientes biológicos quanto para a de nutrientes técnicos, dentro da abordagem de EC.

Reciclagem dos materiais pertencentes ao ciclo biológico

Dentre as alternativas de reciclagem adotadas pela indústria, mais especificamente sobre o ciclo biológico, observa-se a compostagem de restos de alimentos gerados nas dependências do restaurante, o que representa uma forma de aprimoramento do capital natural realizada pela indústria, como proposto pelo primeiro princípio da EC definido por EMF (2015). O restaurante gera uma quantidade elevada desse material, o equivalente a uma média de 2,5 toneladas por mês. A partir da premissa da prevenção e da redução da geração, este cenário pode ser considerado insatisfatório. Cerca de um terço dos alimentos produzidos para consumo humano são desperdiçados, o que pode desencadear impactos negativos, caracterizados pela emissão de gases efeito estufa (GEE) decorrente da disposição final em aterro sanitário, distribuição desigual de alimentos entre a população e a perda de recursos financeiros investidos na produção.

Diante desse cenário, promover a conscientização e a orientação dos funcionários acerca do consumo de alimentos no restaurante é uma estratégia valiosa para reduzir o desperdício e a quantidade gerada deste material. O desenvolvimento de programas de educação ambiental pode contribuir para esta finalidade. Embora seja uma temática pouco

abordada na literatura, a presente pesquisa a considera como um fator integrante da concepção de EC, pois no que diz respeito aos resíduos sólidos, é uma prática que influencia toda a cadeia do gerenciamento. Com a redução da geração de restos de alimentos minimiza-se, conseqüentemente, a quantidade enviada para compostagem e os custos para a indústria.

Cabe ressaltar que a escolha deste processo de reciclagem representa o dispêndio de recursos financeiros para a coleta, transporte e para própria realização do processo. Uma alternativa viável consiste na realização da compostagem nas dependências da indústria, com a manutenção do processo feita pelos funcionários, como forma de desenvolvimento de práticas de educação ambiental. Dessa forma, associa-se a redução de custos com transporte e destinação do material em outra localidade com a noção prática da importância do gerenciamento adequado.

Portanto, a compostagem consiste em uma alternativa que apresenta benefícios mais significativos em comparação à disposição final dos restos de alimentos em aterro sanitário. Com a execução desse processo, este material é reciclado e o composto orgânico resultante é aplicado no solo, auxiliando o desenvolvimento de culturas agrícolas de outra localidade, representando uma forma de reaproveitamento e reinserção nos ciclos biológicos do ecossistema. Para o agricultor, consiste em um benefício, pois resulta na redução do uso de fertilizantes sintéticos.

Por outro lado, a disposição dessa tipologia de material em aterros sanitários contribui para a produção de chorume, substância que, geralmente, possui custos elevados de tratamento. Além disso, resulta no aumento da emissão de GEE para a atmosfera, contribuindo para intensificação do aquecimento global. No entanto, devem ser priorizadas ações de redução da geração de restos de alimentos, pois, dessa forma é possível poupar recursos.

Reciclagem dos materiais pertencentes ao ciclo técnico

Em relação ao ciclo técnico da EC, a reciclagem consiste em uma alternativa que abrange formas de processamento de um material considerado como resíduo por uma organização, possibilitando que seja incorporado na etapa de manufatura de outras matérias-primas, componentes e produtos. A comercialização desses recursos para outras empresas representa uma oportunidade de negócio para a indústria que, ao invés de dispender recursos financeiros para a destinação do material, passa a arrecadar por meio da venda para outros agentes. Essa estratégia contribui para o aumento do valor agregado ao material e para

redução do descarte em aterro sanitário, contribuindo para o aumento da sua vida útil. Nesse sentido, pode-se afirmar que os fluxos circulares resultam em impactos positivos ao longo da cadeia, como relatado em CNI (2018).

Os cavacos metálicos e materiais metálicos são os resíduos não perigosos gerados em maior quantidade na indústria e recebem como destinação a reciclagem. A recolocação desses materiais em cadeias produtivas reflete em medidas para conservação de recursos naturais, de modo a reduzir a necessidade de extração de minérios para a confecção de novas matérias-primas. Além dessa vertente, esses materiais com valor agregado deixam de ser dispostos no meio ambiente, o que resulta em economia de custos com disposição final. Como eles podem ser reciclados inúmeras vezes, destaca-se a oportunidade de criação de novos negócios articulados ao processo de reciclagem e comercialização desse material. Assim, os resíduos metálicos podem ser processados e reinseridos em outras cadeias produtivas.

Com embasamento na EC, seguindo a premissa de reduzir a geração, uma oportunidade relacionada aos cavacos e materiais metálicos consiste no aprimoramento do design técnico do bloco fundido, com intuito de identificar meios de atenuar a produção de cavacos de ferro, alumínio e mistos, durante etapas de usinagem. Cumpre destacar que o design consiste em um fator chave para a criação de fluxos circulares, pois, a partir da etapa de confecção dos produtos, determina-se a possibilidade de execução de estratégias que contemplam o fechamento de ciclos, como relatado por Bocken et al. (2016).

Por consistir em uma etapa que visa o planejamento do produto, pode-se afirmar que o design é um fator determinante de todas as etapas de circularidade subsequentes. Caso sejam incorporadas misturas de materiais que impedem a segregação na concepção no design do produto, pode comprometer a possibilidade de reciclagem ou até mesmo de desmontagem e recuperação das peças e componentes. Devido a isso, deve ser bem planejado, de forma a considerar todo o ciclo de vida do produto bem como todos os vieses que influenciam sua durabilidade.

Quanto menor a vida útil de um produto, maior a demanda pela extração e utilização de recursos naturais e a intensificação da geração de resíduos sólidos. Opostamente, o uso prolongado de produtos contribui para manutenção dos recursos naturais e reduz a quantidade de resíduos gerados. Observa-se o surgimento de diversas oportunidades de negócio a partir da prática de estratégias que tem o propósito de aumentar a vida útil do produto, entre elas a atualização, remanufatura, o reparo, renovação e reciclagem.

O investimento no design técnico dos blocos fundidos pode contribuir para a redução da geração de resíduos ou para prolongar o uso do material até que se torne inutilizável. Na concepção de EC, tem-se a prevenção como estratégia prioritária, a fim de evitar o uso de recursos para manufatura de um produto e, conseqüentemente, a geração de resíduos. No entanto, a prevenção do uso de blocos metálicos fundidos é uma estratégia inconcebível diante das atividades desempenhadas pela indústria, fato que demonstra que o nível de atendimento a EC no quesito resíduos sólidos apresenta limitações, impostas de acordo com as atividades que a organização desempenha. Portanto, o escopo de atuação da empresa reflete diretamente na possibilidade de execução de estratégias mais circulares.

Como a planta de São Carlos atua na manufatura de produtos indispensáveis para a sobrevivência da marca, a geração de resíduos torna-se inevitável, pois nenhum processo produtivo é totalmente eficiente. Diante desse cenário, deve-se identificar oportunidades no gerenciamento dos materiais gerados.

A formação de uma rede de comercialização de produtos recicláveis e reciclados desempenha função econômica e social de relevância no Brasil, seja por viabilizar a criação de empresas ou a formação de cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Nota-se que grande parte dos materiais recicláveis gerados na indústria são comercializados para empresas que praticam a revenda ou o processamento e posterior comercialização do insumo reciclado, como papel e papelão, alguns plásticos, madeira, isopor e vidro.

A criação dessas redes de comércio entre a indústria contribui para o funcionamento das cadeias circulares dos materiais recicláveis e reciclados e para criar novas oportunidades de negócios e, conseqüentemente, de empregos. O incentivo ao mercado de insumos reciclados e recicláveis consiste em um dos objetivos da PNRS e, assim, pode-se afirmar que a indústria contribui para o estímulo da comercialização desses materiais. Observa-se, portanto, que a reciclagem pode apresentar benefícios nas vertentes ambiental, econômica e social, contribuindo para a implementação de ideais de sustentabilidade.

Entre as limitações da reciclagem, destaca-se o obstáculo acerca da comercialização de alguns tipos de materiais, que, devido às características que apresentam em sua composição, possuem dificuldade de venda no mercado. Caso sua comercialização seja inviabilizada, acabam por receber outras destinações, como a disposição final, considerada a estratégia a ser adotada em última instância.

Na unidade industrial objeto de estudo desta pesquisa, a categoria denominada “materiais diversos passíveis de reciclagem” é enviada para aterro sanitário, embora seja composta por materiais que apresentam potencial para processamento, entre eles folhagens, papel, papelão e plástico, o que representa um desafio para a prática de reciclagem. Para a indústria, a tomada de decisão sobre o envio para processamento baseia-se no interesse de compra pela empresa responsável por coletar e destinar. Vale ressaltar, mais uma vez, na etapa do design a relevância do estudo dos materiais a serem incorporados na composição de produtos, de forma a utilizar aqueles que possuem maior aceitação de compra no mercado, a fim de evitar que sejam descartados sem reaproveitamento prévio.

Ainda sobre as carências da reciclagem, algumas categorias de materiais apresentam um limite em relação à quantidade de vezes que podem ser reciclados, como papéis, papelão e plásticos, de acordo com Stahel (2013). Devido a isso, devem ser priorizadas estratégias de prevenção e redução da geração, a fim de diminuir o envio destes para aterro sanitário.

Em relação a todos materiais encaminhados para a reciclagem gerados na indústria (embalagens plásticas, isopor, madeira, papel e papelão e vidro), recomenda-se o planejamento e execução de alternativas para diminuir a quantidade gerada, utilizando somente a quantidade necessária desses materiais.

A partir da avaliação das informações coletadas, observou-se o uso de papéis para rascunhos, controles de estoque e atividades realizadas nos escritórios de forma geral. A utilização de sistemas de computadores para o armazenamento de informações pode auxiliar a redução desse tipo de material.

Como forma de reduzir os plásticos de uso único, entre eles copos descartáveis, a indústria tem a possibilidade de investir na compra de canecas para disponibilizar aos funcionários, evidenciando para os mesmos a relevância da redução do envio de materiais plásticos para disposição final no meio ambiente e, simultaneamente, investindo em educação ambiental. Soluções como essas, voltadas à prevenção e redução da geração, podem ser interessantes haja vista as limitações sobre a reciclagem descritas neste tópico.

Ademais, quando a redução não é cabível, o planejamento de ações de reutilização do material para outras finalidades ou similares às que foram concebidos pode consistir em uma estratégia viável, pois poupa maior quantidade de recursos investidos na confecção do produto em relação à reciclagem. O prolongamento do tempo de uso do material atrasa o descarte ou a

necessidade de criar fluxos circulares mais externos para o mesmo, como é o caso da reciclagem em relação à redução.

A estratégia de reciclagem é utilizada como destinação para o óleo lubrificante utilizado nos produtos manufaturados, embora seja classificado como perigoso. Este material é reciclado por meio do rerrefino, realizado dentro da própria indústria por empresa contratada e, posteriormente, é reinserido no processo produtivo.

A partir deste cenário, observa-se que a reciclagem do óleo usado é realizada *in situ* e que ele se torna um insumo a ser utilizado na produção. Logo, esse tipo de óleo não é transportado para outra localidade. Para a empresa contratada, a prestação de serviço de reciclagem do óleo constitui em uma oportunidade de negócio além da venda de óleo lubrificante virgem, ou, mesmo que a empresa não atue na fabricação do mesmo, foi possível estabelecer um negócio a partir da comercialização de um material gerado. Este processo colabora para redução da fabricação de óleo lubrificante e do investimento de insumos para tal finalidade, além de favorecer a redução da geração de resíduos de óleo. Mais uma vez, é possível constatar uma série de impactos positivos ao longo da cadeia circular.

Como limitação, pode-se salientar o limite do número de vezes que o material pode ser reciclado sem comprometer a qualidade compatível com o uso. Cumpre destacar que em termos de redução, a gestão da indústria deve inserir no processo produtivo somente a quantidade de óleo necessária para a realização das etapas de manufatura, de forma a evitar a geração de excedentes que, em algum momento se tornarão rejeitos. Uma alternativa complementar é a avaliação da viabilidade de utilização de óleo de fonte renovável no processo produtivo, de forma a priorizar o uso de recursos renováveis em prol da conservação de insumos naturais.

Uma outra categoria de materiais gerados pela indústria abrange as baterias usadas nas empilhadeiras do setor de logística e recebimento de materiais e as lâmpadas queimadas. A PNRS dispõe sobre a obrigatoriedade de realizar a logística reversa de ambos, ou seja, realização de coleta e reinserção no setor empresarial para fins de reaproveitamento ou receber outra destinação ambientalmente adequada.

Embora esses produtos apresentem substâncias perigosas em sua composição, são passíveis de reciclagem. Para esses tipos de materiais, a reutilização consiste em uma estratégia inviável, pois a vida útil é reduzida ao longo do tempo, até que se não esteja apto para uso. Nesse sentido, vale ressaltar a relevância do investimento no design desses produtos,

com intuito de prolongar a durabilidade e, conseqüentemente, a fase de utilização pelo consumidor, ambas ações que estendem um ciclo, como constatado por Bocken et al. (2016). Ao investir no design visando estender a durabilidade do produto, contribui-se para redução da geração de resíduos e da utilização de insumos virgens para produção de novos exemplares. Entretanto, essas ações cabem ao fabricante e não à indústria. Para a indústria, recomenda-se o investimento em eficiência energética e destaca-se aqui a proposição de instalação de painéis fotovoltaicos, para captação de energia solar. Cumpre destacar que, quando foram coletadas as informações, a unidade industrial estava substituindo lâmpadas fluorescentes por LED.

A indústria envia as lâmpadas e baterias para empresas que realizam a desmontagem, a separação de componentes de interesse e a reciclagem dos mesmos. Vale ressaltar a relevância do investimento no design do produto voltado para a desmontagem, visando a recuperação de componentes que podem ser usados novamente em artefatos similares ou distintos. Sendo assim, a reciclagem consiste em uma estratégia de destinação prioritária diante da disposição final, pois recupera materiais que podem ser utilizados como matérias-primas em outros produtos, além de criar oportunidades de abertura de novas empresas atuantes na reciclagem. Tanto a indústria quanto as empresas que realizam o processamento desses materiais contribuem para o incentivo ao mercado de materiais recicláveis e reciclados e, também, impulsionam a criação de empregos.

Em casos em que o manejo não seja realizado corretamente na disposição final, a periculosidade desses materiais pode resultar em passivos ambientais. Além disso, essa estratégia de destinação não permite a criação de fluxos circulares, sendo caracterizado por fluxos lineares.

Portanto, por meio dos resultados constatados no presente tópico acerca da reciclagem, destaca-se a relevância do papel desta forma de destinação para a transição do gerenciamento linear de resíduos sólidos para um de caráter circular, por meio da recuperação de materiais técnicos (para materiais pertencentes ao ciclo técnico) e do aprimoramento do capital natural pela reinserção de nutrientes biológicos no sistema natural (para os materiais pertencentes ao ciclo biológico, como os restos de alimentos). Observa-se que, após a reciclagem, a PNRS estabelece o tratamento e a disposição final, ambas estratégias que não permitem a circularidade dos resíduos como recursos. Portanto, a reciclagem é considerada uma alternativa que, embora permita a criação de fluxos circulares, conserva parcialmente o valor

investido na confecção dos materiais, pois realiza o processamento dos mesmos e, com isso, utiliza novos insumos. A reciclagem pode ser uma alternativa de reinserção dos materiais técnicos que já estão em circulação, enquanto o design circular ainda não é uma ferramenta bastante adotada para o planejamento dos produtos, voltado à reparabilidade.

- **Recuperação energética**

O quadro abaixo (Quadro 11) apresenta a mesma estrutura que os elaborados nos tópicos de reutilização e reciclagem, abordando, portanto, algumas informações de relevância para os relatos realizados neste e as principais oportunidades propostas para intensificar a circularidade.

Quadro 11 - Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para recuperação energética

Ciclo da EC	Tipo de material	Classificação	Destinação interna ou externa	Principais oportunidades identificadas
Técnico	Lodo de efluente industrial	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a utilização de matérias-primas perigosas no processo produtivo • Analisar a viabilidade de substituir óleo hidráulico e solúvel por óleo renovável • Uso de maquinário que apresente bom desempenho • Realizar ajuste periódico das máquinas
	Diatomita	I	Externa	
	Equipamentos de proteção individual	I	Externa	
	Manta filtrante	I	Externa	
	Varrição de fábrica	I	Externa	
	Pasta de silicone	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de maquinário que apresente bom desempenho • Realizar ajuste periódico das máquinas
	Embalagens de tinta	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Doar sobras de tinta e equipamentos de pintura usados • Encaminhar embalagens para reciclagem

Fonte: A autora.

A recuperação energética por meio do coprocessamento é adotada para aproximadamente 26% dos materiais gerados na indústria, representando a segunda forma de destinação mais contemplada. Ao realizar essa estratégia, a indústria evita o descarte dos materiais oriundos de suas atividades em aterro sanitário e viabiliza o reaproveitamento dos mesmos para fins energéticos. Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018), Potting et al. (2017) e Van Buren et al. (2016) mencionam a recuperação

energética de resíduos sólidos como alternativa integrante do conceito de EC. De forma similar, a presente pesquisa considera este tópico como escopo da circularidade, quando a redução, reutilização e reciclagem são inviáveis.

Apesar de apresentar benefícios em relação ao descarte sem reaproveitamento prévio, o coprocessamento consiste em uma alternativa que apresenta baixa circularidade e, devido a esse fator, é considerada a última estratégia recomendada para a criação de fluxos circulares. Após a incineração, a reinserção dos materiais gerados pela indústria em novas cadeias produtivas torna-se inviável, impossibilitando assim a realização da recuperação por mais de uma vez. De forma oposta, as estratégias de reciclagem e reutilização, consideradas prioritárias diante da premissa da EC, permitem que o insumo seja reinserido em novos fluxos circulares por mais de uma vez, intensificando a circularidade.

Além disso, a recuperação energética contribui para a continuidade da geração de rejeitos e para a demanda por recursos naturais para a confecção de novos produtos. Nesse sentido, se aproxima da EL, pois o material é manufaturado, utilizado e direcionado para a incineração. Presume-se que, devido a esse fator, alguns estudos não envolvem essa estratégia como integrante da EC.

A recuperação energética contempla, majoritariamente, os materiais perigosos gerados na indústria (diatomita, EPI, lodo de efluente industrial, manta filtrante, pasta de silicone e varrição de fábrica), com exceção das embalagens de latas de tinta, classificadas como não perigosas.

Sendo assim, 86% dos materiais destinados à recuperação energética são classificados como perigosos, o que pode indicar a dificuldade de execução de estratégias mais circulares, como a reciclagem e reutilização, para materiais desta classe. Esse fato pode estar associado à incorporação de substâncias perigosas na fabricação ou durante o uso desses produtos no processo produtivo, etapas que podem os conceder características de periculosidade, como inflamabilidade, corrosividade, toxicidade e reatividade.

Para promover maior circularidade dos materiais perigosos gerados, cabe ressaltar o estudo da viabilidade da utilização de matérias-primas não tóxicas no processo produtivo da indústria, de forma a evitar que apresentem características finais que resultem na classificação do material como perigoso, como destacado por EMF (2015). Esta técnica pode permitir a aplicação de estratégias consideradas mais circulares sobre o mesmo em relação à recuperação energética. Ações como esta impactariam o lodo de efluente industrial, a

diatomita, os EPI e a manta filtrante, todos que apresentam contato com os óleos usados no processo produtivo, material classificado como perigoso. Cabe incluir aqui, ademais, os materiais oriundos do processo de varrição de fábrica, pois, caso haja óleo no chão, o material em contato com o óleo recebe a classificação I, referente aos perigosos.

Nota-se que alguns materiais perigosos destinados à recuperação energética são classificados desta forma após o contato com o óleo hidráulico e óleo solúvel utilizados no processo produtivo, como ocorre com os EPI. Em relação a este tipo de material, caso não houvesse esse contato, possivelmente a reutilização seria uma estratégia viável, reduzindo a quantidade enviada para a recuperação energética. Portanto, a inserção de matérias-primas isentas de substâncias e características perigosas no processo produtivo pode influenciar a criação de fluxos circulares dos materiais gerados, permitindo que estes sejam reaproveitados como recursos mais de uma vez.

Avaliar a substituição dos óleos hidráulico e solúvel por óleo de fonte renovável como matéria-prima do processo produtivo é uma estratégia que pode contribuir para diminuir a extração de recursos naturais para a fabricação de óleo de fonte não renovável. Para a aplicação desta substituição, deve-se verificar a possibilidade de realizá-la, de acordo com as características dos maquinários do processo produtivo.

Tal alternativa pode influenciar, também, as características dos resíduos que apresentam contato com o óleo usado no processo produtivo ou que são oriundos dele (lodo de efluente industrial, diatomita, EPI, manta filtrante e varrição de fábrica) e, conseqüentemente, refletir em mudanças nas etapas do gerenciamento.

Desta forma, recomenda-se como ação prioritária, a utilização do mínimo de matérias-primas perigosas nas etapas do processo produtivo sempre que possível, a fim de reduzir a geração de materiais que apresentam periculosidade. Com isso, é possível diminuir a quantidade de materiais encaminhada para recuperação energética, o que pode representar economia de custos para a empresa, que dispense recursos financeiros para coleta e realização deste procedimento por outras empresas.

Em uma das visitas realizadas à unidade industrial, foi mencionada a preferência da gestão por evitar o envio de materiais perigosos para a disposição final em aterro sanitário, devido à responsabilidade sobre o monitoramento do local durante a fase de operação e após o encerramento, bem como pela possibilidade da ocorrência de acidentes que podem resultar em passivos ambientais. Devido a esse motivo, a indústria opta pelo encaminhamento destes para

o coprocessamento em fornos de indústria cimenteira, o que se torna uma estratégia viável para os insumos não são passíveis de reciclagem, reutilização, redução e prevenção.

A indústria cimenteira que realiza o coprocessamento dos materiais perigosos gerados na indústria tem a oportunidade de reduzir o gasto com recursos como fonte de energia para seus processos, contribuindo para redução da extração de insumos virgens e para redução de custos com matérias-primas utilizadas para tal fim. Por outro lado, para a indústria objeto de estudo da presente pesquisa, torna-se interessante por ser uma alternativa para destinação de materiais perigosos além da disposição final em aterro industrial, a qual representa riscos ambientais, como os citados pelo gestor da indústria.

Outro ponto relevante destacado por ele foi que, embora a destinação seja majoritariamente realizada em ambiente externo à indústria, a mesma continua realizando o controle do gerenciamento de seus materiais gerados. Tal verificação é feita por meio de documentos que garantem que o procedimento foi realizado de forma adequada pelas empresas contratadas.

Entretanto, vale ressaltar que o envio para coprocessamento resulta em custos para a indústria relacionados à coleta e destinação do material, diferentemente do que ocorre com os materiais encaminhados para a reciclagem, os quais são vendidos para empresas interessadas, resultando na geração de lucro. As atividades de compra ou venda dos materiais gerados na unidade industrial refletem a necessidade do estabelecimento de parcerias com outras empresas interessadas em utilizar o material como recurso energético. Nota-se que a colaboração entre os agentes da cadeia são elementos fundamentais para o funcionamento dos fluxos circulares, como constatado por CNI (2018).

Dentre os materiais perigosos gerados na indústria, identificou-se a pasta de silicone. Em visita ao processo produtivo, observou-se que a aplicação desta no bloco metálico fundido produz um excedente do material. Deve-se escolher máquinas que apresentem um bom desempenho e ajustá-las a fim de garantir a geração do mínimo de excedente possível, de forma a investir, portanto, em estratégias que contemplem a prevenção e a redução da geração. Destaca-se a relevância de realizar a manutenção preventiva e o acompanhamento periódico dos ajustes das máquinas do processo produtivo, com a finalidade de manter o bom desempenho bem como reduzir a probabilidade de ocorrência de vazamentos que podem resultar em riscos ao meio ambiente e à saúde dos funcionários. Tais observações também são cabíveis à diatomita, aos EPI, à manta filtrante e a terra e areia contaminados oriundos do

processo produtivo, pois a geração destes é condicionada pelos maquinários ou pelos óleos contidos neles.

Em relação aos EPI contaminados após o uso pelos funcionários, de acordo com o gestor de meio ambiente da indústria, foram realizadas tentativas de aplicação de reutilização, assim como é feito para os panos e estopas. No entanto, estes materiais não retornaram para a indústria com a mesma qualidade, o que pode resultar no comprometimento da segurança dos funcionários durante o trabalho e, devido a isso, não foi implementado.

Cumprir destacar a relevância do investimento no design do produto, para que se contemple a nível de projeto o estudo de vertentes que influenciam no aumento da vida útil. Dentre elas, ressalta-se a manutenção da qualidade após o uso, visando estender o ciclo de vida e viabilizar ações de reutilização, como a realização de lavagem por diversas vezes no caso dos EPI. Essa proposta é direcionada exclusivamente ao produtor dos panos e estopas, sendo não cabível ao âmbito da indústria, já que a mesma não atua na produção destes produtos.

Já as embalagens de tinta, são geradas esporadicamente e encaminhadas para recuperação energética por meio do coprocessamento, embora não sejam consideradas perigosas caso apresentem revestimento interno por filme seco de tinta, conforme definido pela Resolução Conama nº 469 de 29 de julho de 2015. Portanto, neste caso, os recipientes se enquadram na classe referente a não perigosos e podem ser destinados à reciclagem, contribuindo para a criação de maior quantidade de fluxos circulares acerca do material.

O art. 33 da PNRS estabelece a extensão da obrigatoriedade da estruturação e implementação de logística reversa para produtos comercializados em embalagens metálicas. Contudo, a legislação a descreve de forma genérica, não especificando a responsabilidade dos produtores de latas de tinta, o que pode representar uma fragilidade para o cumprimento da exigência.

De forma similar, a Resolução Conama nº 469 de 29 de julho de 2015, estabelece que as embalagens de tinta utilizadas para fins de construção civil devem ser submetidas ao sistema de logística reversa. Ademais, fica definido para o estado de São Paulo, a inclusão de embalagens de tinta vazias no sistema de logística reversa como condicionante para a emissão ou renovação da licença de operação (LO), previsto pela Decisão de Diretoria nº 076/2018/C, de 3 de abril de 2018.

Nesse sentido, cabe à indústria contatar uma empresa responsável por coletar e destinar o material para formas de reaproveitamento, como previsto pelos documentos legais descritos acima. A aplicação da estratégia de reciclagem destes recipientes de tinta torna-se vantajoso, pois prolonga a durabilidade da circularidade do material, enquanto o coprocessamento representa, posteriormente a execução da recuperação energética, o fim da vida útil.

Após a realização de serviços de pintura em instalações da indústria, os equipamentos em boas condições utilizados para tal fim podem ser armazenados para uso futuro ou podem ser doados. De forma similar, caso haja sobra de tinta, pode ser cedida a instituições que podem usá-la, como escolas, creches, asilos e casas de acolhimento, evitando a geração de resíduos de tinta. Caso sejam gerados, são classificados como materiais perigosos e a recuperação energética torna-se uma estratégia apropriada, quando a execução das doações é inviável.

Portanto, a recuperação energética é considerada uma alternativa para a recuperação dos materiais gerados, que tem potencial para fornecer energia para processos produtivos de outras indústrias, como é o caso do coprocessamento. Nesse sentido, essa estratégia estabelece um fluxo circular para os materiais, embora seja pouco durável, evitando o descarte sem reaproveitamento prévio.

Com isso, reduz-se a quantidade que seria destinada a aterros sanitários, contribuindo para a extensão da vida útil do mesmo e para atenuação dos impactos ambientais negativos oriundos da disposição final. Por outro lado, não contribui para redução da extração de recursos naturais para a confecção de novos produtos e os resíduos sólidos continuam a ser gerados, mas em menor volume. Ademais, esta alternativa não permite a conservação dos valores investidos na etapa de manufatura do material, já que eles são incinerados.

Disposição final

De forma similar aos quadros elaborados nos tópicos de reutilização, reciclagem e recuperação energética, o apresentado a seguir aborda informações que fornecerão embasamento para a discussão e, também as oportunidades propostas (Quadro 12).

Quadro 12 – Resumo sobre informações coletadas e ações propostas para todos os tipos de materiais encaminhados para recuperação energética

Ciclo da EC	Tipo de material	Classificação	Destinação interna ou externa	Principais oportunidades identificadas
Técnico	Lodo de efluente sanitário	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> Educação ambiental Reutilização em culturas agrícolas Venda do lodo de efluente sanitário para agentes interessados
	Embalagens de alimentos	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> Educação ambiental Reciclagem
	RSS	I	Externa	<ul style="list-style-type: none"> Formar parcerias com agentes que atuem na recuperação energética desse tipo de material
	Papéis usados para fins de higiene	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> Formar parcerias com agentes que atuem na recuperação energética desse tipo de material
	Materiais passíveis de reciclagem	II A	Externa	<ul style="list-style-type: none"> Usar somente o necessário Realizar a reciclagem sempre que possível Recuperação energética dos materiais em que estratégias de prevenção, redução, reutilização e reciclagem são inviáveis Escolha de materiais a serem utilizados na confecção de produtos (externo à indústria);

Fonte: A autora.

Após a reciclagem e a recuperação energética, a disposição final é a terceira estratégia de destinação mais adotada pela indústria em relação ao gerenciamento de seus materiais gerados. Aproximadamente 19% destes são encaminhados para a disposição final, entre eles o lodo de efluente sanitário, as embalagens de alimentos, os papéis usados para fins de higiene, os materiais diversos passíveis de reciclagem e os RSS. Embora este último tipo de material receba tratamento, não é recuperado energeticamente neste processo e, portanto, foi categorizado como insumo encaminhado para a disposição final.

Constatou-se que 80% dos materiais enviados para aterro sanitário são classificados como não perigosos, indicando que o envio para esta destinação é pouco determinado pela periculosidade dos insumos oriundos das atividades da indústria. Presume-se que pode estar

relacionado a diversos fatores: à segregação inadequada na fonte para as embalagens de alimentos; ao interesse de compra de mercado por agentes que atuam na recuperação para os materiais passíveis de reciclagem; por serem compreendidos como rejeitos, como é o caso dos papéis usados para fins de higiene; por desconhecer estratégias que proporcionem a recuperação ou a regeneração dos materiais ou por este não compensar financeiramente, como pode ser o caso para o lodo de efluente sanitário.

Diante da concepção da EC, a prática do descarte de um recurso não é uma opção considerada viável, visto que são eliminadas todas as possibilidades de recuperação e regeneração, representando o fim da vida útil e impossibilitando a circularidade. Dessa forma, a disposição final de um material deve ser evitada ao máximo, criando meios de maximizar a utilização dos materiais inseridos na cadeia produtiva. Entretanto, a gestão da indústria possivelmente encontra desafios para a criação de fluxos circulares para os materiais que recebem esta destinação, como relatado no parágrafo anterior. Vale ressaltar, como relatado na seção de recuperação energética, a preferência dos gestores de meio ambiente da indústria em destinar o mínimo possível para a disposição final, devido aos riscos ambientais e responsabilidade estendida que apresenta.

O envio dos materiais para aterro sanitário colabora indiretamente para a continuidade da demanda por insumos virgens para utilização em processos produtivos e para a intensificação do volume de geração dos rejeitos, problemática do sistema linear. Embora seja uma alternativa ambientalmente adequada, é a opção menos interessante perante o ponto de vista desse estudo, pois não promove fluxos circulares. Para fins deste estudo, recomenda-se a execução desta estratégia em casos em que a redução, a reutilização, a reciclagem e a recuperação energética são inviáveis, sendo, portanto, indicada em última instância.

O lodo proveniente do processo de tratamento do efluente sanitário gerado na indústria é enviado para aterro sanitário, contribuindo para redução da vida útil do mesmo. O processo de degradação deste material nesse local resulta na produção de metano, contribuindo para a intensificação das emissões de GEE para a atmosfera. O biogás oriundo de aterros sanitários pode ser captado e utilizado para a geração de energia, o que é uma alternativa interessante, pois consiste em uma fonte renovável e pode contribuir para a redução do consumo de energia não renovável para a realização de atividades nesses locais. No entanto, no aterro em que o lodo de efluente sanitário é disposto, realiza-se somente a captura e a queima do gás metano

gerado. Portanto, o reaproveitamento dessa substância para a geração de energia não é contemplado.

Como forma de reduzir a geração deste tipo de material, indica-se a realização de campanhas de educação ambiental, com intuito de conscientizar os funcionários sobre o consumo de água.

O lodo de efluente sanitário pode ser reutilizado, de forma a ser inserido na agricultura, conforme estabelecido pela Resolução Conama, nº 375 de 29 de agosto de 2006. Com a realização dessa prática, criam-se fluxos circulares para o material, contribuindo para reduzir a quantidade enviada para aterro sanitário e para evitar a diminuição da vida útil do mesmo bem como os impactos ambientais negativos decorrentes da decomposição de resíduos nesses locais.

A reutilização deste tipo de material pode contribuir para geração de lucro para a indústria, que, ao invés de dispender de recursos financeiros para realização da disposição final do lodo sanitário em aterro, pode estabelecer parcerias com produtores agrícolas que possuem interesse no material, com intuito de realizar a venda. A proposição da comercialização com produtores agrícolas situados no mesmo município da indústria pode ser uma estratégia que poupa o dispêndio de custos relacionados ao transporte do material por longas distâncias, contribuindo para maior circularidade em termos geográficos. Além disso, por meio dessa estratégia de destinação sugerida ao material, a indústria pode contribuir para o aprimoramento do capital natural, com a reinserção de nutrientes biológicos no sistema natural. Vale ressaltar que a aplicação do lodo de efluente sanitário na agricultura deve seguir os requisitos previstos por legislação, com intuito de evitar contaminação do meio ambiente.

No que diz respeito às embalagens de alimentos, anteriormente à realização da compostagem dos restos de alimentos, a empresa responsável pela coleta e destinação realiza a triagem para averiguar a existência de materiais que podem comprometer a qualidade do processo. Ao identificá-los, são encaminhados para aterro sanitário, o que, além de reduzir a vida útil do mesmo, certamente encarece os custos para a indústria, que dispense recursos financeiros para a disposição final desse material.

Nesse sentido, ações de educação ambiental direcionadas aos funcionários que cozinham os alimentos podem contribuir para redução do descarte conjunto de materiais inorgânicos e orgânicos, diminuindo a quantidade de embalagens de alimentos encaminhadas para a compostagem. Ademais, a quantidade de rejeitos enviadas ao aterro sanitário é

reduzida e este material, caso seja segregado adequadamente na fonte, pode apresentar potencial para ser destinado à reciclagem. Orientar os cozinheiros não só para a segregação adequada na fonte, mas também para o reaproveitamento máximo dos alimentos consiste em uma estratégia válida, pois dessa forma evita-se o descarte de partes que podem ser consumidas.

Já os RSS gerados na indústria recebem tratamento térmico em autoclave, na qual são submetidos a alta temperatura e permanecem em contato com o vapor de água, com intuito de eliminar o risco de contaminação associado ao material. Posteriormente, são encaminhados para disposição final em aterro sanitário municipal, o que, a longo prazo, contribui para a redução da vida útil do mesmo e, conseqüentemente, acelera a demanda por área para construção de um novo aterro sanitário.

Os papéis usados para fins de higiene são encaminhados para a disposição final e, de forma similar aos RSS, não são reaproveitados previamente à disposição final. Portanto, a forma de destinação adotada para ambos apresenta características de uma EL, pois não considera a criação de fluxos circulares.

Diante desse cenário, há a possibilidade de analisar a viabilidade do reaproveitamento energético (*Waste-to-Energy*) destes dois tipos de materiais por meio de tratamentos térmicos que permitem tal procedimento. Ressalta-se que nem todos os tipos de tratamentos térmicos recuperam energia, como é o caso da autoclave, utilizada para a descontaminação e descaracterização dos RSS gerados na indústria.

Os tratamentos térmicos atuam na decomposição dos materiais por meio de exposição dos mesmos a elevadas temperaturas, processo que resulta na redução do volume e eliminação das características perigosas que podem estar vinculadas aos mesmos. Vale ressaltar que as tecnologias de tratamento térmico não evitam a necessidade de disposição final dos rejeitos gerados no processo. Com isso, o aterro sanitário deixa de receber materiais volumosos, o que contribui para o aumento de sua vida útil. Para resíduos que oferecem riscos à saúde humana, como os RSS, é uma estratégia que promove a descontaminação, garantindo o aumento da segurança na disposição final.

Alguns tipos de tratamento térmico possibilitam a geração de energia, destacando a vantagem de ser oriunda de uma fonte renovável, já que utiliza a energia proveniente do processo de decomposição térmica de resíduos. Dessa forma, é uma alternativa que contribui para minimizar o envio de materiais diretamente para aterro sanitário sem reaproveitamento

prévio, contribuindo para a extensão da vida útil do mesmo e para a recuperação dos materiais anteriormente ao descarte.

Apesar dos benefícios que apresenta, deve-se averiguar a quantidade de energia gerada a partir da quantidade de resíduos gerados a ser inserida no processo de tratamento. Cumpre destacar que a recuperação energética envolve a aquisição de equipamentos de custo elevado, além dos custos relacionados à implementação e operação. Nesse sentido, o estudo de análise da viabilidade torna-se um instrumento crucial para verificar o custo-benefício que este método apresenta.

Como alternativa a estas circunstâncias, a indústria tem a possibilidade de estabelecer parceria com uma empresa que coleta os materiais e realiza o tratamento térmico dos mesmos com reaproveitamento energético. Nota-se que, por meio desta estratégia, a indústria contribui para geração de energia renovável e incentiva negócios voltados ao reaproveitamento de materiais. Ademais, torna-se uma solução para eliminar os materiais perigosos de forma segura, evitando o envio destes para aterro sanitário e eliminando o risco de passivos ambientais.

Contudo, o tratamento térmico dos materiais deve ser considerado somente após esgotadas todas as possibilidades de aplicação de estratégias de gerenciamento consideradas prioritárias, como a prevenção e redução da geração, reutilização e reciclagem. Caso a ordem de prioridade de gerenciamento estabelecida pela PNRS seja descumprida, o tratamento térmico se torna uma alternativa que reflete o desperdício de insumos passíveis de recuperação e regeneração, contribuindo para o esgotamento dos recursos naturais à medida que a demanda pela extração para produção de bens de consumo permanece contínua, fatos que contrariam as premissas da EC.

Ressalta-se que o tratamento térmico dos materiais gerados tem sido um tema discutido amplamente entre gestores de indústrias e municípios, no entanto, faz-se a ressalva da necessidade de cautela quanto à escolha desse método, relacionada a recursos financeiros, tipo de material a ser incinerado, monitoramento de emissões de gases poluentes para a atmosfera, quantidade de energia gerada para os fins que se pretende destiná-la, dentre outros fatores. Nesse sentido, a alternativa deve apresentar viabilidade técnica, econômica e ambiental. Vale destacar que a implementação desses equipamentos requer licenciamento pelo órgão ambiental de competência e monitoramento.

Caso seja exequível, a recuperação energética dos RSS e dos papéis usados para fins de higiene pode ser uma alternativa para promover um fluxo circular desses materiais, a serem recuperados para fins de geração de energia. Apesar de apresentar baixa circularidade, devido ao reaproveitamento dos insumos ser realizado uma única vez, consiste em uma estratégia que pode ser vantajosa em comparação à disposição final de insumos, tanto pela maximização da utilidade de um recurso quanto pela redução da quantidade enviada para aterro sanitário, além da possibilidade de gerar energia renovável.

Como retratado na seção sobre reciclagem, a categoria denominada “materiais diversos passíveis de reciclagem” é encaminhada para aterro sanitário. Recomenda-se, prioritariamente a redução do uso dos mesmos, a reciclagem sempre que apresentar viabilidade de execução e o investimento em estudos acerca dos materiais a serem utilizados na composição do produto por parte dos fabricantes, a fim de atender a demanda do mercado e evitar que se tornem rejeitos. Caso nenhuma dessas estratégias seja passível de execução, a incineração para a geração de energia pode apresentar viabilidade.

Portanto, a disposição final dos insumos em aterro sanitário deve ser adotada somente em última instância, pois, embora seja ambientalmente adequada, não permite a criação de fluxos circulares, representando o fim da vida útil de um material. Com isso, contribui-se para continuidade da extração de recursos naturais para a confecção de produtos, resultando em fluxos lineares, os quais se mostram cada vez menos sustentáveis. A recuperação energética dos materiais por meio de tecnologias de tratamento térmico pode ser uma alternativa viável para reduzir a quantidade de materiais enviadas para aterro sanitário, no entanto, requer uma série de precauções e é indicada somente em casos em que estratégias que promovem maior circularidade dos materiais não são exequíveis.

6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que indústria avaliada encaminha aproximadamente 81% dos tipos de materiais gerados para estratégias de destinação que promovem a circularidade, sendo elas a reutilização, a reciclagem e a recuperação energética. Por conseguinte, cerca de 19% é enviado para disposição final, o que evidencia que os fluxos circulares não são contemplados para este montante. Desta forma, afirma-se que a indústria adota majoritariamente estratégias de destinação circulares em relação à não circulares. A partir destes valores, ressalta-se que, embora a indústria objeto de estudo de caso apresente certificação de seu sistema de gestão ambiental, é possível promover ainda mais estratégias circulares voltadas ao gerenciamento dos materiais gerados. Nesse sentido, a presente pesquisa pode contribuir para o planejamento de ações de melhoria contínua orientadas à intensificação da circularidade.

Nota-se que a reciclagem e a recuperação energética são as estratégias de destinação circulares mais adotadas pela unidade industrial, contemplando cerca de 48% e 26% dos tipos de matérias gerados, respectivamente. No entanto, ambas promovem menos a valorização dos materiais em relação à reutilização.

A reutilização não envolve a transformação do material e, dessa forma, é considerada uma estratégia que conserva o valor agregado às matérias-primas, componentes e produtos incorporados na etapa de manufatura e que não requer a utilização de outros insumos. Dessa forma, é possível afirmar que a reutilização poupa maior quantidade de recursos em comparação com estratégias como reciclagem, recuperação energética e disposição final. Além disso, o ato de reutilizar contribui para a extensão do uso dos mesmos, promovendo o aproveitamento do material utilizado para confeccionar o produto por mais tempo.

A reciclagem envolve o uso de equipamentos para realizar a transformação do material. Dessa forma, além de perder alguns recursos investidos na etapa de manufatura do produto original, requer a utilização de novos insumos, energia e mão-de-obra para confeccionar um novo bem material. É evidente que conserva menos recursos e, devido a isso, é considerada uma estratégia mais externa em comparação com a reutilização.

Por sua vez, a recuperação energética proporciona fluxos circulares ainda mais externos que a reciclagem. Esse fato deve-se a circularidade pouco durável que promove, já que o material incinerado pode ser recuperado uma única vez. Além disso, se aproxima da

EL, pois demanda a extração de insumos virgens para utilização em novos processos e colabora para intensificação da geração de resíduos sólidos.

Constatou-se que, em relação ao estabelecimento de fluxos circulares mais internos, os quais conservam e poupam mais recursos, a indústria envia apenas 7% dos materiais gerados para reutilização, considerada o ciclo mais interno dentre os avaliados. Em contraponto, evidenciando uma situação positiva, a indústria contempla mais a reciclagem do que a recuperação energética.

No que diz respeito aos fluxos circulares em termos geográficos, foi possível observar que somente um tipo de material gerado (o óleo lubrificante) recebe destinação interna à indústria, o que representa o dispêndio de recursos financeiros com o transporte dos materiais para outras localidades. Neste caso, estratégias de gerenciamento com enfoque na prevenção e a redução da geração, consideradas prioritárias em uma EC, podem contribuir para a redução de custos.

Por meio do diagnóstico de todos os tipos de materiais gerados, identificou-se que a indústria realiza as etapas de gerenciamento corretamente, preocupando-se, principalmente, com as externalidades negativas que suas atividades possam vir a causar. Destaca-se aqui, a tentativa de encaminhar o mínimo possível para a disposição final, devido a possibilidade de contaminação ambiental pelos materiais gerados; e o zelo durante o armazenamento, especialmente com os materiais perigosos acomodados no galpão de resíduos.

Para todos os tipos de materiais gerados, propôs-se ações para internalizar ou promover (para aqueles enviados à disposição final) fluxos circulares. A seguir, serão destacadas as principais oportunidades identificadas para viabilizar maior rendimento possível dos recursos usados.

Observou-se que os materiais gerados enviados para a disposição final possivelmente não apresentam relação com a periculosidade, mas sim com diversos desafios relacionados ao gerenciamento, entre eles: a aceitação de mercado de alguns tipos de materiais usados na manufatura de produtos; materiais considerados como rejeitos; custo-benefício da alternativa a ser adotada; desconhecimento de alternativas que proporcionem maior circularidade.

Como oportunidades para promover circularidade destes materiais enviados para tal destinação, recomendou-se como ação prioritária a realização de programas de educação ambiental, que possam contribuir tanto para segregação adequada na fonte como para reduzir

a quantidade de materiais gerados. A conscientização dos funcionários acerca da temática de resíduos sólidos tem papel fundamental no gerenciamento adequado dos materiais gerados, possibilitando a criação de fluxos circulares. Esse fato fica evidente ao observar o caso das embalagens de alimentos que são descartadas em conjunto com os restos de alimento, resultando na disposição final de um material que provavelmente poderia ser reciclado. Com isso, ao invés de pagar pelo envio para aterro sanitário, a indústria pode vender para agentes interessados, gerando lucro e contribuindo para a criação e manutenção de fluxos circulares. Tal observação vale também para o lodo de efluente sanitário, o qual pode ser vendido para ser reutilizado na agricultura.

Isso permitiu constatar que os fluxos circulares podem resultar na criação de novas oportunidades econômicas. Como consequência, acredita-se na formação de um mercado que impulsiona o surgimento de novas empresas atuantes no segmento, ocasionando a geração de empregos. O estabelecimento de parcerias para compra e venda do material demonstram a relevância da integração e colaboração entre uma cadeia de agentes para o bom gerenciamento de fluxos circulares.

Para os materiais considerados como rejeito (RSS e papéis usados para fins de higiene) enviados para disposição final, recomendou-se avaliar o encaminhamento para tratamentos térmicos que promovem a recuperação energética. Desta forma, cria-se um fluxo circular para o material e reduz-se a quantidade enviada ao aterro sanitário, aumentando a vida útil por meio da redução do volume de rejeitos. Contudo, a escolha deve ser feita somente esgotadas as possibilidades prioritárias e diante de um bom custo-benefício.

Em relação aos materiais encaminhados para a recuperação energética, observou-se que a periculosidade pode ser uma barreira para a adoção de estratégias de destinação que podem promover maior circularidade a eles. Nesse sentido, foram apresentadas propostas que visem reduzir a periculosidade dos materiais gerados, como evitar uso de matérias-primas tóxicas no processo produtivo. Ressaltou-se a relevância da realização de manutenção preventiva e ajuste dos maquinários, ações que podem influenciar na quantidade gerada e nos riscos de contaminação ambiental.

Em relação à reciclagem, uma oportunidade identificada foi o aprimoramento do design técnico do bloco visando reduzir a quantidade de cavacos e materiais metálicos gerados. Diante disso, constatou-se que, na concepção de criação de fluxos circulares cada vez mais internos, não basta planejar ações somente para após a geração dos resíduos, mas

sim para todo o ciclo de vida do produto, considerando todas as etapas que o material percorrerá: extração, design, fabricação, distribuição, consumo e estratégias de recuperação para uso em novos ciclos.

Ademais, notou-se que o nível de atendimento às proposições de EC depende do escopo de atuação da organização. A indústria objeto de estudo de caso atua na manufatura de um componente a ser acoplado no produto final da marca. Portanto, fica evidente que a desmaterialização completa (considerada uma estratégia prioritária) é inviável para esta unidade. Desta forma, é importante que a indústria adote ações que promovam a maior circularidade dos materiais dentro do que lhe é cabível de realizar.

Dentre os materiais enviados para reciclagem, grande parte é classificado como não perigoso, mostrando que, para este caso, a isenção de periculosidade pode ter sido um fator que permitiu a adoção de fluxo circular mais interno que a recuperação energética. Com a comercialização dos materiais, fica evidente que a indústria tem papel de incentivo ao mercado de recicláveis e reciclados. Por outro lado, um desafio identificado foi a aceitação de mercado de alguns materiais, que acabam sendo enviados para disposição final.

Em relação a reutilização, foram recomendadas ações que visem a redução da geração e a extensão do uso para outras funções a que os materiais foram concebidos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, identificou-se algumas barreiras perante o que se pretendia executar inicialmente. A partir delas, elaborou-se o presente tópico com intuito de propor recomendações para trabalhos futuros que abordem resíduos industriais sob o enfoque da EC, relatadas a seguir.

- Identificar o tipo de fonte de energia utilizada do processo produtivo da unidade que se pretende avaliar, a saber se é renovável ou não renovável. Desta forma, torna-se possível averiguar se a empresa usa formas energéticas que contribuem para a conservação de recursos finitos, como preconizado prioritariamente pela EC.
- Coletar informações sobre a realização de manutenção preventiva das máquinas do processo produtivo, o posicionamento das mesmas e, por fim, sobre a existência de frequência programada de troca de peças. Estas podem evidenciar o quanto a empresa procura prevenir vazamentos de produtos contidos nos maquinários, representando uma ação de prevenção à geração de resíduos, considerada uma premissa da EC.
- Caso a empresa seja responsável pela produção de matérias-primas, verificar se investe no design das matérias-primas utilizadas no processo produtivo para possibilitar fácil desmontagem, reparo, reutilização e reciclagem. Essas informações podem revelar se a unidade avaliada busca atingir a maximização de insumos utilizados, se considera a extensão da durabilidade do produto e se facilita a criação de fluxos circulares após o uso. Em suma, consiste em um elemento crucial, pois fornece informações se a empresa atende o planejamento de todas as etapas do ciclo de vida do produto, considerando reduzir a geração de resíduos.
- Verificar se a unidade avaliada fornece treinamento para os funcionários a respeito da temática de resíduos sólidos e se realiza programas de compensação para a comunidade, referente aos impactos negativos que suas atividades possam vir a causar. Ambas as informações permitem averiguar se a empresa realiza ações que visem minimizar as externalidades negativas, considerada uma concepção de EC.
- Estudar a viabilidade técnica e econômica da utilização dos resíduos gerados como material ou energia.
- Avaliar benefícios econômicos da transição para um modelo circular.
- Avaliar benefícios ambientais da transição para um modelo circular, no que diz respeito à emissões e conservação de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- ABADIA, L. G. **Modelos de negócio alinhados aos princípios de economia circular e sustentabilidade**: estudo de múltiplos casos. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- ARAÚJO, V. S. **Gestão de resíduos especiais em universidades**: estudo de caso da universidade federal de São Carlos. 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BARDERI, M. T. **Aplicação dos princípios da economia circular em uma indústria de veículos comerciais**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Centro Universitário FEI, São Paulo, 2017.
- BEKCHANOV, M.; MIRZABAEV, A. Circular economy of composting in Sri Lanka: opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. **Journal of Cleaner Production**, Bonn, v.202, p. 1107-1119, Nov. 2018.
- BERTASSINI, A. C. **Captura de valor em uma economia circular**: guia para identificação de oportunidades de valor circular. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores**: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. 2011. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- BOCKEN, N. M. P. et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v.33, p. 308-320, 2016.
- BRASIL. **Lei 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. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 313**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Brasília, DF, 2002a.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n.º 316**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, DF, 2002b.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 469**, de 29 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**: manual de orientação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília: Governo Federal, 2011.

CAETANO, J. A. **Reaproveitamento do resíduo terra da Shredder através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland para aplicação na construção civil**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

CASTILHOS JR., A. B. et al. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Santa Catarina: Sermograf, 2006. Prosab-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular**: oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Brasília, DF, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da indústria brasileira**. Disponível em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/grafico/total/producao/#!/industria-total>. Acesso em: 18 mar. 2020a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Pesquisa sobre economia circular 2019**. Brasília, DF, 2020b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**. Isle of Wight: EMF, 2013. v. 1: From linear to circular – accelerating a proven concept.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight: EMF, 2015.

FISCHER, A.; PASCUCI, S. Institutional incentives in circular economy transition: the case of material use in the Dutch textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 155, p. 17-32, 2017.

FRANCISCO, G. A. **Prevenção de resíduos: um estudo de caso na indústria calçadista brasileira**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GANEM, R. Siena et al. **Políticas setoriais e meio ambiente**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2015.

GEISSDOERFER, M. et al. The Circular economy – a new sustainability paradigm?. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GENG, Y. et al. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, p. 216-224, 2012.

GEORGE, D. A. R.; LIN, B. C.; CHEN, Y. A Circular economy model of economic growth. **Environmental Modelling and Software**, v. 73, p. 60-63, 2015.

GHISELLINI, P.; ULGIATI, S. Circular economy transition in Italy: achievements, perspectives and constraints. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, p. 1-18, 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A Review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, abr. 1995a.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, jun. 1995b.

HOMRICH, A. S. et al. The Circular economy umbrella: trends and gaps on integrating pathways. **Journal Of Cleaner Production**, v. 175, p. 525-543, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais**. Brasília: Governo Federal, 2012.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Circular economy: resources and opportunities**. Viena, 2015a.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **ISWA Report 2015**. Viena, 2015b.

IWASAKA, F. Y. **Políticas públicas e economia circular: levantamento internacional e avaliação da Política nacional de Resíduos Sólidos**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy – from review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 135, p. 190-201, 2018.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation & Recycling**, Utrecht, v. 127, p. 221-232, Sept. 2017.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological Economics**. Estocolmo, p. 37-46, July 2018.

LAZZERINI, C. A. **Modelos de negócios circulares**: um estudo de micro e pequenas empresas no varejo de moda brasileiro. 2020. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

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.

LINDER, M.; SARASINI, S.; LOON, P. V. A Metric for quantifying product-level circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. 545-558, 2017.

MEADOWS, D. H. et al. **The Limits to growth**: a report for the club of rome's project on the predicament of mankind. Washington: Universe Books, 1972.

MESSAGE, L. B. **Diagnóstico e avaliação do gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde**: estudo comparativo entre hospitais do município de São Carlos-SP. 2019. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

MESTRE, A.; COOPER, T. Circular product design: a multiple loops life cycle design approach for the circular economy. **The Design Journal**, v. 20, p. S1620-S1635, 2017.

MOREAU, V. et al. Coming full circle: why social and institutional dimensions matter for the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. 497-506, 2017.

NERY, S. M.; FREIRE, A. S. A Economia circular e o cenário no Brasil e na Europa. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2017. p. 1-27.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Trends in sustainable development** – towards sustainable consumption and production. New York: Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development, 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects**: the 2015 revision, key findings and advance tables. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015.

POTTING, J. et al. **Circular economy**: measuring innovation in the product chain. Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017.

PUGLIESI, É. **Estudo da evolução da composição dos resíduos de serviços de saúde (RSS) e dos procedimentos adotados para o seu gerenciamento integrado, no Hospital Irmandade Santa Casa de Misericórdia de São Carlos – SP**. 2010. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

RANTA, V. et al. Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: a cross-regional comparison of China, the US, and Europe. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 135, p. 70-82, 2018.

RIOS, I. C. L.; CHARNLEY, F. J. S. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: the changing role of design. **Journal of Cleaner Production**, Cranfield, p. 109-122, Oct. 2017.

RUIZ, R. H. **Ecologia industrial: avaliação do ecopolo industrial de Santa Cruz, no Rio de Janeiro**. 2013. Monografia (Especialização) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SÃO CARLOS. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do município de São Carlos-SP**. São Carlos, 2019.

SÃO PAULO. **Lei 12.300 de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo: SMA, 2006.

SÃO PAULO. **Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo**. São Paulo, 2014.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 076/2018/C**, de 03 de abril de 2018. Estabelece procedimento para a incorporação da logística reversa no âmbito do licenciamento ambiental, em atendimento a Resolução SMA 45, de 23 de junho de 2015 e dá outras providências. São Paulo, 2018.

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, Jan. 2016.

SCHALCH, V.; CASTRO, M. A. S.; CÓRDOBA, R. E. Tratamento e disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos. São Carlos: EESC/USP, 2015.

SCHALCH, V. et al. **Resíduos sólidos: conceitos, gestão e gerenciamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

STAHEL, W. R. The Product life-factor. An Inquiry into the nature of sustainable societies: the role of the private sector. [S.l.]: HARC, Houston Area Research Center, 1982. p. 72-96.

STAHEL, W. R. Policy for material efficiency – sustainable taxation as a departure from the throwaway society. **Philosophical Transactions of the Royal Society** – a mathematical, physical and engineering sciences, v. 371, p. 1-19, 2013.

SU, B. et al. A Review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

SUÁREZ-EIROA, B. et al. Operational principles of circular economy for sustainable development: linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 952-961, 2019.

TABASOVÁ, A. et al. Waste-to-energy technologies: Impact on environment. **Energy**, v. 44, n. 1, p. 146-155, Aug. 2012.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VAN BUREN, N. et al. Towards a circular economy: the role of dutch logistics industries and governments. **Sustainability**, v. 8, p. 2-17, 2016.

VEIGA, R. M. **Do Lixão à economia circular: um salto possível?**. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

VENTURA, M. M. O Estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Sociedade de Cardiologia do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 383-386, out. 2007.

VIEIRA, E. T. **Industrialização e políticas de desenvolvimento regional: o Vale do Paraíba paulista na segunda metade do século XX**. 2009. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUICHI, Y. The Circular economy: a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.