

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA**

KAMILA YOKO CARVALHO KOMATSU

**A ESTRUTURAÇÃO DOS MODELOS DE NEGÓCIO
CIRCULARES NA CADEIA PRODUTIVA DAS
EMBALAGENS PLÁSTICAS PET**

RIO DE JANEIRO

SETEMBRO/2017

Kamila Yoko Carvalho Komatsu

A ESTRUTURAÇÃO DOS MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES NA CADEIA PRODUTIVA DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS PET

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadores:

Professor: José Vitor Bomtempo Martins, D.Sc

Professora: Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc

Rio de Janeiro

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO**A ESTRUTURAÇÃO DOS MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES
NA CADEIA PRODUTIVA DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS PET**

KAMILA YOKO CARVALHO KOMATSU

PESQUISA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS

Rio de Janeiro, 1º de setembro de 2017.

Aprovada por:

Prof. José Vitor Bomtempo Martins, D.Sc. – Orientador, EQ/UFRJ

Prof^a. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc. – Orientadora, EQ/UFRJ

Prof^a. Bettina Susanne Hoffmann, D.Sc. – EQ/UFRJ

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc. – EQ/UFRJ

Prof. Paulo Luiz de Andrade Coutinho, D.Sc. – SENAI

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

K817e Komatsu, Kamila Yoko Carvalho.

A Estruturação dos Modelos de Negócio Circulares na Cadeia Produtiva das Embalagens Plásticas PET / Kamila Yoko Carvalho Komatsu. -- Rio de Janeiro, 2017.
122 f. :il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos)
- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2017.

Orientadores: José Vitor Bomtempo Martins e Clarice Ferraz.

1. Economia Circular. 2. Modelos de Negócio Circulares. 3. Embalagem Plástica. 4. PET. I. Bomtempo Martins, José Vitor. (Orient.). II. Ferraz, Clarice Campelo de Melo. (Orient.). III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química. IV. A Estruturação dos Modelos de Negócio Circulares na Cadeia Produtiva das Embalagens Plásticas PET.

Dedico este trabalho àquela que é o meu maior exemplo,
minha mãe Ester.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, professor José Vitor e professora Clarice Ferraz, pela confiança, incentivo e carinho. Sempre tão atenciosos com os alunos, tornam ainda mais nobre a missão de ensinar.

Ao Rafa, meu grande companheiro e incentivador. Sempre ao meu lado.

Às minhas tias Celeste e Zilda, por cuidarem de mim como filha, obrigada por me apoiarem em todas as minhas escolhas.

À Paula, grande amiga que a vida acadêmica me trouxe.

RESUMO

KOMATSU, Kamila Yoko Carvalho. **A ESTRUTURAÇÃO DOS MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES NA CADEIA PRODUTIVA DAS EMBALAGENS PLÁSTICAS PET.** Orientadores: José Vitor Bomtempo Martins e Clarice Ferraz. Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

O reconhecimento dos benefícios dos plásticos para a sociedade é, com frequência, mascarado pelo descarte incorreto dos materiais pós-consumo. Além dos efeitos diretos da poluição, o baixo reaproveitamento dos plásticos após o seu uso inicial representa igualmente um uso ineficiente dos recursos. Assim, é imprescindível retornar à cadeia produtiva tudo o que já não tem mais utilidade, em um ciclo fechado, a fim de que a energia e os recursos naturais já empregados não sejam perdidos. Neste contexto, a Economia Circular, que constitui o paradigma do sistema do futuro, em contraste com o modelo linear vigente, se propõe a estimular novas práticas de gestão e descortinar novas oportunidades de criação de valor ao longo da cadeia produtiva do plástico, hoje presente em quase todos os produtos industriais e de consumo. Devido à onipresença deste material e às especificidades quanto aos desafios e oportunidades impostos pelo modelo circular, fez-se necessário delimitar a unidade de análise desse estudo, que passou a ser o segmento de embalagens plásticas PET. Assim, esta pesquisa assume o papel de repensar os aspectos tecnológicos e econômicos que envolvem a cadeia produtiva das embalagens plásticas PET e seus fluxos de materiais sob a perspectiva da Economia Circular. O objetivo é desenvolver uma visão abrangente do fluxo de materiais ao longo da cadeia da embalagem plástica, avaliando o valor e os benefícios da transição desse setor arquetipicamente linear para um modelo econômico circular. Para tanto, buscou-se compreender o processo de estruturação dos modelos de negócio circulares nesta cadeia, identificando as iniciativas de inovação que estão permitindo esta mudança. A pesquisa revelou que embora seja possível identificar esforços de inovação pelos agentes da cadeia, a atual estratégia de implementação dessas práticas ainda é muito fragmentada. Dessa forma, a estruturação dos modelos de negócio circulares na cadeia produtiva das embalagens PET ainda é incipiente. Em razão da ausência de uma colaboração estendida entre os elos da cadeia, estes podem precisar rever seus modelos de governança para impulsionar o comportamento adequado. Todavia, enquanto fonte de inovação de produtos, processos e modelos de negócio, além de induzir a redução da procura de recursos naturais com a recuperação de desperdícios e resíduos, a EC revela excelentes perspectivas na cadeia da embalagem plástica, viabilizando vantagens competitivas num mercado dinâmico e global.

Palavras-chave: economia circular, modelos de negócio circulares, embalagem plástica, PET.

ABSTRACT

KOMATSU, Kamila Yoko Carvalho. **THE STRUCTURING OF CIRCULAR BUSINESS MODELS IN THE PET PACKAGING PRODUCTION CHAIN**. Supervisors: José Vitor Bomtempo Martins e Clarice Ferraz. Abstract of Master Thesis presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

To acknowledge the benefits of plastics is often blurred by the incorrect disposal of post-consumer materials. In addition to the direct effects of pollution, the low reuse of plastics also represents inefficient use of resources. Thus, it is essential to return to the production chain everything that is no longer useful, in a closed cycle, so that the energy and natural resources already employed are not lost. In this context, the Circular Economy, which is the paradigm of the system of the future, in contrast to the current linear model, proposes to stimulate new management practices and unveil new opportunities for creating value along the plastic production chain, present today in almost all industrial and consumer products. Due to the omnipresence of this material and the specificities regarding the challenges and opportunities imposed by the circular model, it became necessary to delimit the unit of analysis of this study, which became the segment of PET plastic packaging. Hence, this research assumes the role of rethinking the technological and economic aspects that surround the productive chain of PET plastic packaging and its material flows from the perspective of the Circular Economy. The purpose is to develop a comprehensive view of the flow of materials along the plastic packaging chain, assessing the value and benefits of the transition from this archetypically linear sector to a circular economic model. To do so, the investigation sought to understand the process of structuring the circular business models in this chain, identifying the innovation initiatives that are allowing this change. The research revealed that while it is possible to identify innovation efforts by chain actors, the current strategy for implementing these practices is still very fragmented. Therefore, the structuring of the circular business models in the production chain of PET packaging is still incipient. Because of the absence of extended collaboration between chain links, they may need to review their governance models to drive appropriate behavior. However, as a source of innovation in products, processes and business models, in addition to inducing the reduction of the demand for natural resources with the recovery of waste, Circular Economy reveals excellent perspectives in the plastic packaging chain, enabling competitive advantages in a dynamic and global market.

Keywords: circular economy, circular business models, plastic packaging, PET.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	14
1.2	FATORES DE MUDANÇA E UM NOVO MODELO ECONÔMICO	16
1.3	OS PLÁSTICOS ACENAM COMO UMA OPORTUNIDADE	20
1.4	QUESTÕES DA PESQUISA	23
1.5	OBJETIVO DA PESQUISA	23
1.6	ESTRUTURA DA PESQUISA	24
2.	METODOLOGIA	25
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	25
2.2	ESTUDO DE CASO	25
2.3	COLETA DE DADOS	27
3.	ECONOMIA CIRCULAR (EC)	29
3.1	CONCEITO	29
3.2	ORIGEM DO CONCEITO - ESCOLAS DE PENSAMENTO	33
3.3	A ECONOMIA CIRCULAR NA PRESERVAÇÃO DO VALOR CRIADO	39
3.4	ESTRATÉGIAS DE DESIGN CIRCULAR	41
3.5	OPORTUNIDADES NA TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR	45
3.6	BARREIRAS À ADOÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR	51
3.7	A ESPECIFICIDADE DA ECONOMIA CIRCULAR	56
4.	MODELOS DE NEGÓCIO NA ECONOMIA CIRCULAR	60
4.1	MODELOS DE NEGÓCIO (MN)	60
4.2	MODELOS DE NEGÓCIO SUSTENTÁVEIS (MNS)	62
4.3	MODELOS DE NEGÓCIO CIRCULARES (MNC)	64
5.	A CADEIA DA EMBALAGEM PLÁSTICA PET NO BRASIL	70
5.1	O POLITEREFTALATO DE ETILA (PET)	70

5.2	PRODUÇÃO DE PET NO BRASIL	71
5.3	O PET COMO EMBALAGEM PLÁSTICA	72
5.4	CADEIA DA EMBALAGEM PET NO BRASIL	73
5.5	RECICLAGEM DO PET	75
5.6	ENTRAVES LEGISLATIVOS E ALGUNS DESAFIOS DA RECICLAGEM	77
5.7	FLUXO DAS EMBALAGENS PET	80
6.	<u>A ECONOMIA CIRCULAR DA CADEIA PRODUTIVA DA EMBALAGEM PET</u>	82
6.1	INICIATIVAS CIRCULARES DA CADEIA PRODUTIVA DA EMBALAGEM PET	82
6.2	RESUMO E ANÁLISES	99
7.	<u>CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS</u>	106
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	109

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Evolução dos preços de um portfólio de materiais.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Modelo Linear.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. Modelo Circular</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Demanda de plásticos por segmento e por tipo de polímero, em 2015.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. A Economia Circular e a Natureza interconectadas através dos Ciclos Técnico e Biológico.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6. Destruição de valor através da deposição em aterro e incineração.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 7. Estratégias de design circular permitem que o valor criado seja preservado ou recuperado.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8. Cinco Modelos de Negócio capazes de criar vantagem circular.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 9. Cadeia da Embalagem PET.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 10. Evolução da Reciclagem do PET no Brasil.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 11. Fluxo de embalagens plásticas do tipo PET. Dados referentes ao ano de 2015.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 12. Evolução do conteúdo de base renovável das garrafas PlantBottle™.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 13. Comparação dos impactos da redução excessiva de embalagem com o seu excesso incremental. ...</i>	<i>98</i>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1. Definição de Ciclo Técnico e de Ciclo Biológico.....</i>	<i>31</i>
<i>Quadro 2. Estratégias de Design Circular</i>	<i>42</i>
<i>Quadro 3. Classificação das Iniciativas Circulares quando ao seu grau de penetração, maturidade, natureza das dificuldades para expansão/escalonamento e o principal impacto gerado na estrutura da cadeia.....</i>	<i>100</i>
<i>Quadro 4. Modelos de Negócio Circulares X Cadeia produtiva da embalagem PET X Iniciativas Circulares</i>	<i>101</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABRE	Associação Brasileira de Embalagem
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BTB	<i>Bottle-to-Bottle</i>
DMT	Tereftalato de Dimetila
EC	Economia Circular
EMF	Ellen MacArthur Foundation
FDCA	Ácido Dicarboxílico Furano
FDME	Éster Metílico Dicarboxílico Furano
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPi	Imposto sobre Produtos Industrializados
MEG	Monoetilenoglicol
MN	Modelo de Negócio
MNC	Modelo de Negócio Circular
MNS	Modelo de Negócio Sustentável
PEF	Polietileno Furanoato
PET	Polietileno Tereftalato
PET-PCR	PET Pós-Consumo Reciclado
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PTA	Ácido Tereftálico Purificado
PTF	Furanodicarboxilato Politrimetileno
PVC	Policloreto de Vinila
<i>Ref</i> PET	<i>Refillable</i> PET
rPET	PET reciclado
UE	União Europeia

Capítulo 1

1. Introdução

O presente capítulo apresenta uma breve contextualização a respeito do tema Economia Circular. Ele identifica e posiciona a problemática em contexto histórico, mostrando a evolução do modelo econômico linear vigente e os fatores que estão impulsionando a transição para o modelo econômico circular. Para justificar a proposição do desenvolvimento desta dissertação, ressalta-se a importância de se explorar o caso dos plásticos no contexto da Economia Circular, em especial às embalagens plásticas PET, segmento com amplo potencial de geração de externalidades negativas. Compõem este capítulo os objetivos e a descrição da estrutura da pesquisa.

1.1 Contextualização

Há mais de 250 anos, antes da Revolução Industrial ocorrida na Europa entre os séculos XVIII e XIX, os materiais eram caros e a mão de obra era barata. A quantidade de materiais em circulação era pequena, e seu alto valor em relação aos custos da mão de obra assegurava que os produtos fabricados a partir desses materiais fossem mantidos, reparados e reaproveitados, tornando a eficiência dos materiais uma prática muito comum àquele tempo (ASHBY, 2016).

Todavia, após a Revolução Industrial, a economia global seguiu uma trajetória de crescimento acentuado, iniciada por uma série de avanços tecnológicos (HIEMINGA, 2015). Como consequência dos novos métodos de produção (montagem robotizada, produção em massa), os custos com a mão de obra aumentaram (ASHBY, 2016). Ao mesmo tempo, a mineração em grande escala e o comércio global permitiram uma queda de 1-2% ao ano nos preços dos materiais (*Figura 1*). Assim, os altos custos com a mão de obra e a disponibilidade e baixo custo dos materiais, incentivaram a indústria a adotar uma abordagem linear de produção em massa, ou seja, um modelo de produção e consumo no qual as mercadorias são produzidas com matérias-primas virgens, vendidas, usadas e descartadas como resíduos (ELLEN

MACARTHUR FOUNDATION, 2015a). Em resumo, uma economia baseada no princípio “extrair, transformar, descartar”.

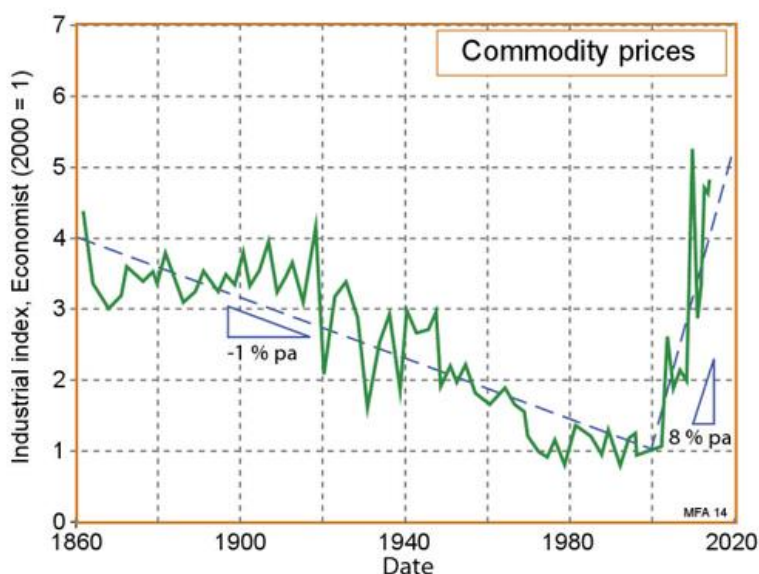


Figura 1. Evolução dos preços de um portfólio de materiais.

Fonte: Ashby (2016: pág. 87)

No entanto, como mostra a *Figura 1*, no ano 2000 surgiu uma alteração nesse cenário, quando o aumento da procura por matérias-primas interrompeu a tendência de queda, marcando, aparentemente¹, o início de um novo ciclo com o aumento dos preços. Mudanças ocorridas na geopolítica, economia global e a própria tecnologia podem ter tido um grande impacto sobre esse aumento. Além disso, acredita-se que o pico no preço das *commodities* possa ser o resultado de uma corrida sem precedentes em busca de recursos. Muitos países, em particular a China, deram início a programas para assegurar o acesso, em larga escala, às *hard commodities* (metais e minerais) e às *soft commodities* (madeira e alimentos) (BROCKLEHURST, 2015).

¹ Embora a ascendência nos preços das *commodities* a partir de 2000 seja clara, dizer que existe um verdadeiro ponto de inflexão com a inversão de uma tendência (queda dos preços) de quase 200 anos pode ser precipitado. A queda nos preços do petróleo, cobre, ouro e minério de ferro no final de 2014, tem alimentado o debate.

1.2 Fatores de Mudança e um novo Modelo Econômico

Conforme discutido na sessão anterior, quando os recursos são abundantes e pouco dispendiosos e o impacto no meio ambiente não é uma preocupação corrente, a presente abordagem linear satisfaz a demanda de forma eficiente. Entretanto, a economia global está rapidamente se aproximando de um ponto no qual o modelo linear não é mais viável (LACY e RUTQVIST, 2014). Um ponto onde trabalhar pela eficiência como solução – uma redução do consumo de recursos e combustíveis fósseis por unidade de rendimento econômico – não alterará a natureza finita das reservas de materiais.

Como se vê, são vários os fatores que indicam que o modelo linear está enfrentando um desafio cada vez maior no próprio contexto no qual opera e que é necessária uma mudança mais profunda no modelo operacional da economia. Alguns desses fatores são descritos a seguir:

Crescimento da população

Espera-se que a população global continue crescendo consideravelmente. De acordo com recente relatório das Nações Unidas (2015), estima-se que o número de pessoas na Terra cresça de 7,7 bilhões em 2015 para 9,7 bilhões em 2050. Com mais e mais pessoas habitando o planeta, as limitações da economia linear têm se tornado mais prementes.

Além disso, a população está envelhecendo. Espera-se que a porcentagem da população mundial com mais de 65 anos cresça de 8% em 2015 para 16% em 2050. Como resultado, o planeta é atingido por um golpe duplo, no qual não só está sendo habitado por mais pessoas, mas por pessoas que vivem mais tempo (HIEMINGA, 2015).

Aumento da riqueza global

Desde a Revolução Industrial, além do número de pessoas em extrema pobreza ter diminuído, a população mundial tornou-se, em média, mais rica, especialmente em países desenvolvidos, o que levou a um forte crescimento da classe média (HIEMINGA, 2015). Esse enriquecimento

da população favoreceu o aumento do consumo, e, conseqüentemente, o aumento de resíduos gerados.

Urbanização

A população mundial está crescendo e uma crescente parcela dessas pessoas tem passado a viver em regiões urbanas. Pela primeira vez na história, mais da metade da população mundial se concentra em áreas urbanas. Projeta-se que a urbanização contínua e o crescimento demográfico total acrescentará mais 2,5 bilhões de pessoas à população urbana até 2050, o que aumentará para 66% a proporção de pessoas que moram em cidades (NAÇÕES UNIDAS, 2014).

Segundo Hieminga (2015), essa tendência à urbanização é especialmente forte nos países desenvolvidos, nos quais as pessoas se deslocam para as cidades, onde a renda é, em média, mais elevada. Esse fenômeno cria novos desafios à sustentabilidade porque os cidadãos, em média, acabam produzindo mais resíduos quando comparados aos que vivem em áreas rurais.

Degradação dos sistemas naturais

Um desafio básico para a criação de riqueza global no longo prazo é o conjunto de externalidades ambientais negativas relacionado ao modelo linear. O esgotamento de reservas de baixo custo e, cada vez mais, a degradação do capital natural estão afetando a produtividade das economias. Os fatores que também contribuem para essas pressões ambientais incluem a mudança climática, a perda da biodiversidade e do capital natural, a degradação da terra e a poluição dos oceanos.

Riscos de preços

Recentemente, muitas empresas começaram a perceber que um sistema linear aumenta sua exposição a riscos, sobretudo no tocante à volatilidade dos preços dos recursos e à escassez da oferta. A maior volatilidade dos preços pode inibir o crescimento econômico, aumentando a

incerteza, desestimulando o investimento das empresas, e elevando o custo da proteção contra riscos relacionados a recursos. A última década registrou a maior volatilidade de preços dos metais e produtos agrícolas do que qualquer década individual do século XX².

Riscos de oferta

Muitas regiões do mundo têm poucos depósitos de recursos naturais não renováveis próprios e, por isso, dependem de importações. A União Europeia (UE) importa seis vezes mais materiais e recursos naturais do que exporta. O Japão importa quase todo o petróleo, outros combustíveis líquidos e gás natural que consome (US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2014). É de se notar que a indústria de transformação encontra-se em uma posição progressivamente incerta quando se trata de seu suprimento de recursos, dado o aumento da concorrência pelo acesso a recursos escassos ou críticos (EUROPEAN COMMISSION, 2014a).

Perdas econômicas e desperdício estrutural

A atual economia funciona em um modelo de geração de valor que gera grande desperdício. Prakash *et al* (2016), em um estudo encomendado pela Agência Federal do Meio Ambiente da Alemanha, mostrou que na Europa a reciclagem de materiais e a recuperação energética a partir de resíduos recuperam apenas 5% do valor original das matérias-primas³. A análise também constatou significativas perdas estruturais em setores que muitos tendem a considerar maduros e otimizados. Por exemplo, na Europa, o automóvel médio permanece estacionado 92% do tempo, 31% dos alimentos são desperdiçados na cadeia de valor e o escritório médio só é usado

² A volatilidade anual dos preços é calculada como o desvio padrão dos subíndice de commodities da McKinsey dividido pela média do subíndice no período. Fonte: McKinsey Global Institute. Resource Revolution: Meeting the World's Energy, Materials, Food, and Water Needs, novembro de 2011.

³ Essa proporção de retenção do valor material se define como o produto total do setor europeu de gestão de resíduos e reciclagem em materiais e energia, dividido pelo produto do setor de matérias-primas (ajustada para as importações líquidas de recursos primários e o valor de 30% dos recursos integrados aos produtos importados líquidos).

durante 35–50% do tempo, mesmo durante o horário de trabalho (SUN and McKINSEY, 2015).

Tendências regulatórias

Nos últimos anos, as empresas testemunharam um esforço crescente dos reguladores para reduzir e precificar externalidades negativas. Desde 2009, somente para um grupo de 66 países, o número de leis sobre a mudança climática aumentou 66%, indo de 300 para 500 (NACHMANY *et al*, 2014). A precificação do carbono, na forma de esquema de comercialização de emissões ou de imposto sobre o carbono, foi implementada ou tem data de início marcada em quase 40 países e mais de 20 cidades, estados e regiões (KOSSOY *et al*, 2015). Na Europa, 20 países criaram impostos sobre aterros sanitários, que, em seu conjunto, geraram arrecadação de € 2,1 bilhões em 2009/2010 (FISCHER, 2017).

À luz da série de desafios discutidos e das limitações subjacentes ao modelo linear (*Figura 2*), o modelo circular (*Figura 3*) tem sido considerado uma solução harmônica entre o crescimento econômico e a preservação ambiental (LIEDER, 2016). Embora ainda prevalente, as condições necessárias à economia linear estão se fragilizando em um momento em que surgem tendências disruptivas que darão forma à economia no futuro. Assim, a transição para um modelo circular está cada vez mais documentada, e o tamanho da oportunidade econômica – além de um conjunto mais amplo de impactos positivos – cresce gradualmente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b).



Figura 2. Modelo Linear

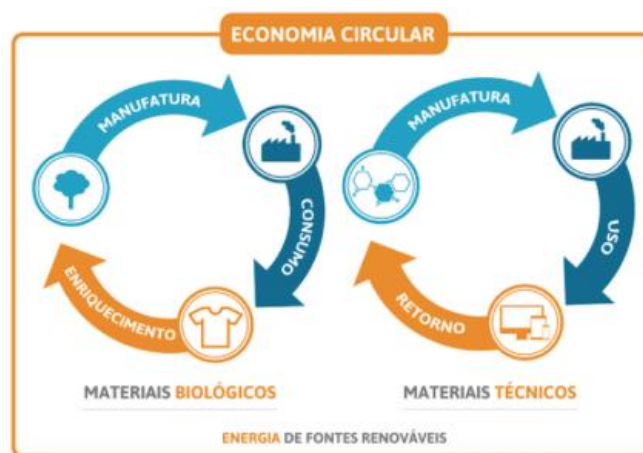


Figura 3. Modelo Circular

Fonte: Luz e Echevengua (2015).

1.3 Os plásticos acenam como uma oportunidade

É precisamente neste cenário, no qual o modelo circular de crescimento dissociado do consumo de recursos finitos e capaz de oferecer sistemas econômicos resilientes, em que se inserem as discussões a respeito da produção e do consumo sustentável dos plásticos, hoje presentes em quase todos os produtos industriais e de consumo.

A onipresença desse material na economia moderna é resultado da combinação de suas incomparáveis propriedades funcionais com baixo custo. Porém, as mesmas características que o tornam tão útil, notadamente a durabilidade, leveza e baixo custo, tornam problemática a sua

eliminação (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Como consequência, a quantidade de resíduos plásticos tem vindo a aumentar em todo o mundo (COMISSÃO EUROPEIA, 2013).

Seu uso aumentou cerca de vinte vezes nos últimos 50 anos, crescendo de 15 milhões de toneladas em 1964 para 322 milhões de toneladas em 2015 e deve dobrar nos próximos 20 anos, dado o crescente número de atividades que utilizam os materiais plásticos (PLASTICS EUROPE, 2016). Hoje, todas as pessoas, em todos os lugares e todos os dias, têm contato com plásticos – sobretudo os de embalagem, que são o foco desta pesquisa.

Assim, embora ofereça muitos benefícios, a atual economia dos plásticos tem desvantagens que vêm se tornando mais evidentes. Depois de um breve primeiro ciclo de uso, 95% do valor do material plástico das embalagens, o que corresponde a US\$ 80–120 bilhões anuais, se perde. Uma impressionante proporção de 32% dos plásticos de embalagem escapa aos sistemas de coleta, gerando custos significativos em razão da redução da produtividade de sistemas vitais naturais, como os oceanos, e sobrecarregando a infraestrutura urbana. O custo dessas externalidades pós-uso das embalagens plásticas, somado ao custo associado a emissões de gases do efeito estufa em sua produção, atinge cerca de US\$ 40 bilhões por ano – superando o lucro agrupado da indústria de embalagens plásticas. Certo é que esses custos precisarão ser cobertos no futuro (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016).

Dessa forma, a superação dessas desvantagens surge como uma oportunidade: aumentar a eficácia dos sistemas para obter melhores resultados econômicos e ambientais, mantendo os muitos benefícios dos plásticos. Para isso é necessário superar as limitações das melhorias incrementais e das iniciativas fragmentadas de hoje para criar uma noção compartilhada de direção, estimular uma onda de inovação e mover a cadeia de valor do plástico para uma espiral positiva de captura de valor, maior solidez econômica e melhores resultados ambientais.

Posto isso, esta pesquisa se apresenta como uma oportunidade para se repensar os aspectos tecnológicos e econômicos que envolvem a cadeia produtiva dos plásticos e seus fluxos de materiais, e entender como podem evoluir sob a perspectiva da Economia Circular.

Entretanto, por se tratar de um material presente em praticamente todos os segmentos de manufatura e cadeias de suprimentos, incluindo os automóveis, eletroeletrônicos, linha branca, computadores, construção civil, embalagens, agricultura, dentre outros, considerar todas as aplicações dos plásticos, dadas as especificidades⁴ do conceito de Economia Circular, tornaria

⁴ O caráter específico do conceito de Economia Circular será abordado com mais detalhes no capítulo 3.

o estudo demasiado difuso, implicando análises que não necessariamente se aplicariam ao todo, o que resultaria em argumentação fraca e pouco efetiva. Portanto, optou-se por realizar um recorte dentro deste setor que viabilizasse um estudo mais refinado.

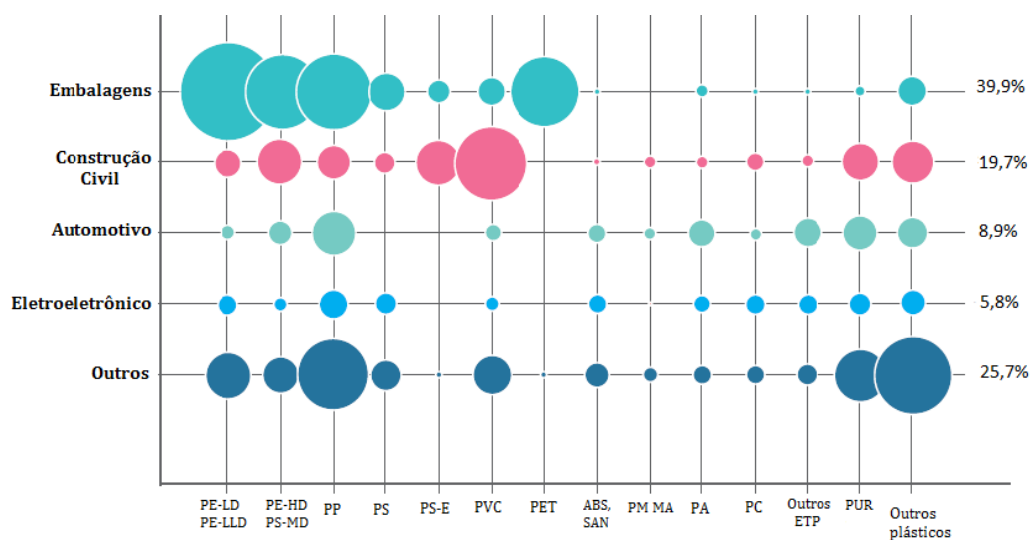


Figura 4. Demanda de plásticos por segmento e por tipo de polímero, em 2015.

Fonte: Plastics Europe (2016).

A análise do diagrama da *Figura 4*, que representa a demanda de plásticos por segmento e por tipo de polímero, possibilita a extração de diferentes informações. Dentre elas, destacam-se a vasta variedade de aplicações do polipropileno (PP), a importância do policloreto de vinila (PVC) para construção civil, a variedade de plásticos que são usados nos setores elétrico e automotivo, e, principalmente, a predominância do segmento de embalagens, bem como os polímeros chave nessa área, incluindo o PET.

Cada elemento apresenta uma característica própria e é capaz de propiciar uma oportunidade diferente. Entre os resíduos mais coletados, por exemplo, estão os polietilenos, o PET e o PP, pois estes geralmente têm aplicações de curta duração, como as embalagens. O PVC, por outro lado, apesar de muito utilizado na indústria, gera pouco resíduo, já que a maior parte das aplicações, como tubos e conexões, tem vida longa.

Os dados mostram que em 2015, 39,9% da demanda europeia total de plásticos destinou-se à produção de embalagens.

Assim, por representar grande parte do consumo de resinas plásticas, o segmento de embalagens se revela uma excelente oportunidade de estudo para análise da estrutura da cadeia de valor dos plásticos e seu papel na transição para uma economia mais circular.

Neste cenário, verificou-se que para uma exploração mais profunda do segmento de embalagens plásticas, um maior refino no objeto de estudo seria mais indicado, dado as especificidades nos desafios e oportunidades impostos pelo modelo circular. O PET foi então escolhido por se tratar de uma resina predominantemente destinada à produção de embalagens plásticas, possuindo, portanto, um uso menos disperso, além de as iniciativas e atores envolvidos serem de fácil identificação.

Dessa forma, esta pesquisa dá atenção especial às embalagens plásticas do tipo PET.

1.4 Questões da Pesquisa

A presente pesquisa busca responder a seguinte questão:

Como a cadeia produtiva das embalagens plásticas está estruturando os modelos de negócio sob a perspectiva da Economia Circular?

1.5 Objetivo da Pesquisa

A presente Dissertação de Mestrado tem como objetivo geral (OG) **desenvolver uma visão abrangente do fluxo de materiais ao longo das cadeias de embalagens plásticas, avaliando o valor e os benefícios da transição desse setor arquetipicamente linear para um modelo econômico circular. Para tanto, deve-se compreender o processo de estruturação dos modelos de negócio circulares nessas cadeias e identificar as iniciativas de inovação que estão permitindo esta mudança.**

Como forma de se alcançar o objetivo geral, propõem-se os seguintes objetivos específicos (OE):

- **OE1:** Realizar uma revisão da literatura sobre o tema Economia Circular e os modelos de negócio circulares que estão emergindo desse novo modelo econômico.
- **OE2:** Identificar as práticas circulares adotadas pela cadeia produtiva de embalagens PET e analisar como essas iniciativas de inovação se distribuem ao longo da cadeia, identificando os elos diretamente envolvidos no processo de estruturação dessas iniciativas.
- **OE3:** Analisar que tipos de modelos de negócio circulares estão sendo estruturados a partir dessas iniciativas de inovação, quais os impactos gerados na estrutura da cadeia e onde residem as oportunidades de aprimoramento desses modelos.

1.6 Estrutura da Pesquisa

A presente dissertação está estruturada em 7 capítulos, sendo esta introdução o primeiro deles.

O capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada no trabalho. Ele traz a caracterização da pesquisa, fundamentado-a no modelo analítico de estudos de caso proposto por YIN (2001).

O capítulo 3 explora todos os aspectos relevantes sobre o conceito de Economia Circular, incluindo suas inúmeras definições encontradas na literatura, as escolas de pensamento que de alguma forma influenciaram essa nova abordagem, os princípios que a nortearam, bem como algumas oportunidades e barreiras envolvidas na adoção desse novo modelo econômico. Finalmente, mostra-se que o conceito tem características muito específicas, e, para tanto, deve ser tratado com certo cuidado, uma vez que seu desenvolvimento está condicionado ao tipo de indústria, setor, segmento, empresas, modelos de negócio, produtos e até materiais.

Como esta pesquisa envolve o estudo de caso da cadeia das embalagens plásticas, e dá atenção especial às embalagens PET, alguns aspectos dessa cadeia produtiva são discutidos no capítulo 4.

Os capítulos 5 e 6 exploram os objetivos específicos descritos anteriormente e correspondem, respectivamente, ao desenvolvimento dos modelos de negócio circulares e à discussão e análise das iniciativas de inovação identificadas na cadeia nacional da embalagem PET. O capítulo 6 ainda apresenta uma discussão sobre os resultados encontrados para o alcance do objetivo geral proposto por esta dissertação. Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões da pesquisa e alguns comentários finais.

Capítulo 2

2. Metodologia

Este capítulo discorre sobre a metodologia adotada na dissertação. Pretende-se definir sua natureza e seu modelo analítico. A adequação da pesquisa ao método de estudo de caso é fundamentada na teoria proposta por Yin (2001). Assim, a decisão de fragmentar a indústria do plástico e selecionar o segmento das embalagens conduziu o trabalho para um estudo de caso único incorporado. Finalmente, descreve-se o processo de levantamento de informações em fontes bibliográficas e a estratégia envolvida na seleção dos atores chave para a realização das entrevistas semiestruturadas.

2.1 Caracterização da pesquisa

A pesquisa pode ser quantitativa ou qualitativa e, além disso, pode contemplar aspectos das duas. A pesquisa qualitativa, segundo Denzin e Lincoln (2000), consiste em práticas interpretativas relacionadas, que buscam o melhor entendimento do problema em questão. Ela se fundamenta no uso e na coleção de uma variedade de material empírico como o estudo de caso, a experiência pessoal, entrevistas, história de vida, textos, observações e histórico. De acordo com Denzin e Lincoln (2000), esse tipo de pesquisa permite a análise dos processos que não são experimentalmente examinados ou medidos em termos de quantidade, intensidade e frequência. Assim, considerando seu objetivo, esta pesquisa apresenta uma abordagem de natureza exploratória e qualitativa, caracterizado pelo **estudo de caso** da estruturação da Economia Circular e seus modelos de negócio na cadeia de embalagens plásticas do tipo PET.

2.2 Estudo de caso

Segundo Yin (2001, p.32): “o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, sendo que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”. Assim, os estudos de caso visam à compreensão e à interpretação mais profunda dos fatos e fenômenos específicos. Embora não possam ser

generalizados, os resultados obtidos devem possibilitar a disseminação do conhecimento, por meio de possíveis generalizações ou proposições teóricas que podem surgir do estudo (YIN, 2001).

Como a estruturação dos modelos de negócio circulares na cadeia produtiva da embalagem plástica PET ainda se encontra no estágio de transição, a escolha do método do estudo de caso pareceu ser o mais apropriado para a realização desta pesquisa. Yin (2001, p.61) apresenta quatro tipos básicos de estudo de caso:

1. Projetos de caso único holístico – unidade única de análise e único caso;
2. Projetos de caso único incorporado – unidades múltiplas de análise e único caso;
3. Projetos de casos múltiplos holísticos – unidade única de análise e múltiplos casos;
4. Projetos de casos múltiplos incorporados – unidades múltiplas de análise e múltiplos casos.

Para tanto, Yin (2001) considera que estudos de caso único e de casos múltiplos refletem situações de projetos diferentes e que, mesmo dentro desses dois tipos, possam existir unidades unitárias ou múltiplas de análise.

Nas considerações sobre os tipos de casos é comum o questionamento sobre a validade do estudo de caso único. Para Yin (2001), ele é justificável em situações onde o caso representa um teste crucial da teoria existente; o caso é um evento raro ou exclusivo ou o caso serve a um propósito revelador. Além disso, o estudo de caso único pode envolver apenas uma unidade de análise (holístico) ou unidades múltiplas (incorporado). Yin (2001, p. 64-74) observa que a escolha entre os dois tipos de projeto, holístico ou incorporado, depende do fenômeno a ser estudado. O projeto holístico é recomendado quando “não é possível identificar nenhuma subunidade lógica e quando a teoria em questão subjacente ao estudo de caso é ela própria de natureza holística”. Quanto ao projeto incorporado, ele é adequado quando o estudo de caso, único ou múltiplos casos, envolve subunidades de análise, “como, por exemplo, o pesquisador decide incluir os funcionários como uma subunidade de estudo” (DUARTE e BARROS, 2006, p. 227).

Com base nessa teoria, entende-se que o enfoque dado à indústria dos plásticos caracterizaria um estudo de caso único. Uma vez feitos os recortes que levaram à segmentação dessa indústria até a cadeia das embalagens do tipo PET, pode-se concluir que esta pesquisa representa um estudo de caso único incorporado.

2.3 Coleta de Dados

O estudo de caso utiliza para coleta de dados, principalmente, seis fontes distintas de informação: “documentos, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos” (DUARTE e BARROS, 2006, p. 229).

Assim, diante do que foi proposto metodologicamente, optou-se por realizar uma pesquisa bibliográfica primária, abarcando os diversos aspectos sobre o tema "Economia Circular" (EC).

A fonte dessas buscas foi composta de artigos científicos, relatórios, referências governamentais, tais como documentos da Comissão Europeia e do Parlamento Britânico, relatórios de fundações como a Ellen MacArthur Foundation (EMF), documentos de Associações Brasileiras (ABIPET, ABIPLAST, CEMPRE, etc.), relatórios de diferentes instituições e agências, como BNDES, FINEP, ANVISA, livros, publicações em revistas e sites especializados, etc. Além destes, contribuiu para a aprendizagem, a participação em eventos sobre o tema.

Paralelamente ao levantamento bibliográfico, com o intuito de enriquecer a discussão sobre o tema proposto, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os diversos agentes da cadeia produtiva do PET, de maneira a imprimir maior rigor científico e legitimar o conteúdo já dissertado, até então somente fundamentado na literatura disponível.

De acordo com Duarte e Barros (2006), a entrevista é considerada uma das mais importantes fontes de informação para um estudo de caso. Ainda segundo os autores, a entrevista tornou-se técnica clássica para obtenção de informações nas ciências sociais, com larga adoção em áreas como sociologia, comunicação, antropologia, administração, educação e psicologia. O uso de entrevistas, especialmente a entrevista em profundidade, permite identificar as diferentes maneiras de perceber e descrever os fenômenos. A entrevista em profundidade não permite testar hipóteses. Ela objetiva saber como o fenômeno estudado é percebido pelo conjunto dos entrevistados. Portanto, seu objetivo está relacionado “ao fornecimento de elementos para compreensão de uma situação ou estrutura de um problema” (DUARTE e BARROS, 2006, p.63). Portanto, as informações obtidas nas entrevistas relativas a esta pesquisa foram fundamentais para o estudo de caso da cadeia produtiva da embalagem plástica PET diante da perspectiva da Economia Circular. As entrevistas trouxeram um tratamento técnico e organizado, tendo sido confrontadas com os dados e informações bibliográficas sobre o tema.

Cabe destacar, ainda, que as entrevistas realizadas para esta pesquisa foram pensadas de forma a abarcar todos os atores envolvidos na cadeia da embalagem plástica PET, do fornecedor da matéria-prima ao reciclador. As perguntas foram elaboradas de acordo com o papel que cada um destes *players* exerce na cadeia. Cada entrevista durou, em média, uma hora.

Ao término da coleta das informações, foi efetuada uma síntese interpretativa, por meio de recursos como a inferência e a própria interpretação à luz da teoria pertinente.

Capítulo 3

3. Economia Circular (EC)

O presente capítulo concentra-se em explorar as origens do conceito “Economia circular” e alguns dos seus princípios orientadores. É feito um levantamento das escolas de pensamento que moldaram sua atual definição e algumas estratégias circulares de criação/preservação de valor. Na sequência, é listada uma série de oportunidades e barreiras associadas ao desenvolvimento desse novo modelo econômico. Finalmente, discute-se a importância de se tratar o conceito de Economia Circular com certa especificidade, tomando o cuidado para não cometer generalizações demasiadas, com o risco de comprometer o seu propósito.

3.1 Conceito

Existem várias formas de se conceituar a Economia Circular (EC). Em linha com o desenvolvimento eco-industrial⁵, a EC é entendida como um "fluxo de materiais em um ciclo fechado que se estende por todo o sistema econômico" (GENG e DOBERSTEIN, 2008). Em associação com o chamado Princípio dos 3R's (redução, reuso e reciclagem) a EC pode ser entendida como um “fluxo circular (fechado) de materiais e o uso de matérias-primas e energia através de múltiplas fases” (YUAN *et al*, 2006). Levando-se em conta os aspectos econômicos, a EC também pode ser definida como "uma economia baseada em um sistema de ciclo-espiral que minimiza a matéria, o fluxo de energia e a deterioração ambiental, sem restringir o crescimento econômico ou o progresso social e técnico" (STAHEL, 1982).

Velis (2015) define a EC como um modelo econômico que defende o retorno de recursos, que de outra forma se tornariam resíduos. Em vez de apenas gerenciar o fim da vida útil do resíduo antes de um descarte ambientalmente adequado, os resíduos se tornam uma fase transitória,

⁵ O modelo de desenvolvimento Eco-Industrial implica a mudança da forma de planejar, construir e gerenciar os sistemas industriais, em conjunto com o ecossistema, a economia e a sociedade para o benefício mútuo. Fonte: Nascimento *et.al*, 2006. Parque Eco-Industrial: Uma discussão sobre o futuro dos distritos industriais brasileiros. GEPROS – Ano 1, nº2, abril/2006, p. 97-109.

apenas uma etapa em um ciclo de utilização idealmente perpétuo na atividade econômica antropogênica, antes da inevitável, porém mais distante, disposição final desses materiais.

A Fundação Ellen MacArthur⁶, por sua vez, considera, simultaneamente, tanto as vantagens ambientais como as vantagens econômicas, sob um aspecto de performance regenerativa, exigindo alta qualidade na circulação de materiais técnicos (ciclo técnico), garantindo, ao mesmo tempo, a entrada segura de biomateriais na esfera biológica (ciclo biológico) (LIEDER, 2016). Os ciclos são ilustrados na *Figura 5* e definidos em seguida.

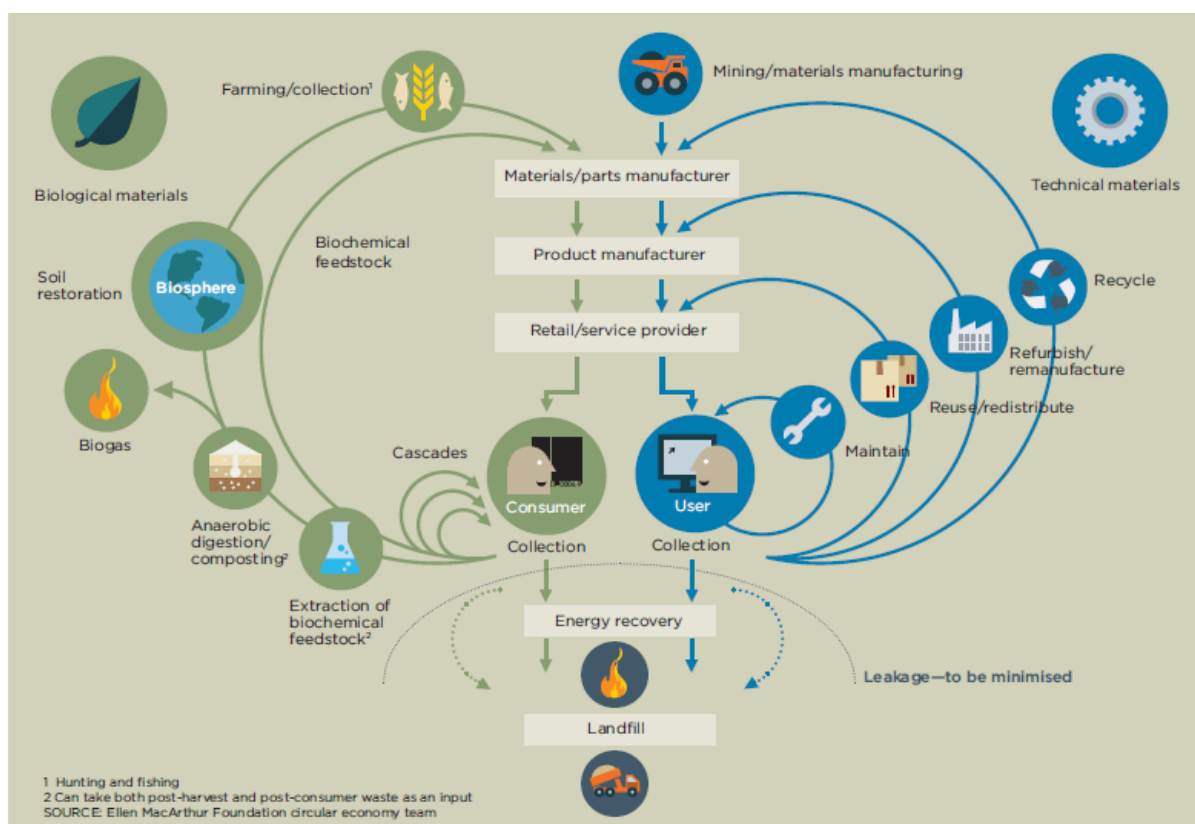


Figura 5. A Economia Circular e a Natureza interconectadas através dos Ciclos Técnico e Biológico.

Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2015a).

6 A Fundação Ellen MacArthur foi criada em 2010, com o objetivo de acelerar a transição para a economia circular. Desde sua criação, a fundação tornou-se um dos líderes do pensamento global, inserindo a economia circular na agenda de tomadores de decisão no mundo dos negócios, governo e academia.

Quadro 1. Definição de Ciclo Técnico e de Ciclo Biológico.

A EC distingue os ciclos de nutrientes técnicos e biológicos:

O **Ciclo técnico** envolve a gestão dos estoques de materiais finitos. O uso substitui o consumo. Os materiais técnicos são recuperados e, em sua maior parte, restaurados no ciclo técnico.

O **Ciclo biológico** abrange os fluxos de materiais renováveis. O consumo só ocorre no ciclo biológico. Nutrientes renováveis (biológicos) são, em sua maior parte, regenerados no ciclo biológico.

Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2015a).

Por tudo isso, o conceito se caracteriza, mais do que se define, como uma economia que é restaurativa e regenerativa por princípio. Tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo a distinção entre ciclos técnicos e biológicos. A EC é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis. É um novo modelo econômico que busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

Murray *et al* (2015) enfatizam a importância do aspecto restaurativo pretendido. Nessa perspectiva, a EC não se limita a uma abordagem preventiva (muitas vezes identificada através de palavras como reduzir, minimizar e eliminar). Em vez disso, visa reparar danos, projetar sistemas mais fortes e reconstruir o capital natural. Portanto, segundo Poutiainen (2015), um elemento-chave é ter um impacto positivo, e não somente ter um efeito neutro sobre o meio ambiente.

Cabe ressaltar que, por ser um modelo econômico que abarca várias dimensões, seu conceito se perde em meio a definições muitas vezes imprecisas. As opiniões sobre o que constitui o núcleo de uma economia circular variam muito. Alguns defendem que o cerne da EC está na mudança do modelo de negócio. Outros afirmam que se trata dos fluxos de materiais. Uma terceira visão defende que a extensão da vida útil do produto é a principal abordagem da EC. Essa variedade de pontos de vista destaca o fato de que a EC é uma abordagem ampla, para a qual existem muitos caminhos alternativos. Por outro lado, essa ausência de uma definição mais precisa do que constitui um produto ou serviço circular pode dificultar o desenvolvimento de incentivos adequados para que as empresas trabalhem na direção de modelos circulares (DE GROENE ZAAK e ETHICA, 2015).

Neste trabalho, a EC é entendida como um modelo econômico que dissocia o crescimento econômico do uso de recursos escassos. Para isso, ela se apoia em tecnologias disruptivas e modelos de negócios baseados na longevidade, capacidade de renovação, reuso, reparo, aprimoramento, remodelação, compartilhamento de capacidade e desmaterialização.

As empresas não mais privilegiam a condução de maiores volumes a custos reduzidos. Em vez disso, elas se concentram em repensar completamente produtos e serviços para permitir que suas operações se adaptem e se preparem para a inevitável restrição de recursos. Isso implica eliminar desperdício, criar mudanças no ritmo da produtividade de recursos e, ao mesmo tempo, aumentar a proposição de valor para o consumidor em dimensões como preço, qualidade e disponibilidade (LACY e RUTQVIST, 2014).

Também merece atenção o fato de que a EC tem sido considerada, frequentemente, como uma abordagem que envolve a gestão mais apropriada de resíduos, sendo muitas vezes entendida como um modelo que busca minimizar impactos ambientais negativos, reduzir pegadas ecológicas, neutralizar emissões e aumentar a eficiência na aplicação dos recursos, ou seja, um modelo que continua a fazer as coisas do mesmo modo, apenas com menor intensidade, mas sem mudar de direção, postergando o problema (DYLLICK & HOCKERTS, 2002). Alguns questionam se a economia circular seria simplesmente uma reciclagem tradicional, porém com outro nome.

Esse ponto de vista é limitado, podendo levar o modelo da Economia Circular ao fracasso (GHISELLINI *et al*, 2016). É importante esclarecer que, embora a reciclagem continue a ser um elemento central, a EC vai muito além. Muitas outras ideias predominantes ou emergentes estão fortemente atreladas à economia circular. Vale citar apenas alguns: recuperação de recursos, eficiência dos recursos, consumo e produção sustentáveis, sistemas de prestação de serviços, simbiose industrial, metabolismo urbano, *zero waste*, eco design, o quão crítico é um material, design para reciclagem, *upcycling* /*downcycling* e modelos em cascata, remanufatura, prevenção e minimização de resíduos e, não menos importante, a sustentabilidade global (VELIS, 2015).

Por tudo isso, o desafio à frente, no sentido de um desenvolvimento de uma economia preventiva e regenerativa (GENG *et al*, 2014) não é uma abordagem do tipo “mais do mesmo”, que apela para uma maior aplicação de tecnologias “verdes”. A EC promove um olhar mais amplo e abrangente para o *design* de soluções alternativas ao longo de todo o ciclo de vida dos processos, bem como a interação entre esses processos, o ambiente e a economia na qual ele

está inserido. Assim, a EC, embora não tenha emergido da economia *mainstream*, traz a dimensão dos mercados e das empresas, frequentemente esquecidos pelas abordagens que a originaram.

3.2 Origem do Conceito - Escolas de Pensamento

Baseado nos estudos prévios de Boulding (1966), Pearce e Turner (1989) introduziram o conceito de ‘sistema econômico circular’. A ideia de Boulding acerca desse sistema é vista como pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade da vida humana na Terra (um sistema fechado, sem praticamente qualquer troca de matéria com o ambiente exterior). Em sua estrutura teórica, Pearce e Turner (1989) explicam a mudança do sistema econômico linear tradicional para o sistema econômico circular como consequência da lei da termodinâmica (GEORGESCU-ROEGEN, 1971, *apud* GHISELLINI *et al*, 2016, p. 14) que dita a degradação da matéria e da energia. De acordo com esses autores, em um mundo onde “tudo é uma entrada para todo o resto”, três funções econômicas do ambiente podem ser identificadas: oferta de recursos, sistema de manutenção da vida, assimilação de resíduos e emissões. Do mesmo modo que outras funções econômicas, essas três funções básicas devem ter um preço. Entretanto, não existe nem preço e nem mercado para os bens ambientais (tais como qualidade do ar e da água, bens públicos) ainda que eles tenham um claro valor ou utilidade para os indivíduos e para as sociedades. Assim, Pearce e Turner (1989) teorizaram um modelo que definia a relação entre a economia e o meio ambiente (LIEDER, 2016).

As raízes da EC também se encontram na Teoria Geral dos Sistemas (VON BERTALANFFY, 1950, 1968 *apud* GHISELLINI *et al*, 2016, p. 14) e na Ecologia Industrial (PRESTON, 2012). Além da visão Newtoniana de “simplicidade organizada”, Von Bertalanffy (1950 *apud* GHISELLINI *et al*, 2016, p. 14) propôs que todos os organismos fossem considerados como sistemas, sendo a principal característica a relação entre seus componentes (LASZLO, 1972). Particularmente, a relação entre organizações e os ambientes onde se inserem pode ser vista como a principal fonte de complexidade e interdependência e, frequentemente, o todo tem propriedades que não podem ser conhecidas a partir da análise dos elementos integrantes isolados (LASZLO, 1972). Dessa forma, o todo determina o comportamento das partes e não o inverso (CAPRA, 1995). Como consequência, o comportamento de um agente econômico ou organização deve ser investigado em conjunto com os de outros agentes, dentro de um mesmo

sistema econômico (DELLI GATTI e GALLEGATI, 2013). A Teoria Geral dos Sistemas (em inglês, GST), portanto, promove o holismo, o pensamento sistêmico, a complexidade, o aprendizado organizacional e o desenvolvimento de recursos humanos (CAPRA, 1995; ODUM, 1996; SWANSON, 2001; JACKSON, 2003; SENGE *et al*, 2010), os quais devem ser considerados premissas importantes da EC.

A Ecologia Industrial (EI) surgiu em oposição à atual concepção de que os impactos ambientais dos sistemas industriais devem ser estudados mantendo-se separada a fonte, que é o “sistema industrial” e o receptor dos impactos, o “meio ambiente”. A Ecologia Industrial introduziu uma perspectiva diferente ao analisar o sistema industrial e seu ambiente como um ecossistema caracterizado pelo fluxo de materiais, energia e informação (ERKMAN, 1997; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a). Portanto, a EI se baseia em três pilares (CHIU e YONG, 2004): os dois primeiros – o analítico e o metodológico - são direcionados, principalmente, a captar informações sobre como o sistema industrial funciona, como é regulado, sua interação com a biosfera (ERKMAN, 1997), e seu metabolismo industrial (AYRES e SIMONIS, 1994). O terceiro é o proativo (VAN BERKEL *et al*, 1997), uma vez que a EI pode ser usada pelas empresas para melhorar o seu desempenho ou, alternativamente, pelos legisladores, para desenvolver um roteiro que seja capaz de promover um desenvolvimento mais sustentável (GRAEDEL e ALLENBY, 1995; CHIU e YONG, 2004).

Concentrando-se em conexões entre operadores dentro do “ecossistema industrial”, essa abordagem visa à criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando-se, assim, a noção de um subproduto indesejável. Dessa forma, a EI adota um ponto de vista sistêmico, projetando processos de produção de acordo com as restrições ecológicas locais, enquanto observa seu impacto global desde o início, e procura moldá-los para que funcionem o mais próximo possível dos sistemas vivos. Este *framework* é muitas vezes referido como a “ciência da sustentabilidade”, dada a sua natureza interdisciplinar, e seus princípios podem ser também aplicados no setor de serviços. Com ênfase na restauração do capital natural, a Ecologia Industrial foca também no bem-estar social (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a). Por sua vez, a Economia Circular se nutre de conceitos da EI no que tange à operação (metabolismo industrial) e otimização (IUNG e LEVRAT, 2014) dos sistemas industriais, escalonando-os para um sistema econômico amplo no intuito de estabelecer um novo modelo de desenvolvimento econômico, produção, distribuição e recuperação de produtos (CHIARONI e CHIESA, 2014 *apud* GHISELLINI *et al*, 2016, p. 15).

Além disso, atribui-se ainda às recentes escolas de pensamento, como design regenerativo, economia de performance, *cradle to cradle*, biomimética e *blue economy*, uma importante contribuição para o desenvolvimento do conceito de economia circular (POUTIAINEN, 2015). Cada um destes aspectos será discutido a seguir.

3.2.1 Design Regenerativo

Uma característica essencial da economia circular é ser restaurativa e regenerativa por natureza. A recuperação de materiais e produtos não é tratada só no fim da vida dos mesmos, mas é contemplada desde o *design* (na escolha de materiais ou com um *design* para a desmontagem). Nos Estados Unidos, no final da década de 70, John T. Lyle começou a desenvolver ideias de *designs* regenerativos que poderiam ser aplicados para todos os sistemas, ou seja, além da agricultura, para a qual o conceito de regeneração havia sido formulado inicialmente.

No contexto da EC, o *design* regenerativo significa o desenvolvimento de competências centrais em *design* circular para facilitar a reutilização, a reciclagem e o aproveitamento em cascata dos produtos. O *design* de um produto (e um processo) circular requer habilidades avançadas, conjuntos de informações e métodos de trabalho que não estão prontamente disponíveis hoje. A ciência dos materiais e sua seleção desempenham um papel crítico no projeto de novos produtos. Os fabricantes devem especificar a finalidade e o desempenho dos produtos finais, não se limitando aos insumos materiais. Também devem favorecer, em seu processo de produção, os materiais puros, que oferecem mais facilidade de classificação no fim da vida dos produtos. Além da seleção de materiais, também são importantes em um *design* circular economicamente bem-sucedido o uso de componentes padronizados, produtos projetados para durar, facilidade de classificação, separação ou reutilização de produtos e materiais no fim da vida dos itens e critérios de fabricação que levem em conta possíveis aplicações úteis de subprodutos e resíduos. Os modelos de negócio da economia circular também devem ser considerados no *design* de produtos. Por fim, é necessário desenvolver mecanismos de *feedback* entre o *design* e as atividades de fim da vida útil dos produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

3.2.2 Economia de Performance

Walter Stahel, arquiteto e economista, em 1976 esboçou em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, “O Potencial de Substituir Mão-de-Obra por Energia”, em coautoria com Genevieve Reday, a visão de uma economia em ciclos (ou economia circular) e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios. Stahel e Reday-Mulvey (1981) publicaram o relatório em 1981, no formato de livro, intitulado "Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy". Os autores trabalharam no desenvolvimento de uma abordagem de “ciclo fechado” para processos de produção, no qual estudaram a extensão da vida do produto, bens de vida longa, atividades de condicionamento e prevenção de desperdício. Também destacam a importância de vender serviços em vez de produtos, uma ideia referida como “economia de serviço funcional”, posteriormente incluída dentro da noção de “economia de performance”. Stahel argumenta que a economia circular deveria ser considerada um *framework*: como um conceito genérico, a economia circular baseia-se em várias abordagens mais específicas que gravitam em torno de um conjunto de princípios básicos (PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2017).

3.2.3 Cradle to Cradle – Do berço ao berço

Stahel (1970), cunhou o termo "*Cradle to Cradle*" (Berço a Berço) e os autores Michael Braungart e William McDonough (2002) continuaram a desenvolver o conceito e o processo de certificação *Cradle to Cradle*TM. Essa filosofia de projeto considera todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais como nutrientes, dos quais há duas principais categorias: os técnicos e os biológicos. O *framework Cradle to Cradle* é focado no *design* para a efetividade, no sentido de fomentar produtos com impacto positivo e reduzir os impactos negativos da sua comercialização.

O *design Cradle to Cradle* compreende os processos seguros e produtivos do “metabolismo biológico” da natureza como um modelo para desenvolver um fluxo de “metabolismo técnico” de materiais industriais. Os componentes do produto podem ser projetados para a recuperação contínua e para a sua reutilização como nutrientes biológicos e técnicos dentro desses metabolismos. O *framework Cradle to Cradle* dá ênfase aos seguintes princípios:

- Eliminação do conceito de resíduo. "Resíduo é igual a alimento." Projeta produtos e materiais com ciclos de vida que são seguros para a saúde humana e para o meio ambiente e que podem ser reutilizados constantemente por meio de metabolismos biológicos e técnicos. Criar e participar de sistemas de coleta e recuperar o valor desses materiais seguindo seu uso.
- Obtenção de energia a partir de fontes renováveis. "Uso da energia solar disponível". Maximizar o uso de energias renováveis.
- "Celebra a diversidade". Gerencia o uso da água para maximizar a qualidade, promover ecossistemas saudáveis, e respeita os impactos locais. Guia operações e relações com os *stakeholders* utilizando responsabilidade social (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2002).

3.2.4 Biomimética

Janine Benyus, autora de "Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza" (2002), define sua abordagem como uma "nova disciplina que estuda as melhores ideias da natureza e então imita esses *designs* e processos para solucionar os problemas humanos". A natureza é vista aqui como uma fonte de inspiração de conhecimento. Estudar uma folha para desenvolver uma melhor célula solar é um exemplo. A autora acredita na "inovação inspirada pela natureza". Assim, a biomimética baseia-se em três princípios fundamentais:

- Natureza como modelo: estudar modelos da natureza e simular essas formas, processos, sistemas e estratégias para solucionar os problemas humanos.
- Natureza como medida: usar um padrão ecológico para julgar a sustentabilidade das inovações.
- Natureza como mentora: não olhar e valorar a natureza pensando no que se pode extrair da mesma, mas no que é possível aprender com ela.

De acordo com seus proponentes, a biomimética introduz uma abordagem nova e amiga do ambiente, que não mais se caracteriza pela dominação e exploração da natureza. Segundo Benyus (2002), a primeira revolução industrial é caracterizada pela dominação e exploração da natureza, enquanto a segunda caracteriza-se pelo aprendizado com a própria natureza, de maneira a utilizar seus recursos sem degradá-la. Dessa forma, novas inovações tecnológicas

podem ser melhor incorporadas, em harmonia com os ecossistemas naturais do Planeta Terra (BENYUS, 2002; HAWKEN *et al*, 2000).

3.2.5 Blue Economy – Economia Azul

A Economia Azul pode ser compreendida como uma maneira inteligente de transformar problemas em oportunidades, propondo mudanças estruturais na economia, sempre com base no funcionamento dos ecossistemas, no uso e aproveitamento, de maneira racional e consciente, dos recursos naturais.

A ideia foi desenvolvida por Pauli (2010), que em seu livro “Blue Economy” apresenta mais de 100 ideias inovadoras para beneficiar tanto o meio ambiente como também as necessidades humanas e o desenvolvimento econômico. O autor acredita que, caso suas ideias sejam colocadas em prática, mais de 100 milhões de empregos seriam gerados em todo o mundo, beneficiando a economia como um todo.

Como defensor da economia azul, Pauli (2010) a promove como "a melhor e mais barata solução para a saúde e o meio ambiente, onde as necessidades da vida são gratuitas devido ao sistema local de produção que funciona apenas com os recursos já existentes". Os princípios da Economia Azul destacam que os resíduos não existem. Nutrientes, matéria e energia têm um efeito cascata, ou seja, os subprodutos podem ser usados para um novo produto. Esse novo produto resultante cria um novo fluxo, gerando novas receitas (CHABBA, 2013). Além disso, o modelo de negócio inovador e a competitividade são duas características da economia azul que servem como um gatilho de motivação. Segundo Karamarko (2015), em uma economia azul, os modelos de negócio são capazes de trazer produtos e serviços competitivos para o mercado, respondendo às necessidades básicas, enquanto equilibram a sustentabilidade ambiental com a construção de capital social, aumentando a renda e criando empregos.

A EC ergue-se, portanto, sobre um modelo que otimiza o fluxo de bens, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais e minimizando a produção de resíduos. Este modelo permite a maximização do valor econômico do produto. Essa nova forma de pensar as cadeias produtivas traz benefícios tanto operacionais como estratégicos, em ambos os níveis micro e macroeconômico, oportunidades de inovação e design, ao nível de produtos, processos e modelos de negócio, criação de empregos e estimula o crescimento econômico inteligente,

sustentável e integrador, com efeitos positivos sobre a saúde econômica, ecológica e social, rejeitando a ideia de que o crescimento é prejudicial para o ambiente. Assim, esse novo modelo em que a indústria é regenerativa (e não destrutiva e predatória) proporciona uma oportunidade de negócio viável para enfrentar com êxito um mercado cada vez mais competitivo e com exigências ecológicas (LEITÃO, 2015).

3.3 A Economia Circular na preservação do valor criado

A fabricação de produtos e serviços requer a extração de recursos para fornecimento de materiais, energia e para o sustento do trabalho. Esses materiais serão a matéria-prima para a fabricação de peças e componentes que, quando montados, gerarão os produtos. Os produtos, por sua vez, passarão pela etapa de marketing e finalmente serão vendidos para os consumidores. Em cada etapa, o valor adicionado é resultado do investimento em materiais, energia e trabalho despendidos no processo de fabricação do produto, como mostrado na *Figura 6*.

Uma vez que o produto chega ao fim de seu uso, no entanto, o valor criado durante o processo de produção é quase ou completamente perdido dadas as atuais práticas de gestão de resíduos. Em 2010, a produção total de resíduos na UE ascendeu a 2.520 milhões de toneladas. Deste total, apenas uma parte, cerca de 36%, é reciclada, enquanto o restante é depositado em aterros ou incinerado. Seis Estados-Membros da UE já eliminaram efetivamente a deposição em aterro, reduzindo-a de 90% para menos de 5% nos últimos 20 anos, atingindo taxas de reciclagem de 85% em determinadas regiões. Em outros, no entanto, mais de 90% dos resíduos ainda são depositados em aterros e menos de 5% são reciclados (EUROPEAN COMMISSION, 2014c). A deposição em aterro e incineração de produtos representa uma destruição significativa de valor (*Figura 6*), uma vez que o valor do produto ou é descartado ou completamente destruído.

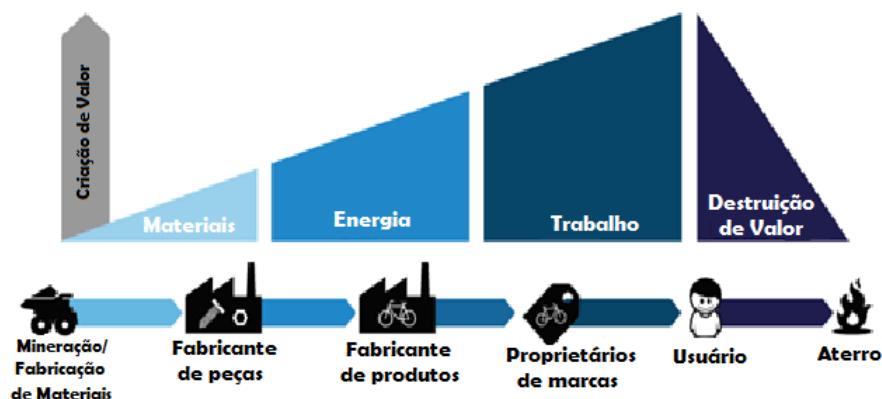


Figura 6. Destruição de valor através da deposição em aterro e incineração.

Fonte: Circle Economy e MVO Nederland (2015).

Essa destruição de valor significa que quantidades significativas de recursos são desperdiçados durante todo o processo de produção, desde a extração até o descarte. Como resultado, mais recursos primários são necessários, a fim de atender às necessidades sempre crescentes da sociedade (CIRCLE ECONOMY e MVO NEDERLAND, 2015).

Entretanto, existem oportunidades para preservar ou recuperar o valor dos produtos (Figura 7), de modo que não só o valor material pode ser recuperado, mas também o trabalho, a energia, os investimentos e outros tipos de entradas.

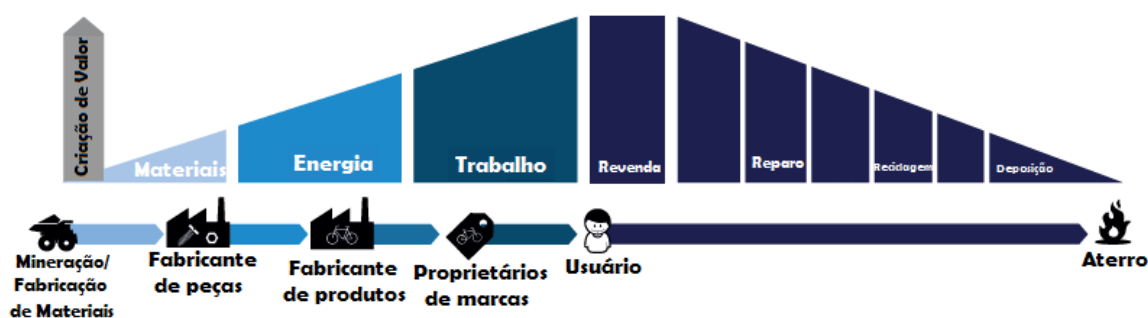


Figura 7. Estratégias de design circular permitem que o valor criado seja preservado ou recuperado.

Fonte: Circle Economy e MVO Nederland (2015).

Para que se assegure que parte significativa do valor criado no processo de produção seja preservada em vez de completamente perdida através de deposição em aterro e incineração, os fluxos de materiais devem ser repensados e projetados levando em consideração estratégias de design circulares do ciclo de vida dos produtos. Assim, essas estratégias de design podem ser

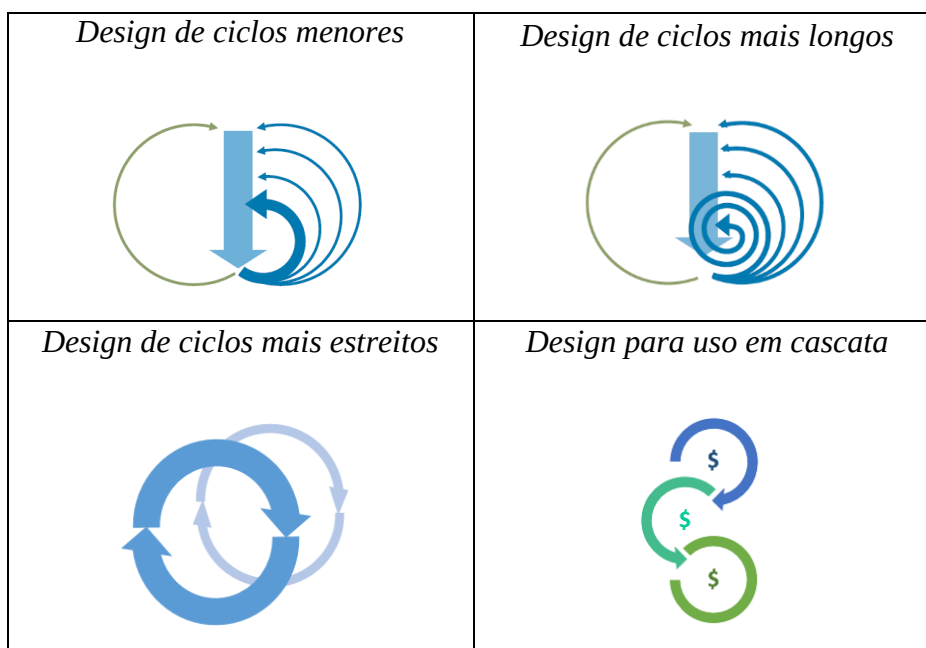
tomadas como um padrão para a preservação e em alguns casos (*upcycling*), para a criação de valor a partir dos materiais usados em bens de consumo.

Essas estratégias buscam inspirar *designers*, inventores, inovadores e tomadores de decisão em negócios a adquirir novas habilidades e pensar além dos processos atuais, permitindo que um sistema regenerativo seja criado por intenção e *design*. A mudança no papel do *design* é inevitável para atender a uma sociedade dinâmica que está familiarizada com a reinvenção de novas propostas de negócio. De acordo com o trabalho de Bocken *et al* (2016), algumas dessas estratégias são discutidas no item seguinte.

3.4 Estratégias de Design Circular

A economia e a atratividade relativa dos diferentes possíveis caminhos circulares (reutilização *versus* remanufatura *versus* reciclagem, por exemplo) variam significativamente para diferentes produtos, cadeias, setores e mercados. Daí a importância em se pensar o produto desde a sua concepção, avaliar as possíveis alternativas para seu desenho e escolher aquela que preserva o maior valor. A partir dessas diferenças, Bocken *et al* (2016) identificou quatro estratégias de *design*, como padrões para preservar o valor criado a partir dos materiais utilizados nos bens de consumo. *Design* de ciclos menores, *design* de ciclos mais longos, *design* de ciclos estreitos e *design* par uso em cascata, ilustrados no *Quadro 2* e descritos na sequência.

Quadro 2. Estratégias de Design Circular



Fonte: Adaptado de Ellen Macarthur Foundation (2013: pág. 34-36).

3.4.1 Design de ciclos menores

Quanto mais interno é o ciclo, mais valiosa é a estratégia, ou seja, maior é o valor preservado. Reparar e manter um produto, como, por exemplo, um automóvel, preserva a maior parte de seu valor. Se isso deixar de ser possível, componentes individuais poderão ser reutilizados ou remanufaturados. Isso preserva mais valor do que a simples reciclagem de materiais.

Os produtos, quando novos, valem muito mais do que os materiais que contêm. O valor é adicionado durante o fabrico e a montagem. Um carro de família, por exemplo, vale cerca de seis vezes mais do que o aço, borracha e vidro de que é feito quando atinge o *showroom*. Após 8 anos de uso, o carro deprecia-se por um fator de cinco ou mais, mas - se ele ainda é utilizável - algum valor residual permanece. Muito se perde se o carro é desconstruído em seus componentes, e mais ainda se esses componentes forem triturados para permitir que seus materiais sejam reciclados. Assim, a sequência "reutilizar - reparar - reciclar" descreve um caminho descendente sobre a cadeia de valor: o primeiro retém o maior valor, o último, o menor. Dessa forma, círculos internos preservam mais a integridade e a complexidade de um produto, além da mão de obra embutida e da energia investida (ASHBY, 2016).

3.4.2 Design de ciclos mais longos

O poder dos ciclos mais longos refere-se à maximização do número de ciclos e/ou do tempo de cada ciclo para os produtos (p. ex.: reutilizar um produto diversas vezes ou estender sua vida útil). O ideal é que se maximize o número de ciclos consecutivos e/ou o tempo dedicado a cada ciclo, prolongando a vida útil dos produtos e intensificando sua reutilização. Cada ciclo prolongado evita o consumo de material, energia e mão de obra envolvidos na criação de um novo produto ou componente. Para produtos que demandam energia, contudo, a vida útil ideal deve levar em conta a melhoria do desempenho energético ao longo do tempo.

3.4.3 Design de ciclos estreitos

A “eficiência de recursos” - ou “estreitamento do fluxo de recursos”- propõe a utilização de menos recursos para fabricação dos produtos. Através do livro "Factor Four", von Weizsäcker, Lovins e Lovins (1997) introduziram a ideia de produtividade dos recursos, definida como "redução de impactos ambientais por unidade de produto econômico". Este conceito foi introduzido como uma forma de dissociar o uso de recursos da degradação ambiental. Para os *designers* de produto, a produtividade dos recursos é muitas vezes tratada como um indicador de eficiência dos recursos. Essa eficiência não visa o uso cíclico de produtos e materiais, mas a redução do uso de recursos no produto e em seu processo de produção.

Portanto, a ideia aqui é preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis. Isso começa com a desmaterialização dos produtos e serviços. Quando há necessidade de recursos, o sistema circular seleciona-os com sensatez e, sempre que possível, escolhe tecnologias e processos que demandem menos recursos.

3.4.4 Design para uso em Cascata

A reciclagem do tipo ‘*closed loop*’ significa reciclar um material em um produto do mesmo tipo ou essencialmente igual ao produto original (USEPA, 2016), enquanto a reciclagem do

tipo *‘open loop’* pode ser definida como a reciclagem de um material em um produto com propriedades substancialmente diferentes, muitas vezes não recicláveis ou com capacidade de reciclagem reduzida. Diz-se que o *loop* é completamente aberto quando o novo produto não pode ser reciclado de volta ao produto antigo. *‘Downcycling’* (ou uso em cascata) é a reciclagem de um material em algo de menor valor e, às vezes, é usado como sinônimo de reciclagem *open loop* (SPENDELOW, 2012). O conceito refere-se à diversificação do reuso em toda a cadeia de valor, como, por exemplo, quando uma roupa de algodão é reutilizada primeiro como roupa de segunda mão, para então passar ao setor de móveis, como fibra de enchimento para estofados, e a fibra volta a ser usada como lã-de-rocha para isolamento na construção civil substituindo-se, em cada um dos casos, a entrada de materiais virgens na economia antes de as fibras de algodão serem devolvidas em segurança para a biosfera (BARTL, 2015).

É de se notar que o modelo cascata é responsável por uma perda em qualidade e em quantidade durante o reuso sequencial, reciclagem ou recuperação de matérias-primas, para produzir matérias-primas e energia secundárias. Nessa cascata há uma queda na qualidade ou quantidade cada vez que um material é utilizado e, em seguida, reciclado.

Essas perdas na integridade de um material ocorrem devido a processos naturais que limitam as futuras opções disponíveis para reciclagem, até o ponto em que um material não pode mais ser efetivamente reciclado.

O objetivo da utilização em cascata, portanto, é o de maximizar a vida útil de um material, escolhendo o caminho em cascata ótimo e, onde for tecnicamente possível, finalizar a cascata recuperando energia. O desafio consiste em definir a utilização ótima em cascata de um material, a fim de minimizar o consumo de recursos e energia, bem como o impacto ambiental.

Devido às suas propriedades, alguns materiais permanecem na cascata por mais tempo do que outros, e podem ser mais facilmente reutilizados ou reciclados em mais ciclos, tais como o ferro. Outros degradam mais rapidamente, como materiais plásticos sensíveis a UV. O Ferro, por exemplo, não se degrada mas perde a sua qualidade, devido à contaminação com outros elementos, como parte do processo de produção. No caso do ferro, a cascata, obviamente, não é encerrada por incineração. O ferro pode, teoricamente, ser reciclado infinitamente, mas, na prática, as perdas inevitáveis significam a necessidade do acréscimo adicional de materiais virgens (WILLIAMS-GAUL, 2015).

3.5 Oportunidades na Transição para a Economia Circular

A economia circular vem se popularizando entre as empresas e os formuladores de políticas. Foram identificadas oportunidades significativas para esses dois grupos, além do próprio consumidor. Assim, na ocorrência da transição para a economia circular, toda a sociedade será envolvida.

3.5.1 Oportunidades Econômicas

Em relação às oportunidades econômicas, alguns benefícios da transição para uma EC seriam o crescimento econômico, a economia de custos de materiais, a criação de emprego e a inovação.

Sun e McKinsey (2015) constataram que, adotando princípios da economia circular, a Europa⁷ pode gerar um benefício líquido de € 1,8 trilhão até 2030, um valor duas vezes superior ao gerado através do atual caminho da economia linear em € 0,9 trilhão. É importante salientar que embora a análise de oportunidades e impactos da economia circular estejam baseados em números e pressupostos da Europa, os desafios são universais e as conclusões também são aplicáveis a outras regiões. Assim, este novo modelo é capaz de criar oportunidades de renovação, regeneração e inovação na indústria. Algumas das oportunidades identificadas neste estudo são descritas a seguir.

Maior Crescimento Econômico

O crescimento econômico, definido como o produto interno bruto (PIB), seria obtido por meio da combinação de aumento da receita das novas atividades da economia circular e redução dos custos de produção, em função de uma utilização mais produtiva dos insumos. Essas mudanças nas atividades econômicas produtivas, tanto no lado dos insumos quanto no dos produtos, afetam a oferta, a demanda e, conseqüentemente, os preços, repercutindo em todos os setores

⁷ Embora a análise de oportunidades e impactos da economia circular estejam baseados em números e pressupostos da Europa, os desafios são universais e as conclusões também são aplicáveis a outras regiões.

econômicos e produzindo uma série de efeitos indiretos que aumentam o crescimento total. Entre esses efeitos estão maiores gastos e aumento da poupança, resultantes do aumento da renda familiar. Esses, por sua vez, são resultado de uma melhor remuneração do trabalho. Reunidos, esses efeitos promovem uma alteração positiva do PIB. No caminho do desenvolvimento da economia circular, o PIB europeu poderia crescer 11% até 2030 e 27% até 2050, ante 4% e 15% no atual cenário de desenvolvimento (BASTEIN *et al*, 2013).

Substanciais economias de custo de materiais

Tomando-se por base uma modelagem detalhada no nível do produto, foi estimado que nos setores com produtos complexos de vida útil de média duração na UE, as reduções de custo líquido anuais chegam a US\$ 630 bilhões em um cenário de economia circular avançada. Para bens de consumo de alta rotatividade (FMCG, da sigla em inglês), identificou-se um potencial adicional de US\$ 700 bilhões, em nível global. Além disso, a análise específica de setores realizada indica que o Reino Unido poderia economizar US\$ 1,1 bilhão por ano em custos de aterros sanitários, distribuir 2GWh de eletricidade e oferecer a tão necessária restauração do solo e produtos químicos especializados, de maneira a evitar a transferência de resíduos orgânicos para aterros.

Potencial de criação de emprego

No que diz respeito aos impactos da transição para uma economia circular sobre o emprego, Sun and McKinsey (2015) concluíram que os estudos existentes apontam efeitos positivos sobre o emprego, caso a economia circular venha a ser implementada. Esse impacto sobre o emprego é amplamente atribuível ao aumento dos gastos estimulado por preços mais baixos em todos os setores e ao uso intensivo de mão de obra das atividades de reciclagem de alta qualidade, além da necessidade de mão de obra altamente qualificada em atividades de remanufaturados.

Na União Europeia, estima-se que seriam criados 170.000 empregos diretos no setor de gestão de resíduos do mesmo ano, e 500.000 na indústria de reciclagem (BOURGUIGNON, 2016; HENRY, 2016; WORLD ECONOMIC FORUM, 2014).

As oportunidades de emprego não se limitariam a remanufaturados e crescimento interno em grandes corporações. De fato, a questão do emprego é rica e diversificada na economia circular. Empregos serão criados em todos os setores industriais, por meio do desenvolvimento de logística reversa local, em pequenas e médias empresas, através de inovação e empreendedorismo e no contexto de uma nova economia baseada em serviços.

Inovação

A aspiração de substituir produtos unidirecionais por bens “circulares por natureza” e criar redes de logística reversa e outros sistemas para respaldar a economia circular é um poderoso estímulo a novas ideias. Os benefícios de uma economia mais inovadora incluem altos índices de desenvolvimento tecnológico, melhores materiais, uso eficiente de mão de obra e energia, além de mais oportunidades de lucro para as empresas. Além disso, EC promoveria a inovação nos modelos de negócios, no *design* de produtos e na cadeia de abastecimento (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

3.5.2 Oportunidades Ambientais

As principais oportunidades dentro da EC para o meio ambiente são a redução das emissões de dióxido de carbono, o menor consumo de matérias-primas, além do enriquecimento do solo e aumento da produtividade da terra, descritas a seguir.

Redução do nível de emissões de dióxido de carbono

A Ellen MacArthur Foundation (2015a) constatou que, para a Europa, o caminho do desenvolvimento da economia circular poderia reduzir as emissões de dióxido de carbono para a metade dos níveis atuais até 2030 (redução de 48% até 2030 ou de 83% até 2050 em sistemas de mobilidade, alimentação e no ambiente construído). Além disso, a análise específica de setores realizada indica que o Reino Unido poderia reduzir a emissão dos gases de efeito estufa

em 7,4 bilhões de toneladas por ano ao evitar destinação de resíduos orgânicos para aterros sanitários.

Redução do Consumo de matéria-prima

O desenvolvimento da economia circular poderia reduzir o consumo de materiais primários (medido na forma de materiais automotivos e de construção, fertilizantes sintéticos, pesticidas, uso de água na agricultura, combustíveis e eletricidade não renovável) em 32% até 2030 e 53% até 2050, relativamente aos níveis atuais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b).

Produtividade da terra e saúde do solo

Estima-se que o custo da degradação da terra, em nível mundial, seja de US\$ 40 bilhões anuais, sem considerar os custos ocultos do aumento do uso de fertilizantes, perda da biodiversidade e de paisagens. A maior produtividade da terra, o menor desperdício nas cadeias de valor dos alimentos e a devolução dos nutrientes ao solo aumentarão o valor deste e da terra como ativos. A economia circular, ao movimentar mais materiais biológicos por meio de digestão anaeróbia ou do processo de compostagem e ao devolvê-los ao solo, reduzirá a necessidade de reposição de nutrientes. Dessa forma, o uso sistemático de resíduos orgânicos pode ajudar a recuperar a terra através da substituição dos fertilizantes químicos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015b).

3.5.3 Oportunidades para as empresas

Oportunidades de lucro

As empresas individuais podem obter insumos a custos mais baixos e, em alguns casos, criar fluxos de lucro totalmente novos. A análise da Ellen Macarthur Foundation (2015a) de produtos complexos de vida útil de média duração e bens de consumo de alta rotatividade

mostrou que o uso de abordagens da economia circular contribuiria com diversas melhorias como, por exemplo:

- O custo do condicionamento de telefones celulares poderia cair 50% por aparelho se a indústria produzisse telefones mais fáceis de desmontar, melhorasse o ciclo reverso e oferecesse incentivos a devolução de dispositivos.
- Máquinas de lavar avançadas seriam acessíveis para a maior parte das residências se, em vez de vendidas, fossem alugadas. Com isso, os consumidores economizariam aproximadamente um terço por ciclo de lavagem e o lucro dos fabricantes seria cerca de um terço mais alto.
- O Reino Unido poderia criar um fluxo de renda de US\$ 1,5 bilhão por ano processando resíduos alimentares mistos descartados por residências e pelo setor de hospitalidade.
- Um lucro de US\$ 1,90 a cada 100 litros de cerveja produzidos pode ser obtido com a venda dos grãos usados pelas cervejarias.
- No Reino Unido, cada tonelada de roupas coletadas e classificadas pode gerar receita de US\$ 1.975 ou um lucro líquido de US\$ 1.295 em oportunidades de reuso.
- Os custos de embalagem, processamento e distribuição de cerveja poderiam se reduzir em 20% com a adoção de garrafas de vidro reutilizáveis.

Redução da volatilidade e maior segurança em suprimentos

A mudança para uma economia mais circular implica o uso de menos materiais virgens e mais insumos reciclados, com maior participação dos custos de mão de obra, o que reduz a exposição das empresas a preços cada vez mais voláteis, aumentando sua resiliência. A ameaça de desastres naturais ou desequilíbrios geopolíticos causadores de problemas nas cadeias de suprimentos também diminui, porque atores descentralizados oferecem fontes alternativas de materiais.

Nova demanda por serviços empresariais

A economia circular criaria demanda para novos serviços empresariais, como, por exemplo:

- Empresas de coleta e logística reversa para prestação de serviços visando à reintrodução de produtos usados no sistema;
- Empresas atuantes no mercado de produtos secundários e com plataformas de vendas para prolongar a vida útil dos produtos ou promover sua maior utilização;
- Ofertas associadas a conhecimento especializado em remanufatura de peças e componentes e a reforma de produtos;

A coleta, a desmontagem e reforma de produtos, a integração ao processo de remanufatura e distribuição de produtos para os usuários exigem habilidades especializadas e conhecimento de processos. A maior parte dos exemplos trata de subsidiárias de fabricantes já existentes, o que resulta em oportunidades de um novo modelo de negócio para empresas já existentes.

Mais interação com clientes e fidelização

Soluções circulares oferecem novas maneiras criativas de envolver os clientes. Novos modelos de negócio, como alugueis ou contratos de locação, estabelecem uma relação de longo prazo com os clientes. Esses modelos de negócio proporcionam às empresas a chance de obter informações exclusivas sobre padrões de uso que podem produzir serviços melhores e, consequentemente, um nível mais alto de satisfação do cliente (REICHEL *et al*, 2016).

3.5.4 Oportunidades para o consumidor

Os cidadãos, enquanto consumidores, terão acesso direto a uma seleção mais ampla de bens e serviços, sem os riscos e os custos associados à propriedade (REICHEL *et al*, 2016). Dessa forma, os clientes e os consumidores teriam acesso a produtos e serviços a um custo total menor e de forma mais conveniente (GREENBIZ & UPS, 2016).

Em razão disso, o consumidor se beneficiaria através de uma maior disponibilidade de renda. Segundo Accenture (2016), em três setores analisados (mobilidade, sistemas alimentares e ambiente construído), constatou-se que o caminho do desenvolvimento da economia circular poderia aumentar a renda familiar média europeia disponível com a redução do custo de produtos e serviços. A renda disponível familiar média da UE aumentaria, até 2030, em € 3.000, crescendo 11% em relação à do caminho de desenvolvimento atual.

Além disso, a utilidade ou o benefício percebido pelos clientes poderia aumentar com o aumento do leque de opções ou da qualidade que os modelos circulares proporcionam. As opções do cliente aumentam na medida em que os produtores oferecem sistemas que possibilitam a personalização de produtos ou serviços para melhor atender as necessidades específicas de cada consumidor.

Por fim, a redução da obsolescência programada também representaria grande vantagem para os consumidores. Produtos projetados para durar ou reutilizáveis são capazes de aliviar os orçamentos e melhorar a qualidade de vida. Para o cliente, a superação da obsolescência prematura reduziria significativamente os custos totais de propriedade e proporcionaria mais conveniência, pois diminuiria os incômodos associados a reparos e devoluções.

3.6 Barreiras à adoção da Economia Circular

A transição para a economia circular representa um desafio por ser um processo que exige novas habilidades e um redesign em vários níveis do sistema de produção. Assim, para a efetiva transição, vários aspectos deverão ser repensados: produtos, organização interna, cooperação em cadeia, liderança e finanças, cultura e educação, entre outros. Algumas das barreiras mais importantes em relação à transição para a economia circular encontrados nas práticas industriais e nos padrões de consumo são detalhadas abaixo:

Lock in em uma estrutura intensiva em recursos

A infraestrutura e os padrões de produção atuais favorecem as atividades de uso intensivo em recursos. A produção, consumo e comércio internacionais são altamente dependentes de

combustíveis fósseis (PRESTON, 2012). Além disso, modelos de negócios lineares dominam características chave que os tornam bem-sucedidos nos dias de hoje (por exemplo: (1) ganhos de escala através da redução dos custos de operação por unidade produzida, (2) aumento do escopo de atividades para maximizar as receitas) (ZILS, HAWKINS e HOPKINSON, 2016).

Custos iniciais elevados

Ainda que o modelo circular incentive o crescimento econômico e reduza os riscos associados aos preços dos recursos, no curto prazo, seria necessário um alto investimento para implementá-lo (KOK *et al*, 2013). Alguns exemplos são a recapacitação da equipe, a adaptação de maquinário, a implementação de um sistema de logística reversa, etc (PRESTON, 2012). Ademais, o investimento adequado para infraestrutura, tais como a infraestrutura para recuperação e reciclagem, inovação e tecnologia ainda não estão disponíveis. Além dos custos de superação das barreiras mencionados, altíssimos custos de transação estão envolvidos. Dessa forma, pode-se dizer que ainda há desafios na obtenção de financiamento de recursos e investimentos para a transição para a EC.

Cadeias de fornecimento internacionais complexas

Muitas das vezes, produção e consumo ocorrem em diferentes regiões geográficas. Bens e serviços são concebidos e consumidos em várias empresas em todo o mundo (FLYNN, MORITA e MACHUCA, 2011). O desafio consiste em alinhar as diferentes empresas interligadas pela cadeia de fornecimento na transição para a EC - desde a concepção do produto, consumo, até as atividades de recuperação no final da vida do produto (PRESTON, 2012).

Desafios para a cooperação empresa-a-empresa

A EC exigiria uma estreita colaboração entre empresas, o que poderia levantar questões relacionadas à confidencialidade e confiança, caso as empresas sejam concorrentes ou operem no mesmo setor (KOK *et al*, 2013; PRESTON, 2012). Além disso, é preciso que a comunicação

e os incentivos entre os atores de um mesmo setor ou da mesma cadeia de valor estejam alinhados (EUROPEAN COMMISSION, 2014b). Paralelo a isso, está o desafio com as questões judiciais. Devido às mudanças nas relações entre fornecedores e compradores haverá a necessidade de novos acordos legais (ERNST & YOUNG, 2015).

O desafio da inovação

Como mencionado anteriormente, a EC é capaz de impulsionar a inovação, gerando inúmeras oportunidades, conforme descrito no item 3.5. No entanto, a circularidade ainda não está efetivamente integrada nas políticas de inovação. São necessários ajustes para estimular a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação circular. A política de inovação não deve favorecer a posição das empresas estabelecidas, fornecendo incentivos à inovação incremental no modelo linear existente. Ela deve proporcionar espaço para que a inovação sistemática possa fomentar uma economia mais circular (DERVOJEDA *et al*, 2014). Assim, é necessário inovar, por exemplo, na ciência dos materiais, no design de produto, na melhoria das cadeias de fornecimento globais, infra-estrutura inteligente e tecnologias de rastreamento (BENTON e HAZELL, 2013; PRESTON, 2012).

Mudança de Comportamento

A demanda por produtos e serviços sustentáveis ainda é insatisfatória, principalmente porque exige uma mudança comportamental. Uma grande barreira são os consumidores e a sensibilização e engajamento do público (GENG e DOBERSTEIN, 2008; KOK *et al*, 2013; WALLACE e RAINGOLD, 2012). A Economia Circular deve ser sobretudo competitiva. Daí a importância da cultura e educação para alavancar a demanda por produtos e serviços mais circulares.

Limitações político-institucionais

Como a linearidade está tão profundamente enraizada na atual economia, alguns aspectos institucionais ainda estão adaptados a esse modelo dominante. Assim, sob a perspectiva institucional, na maioria dos países, a atual legislação é orientada para a facilitação de práticas comerciais lineares.

Muitos países apoiam, direta ou indiretamente, o uso excessivo de recursos por meio de subsídios e não torna obrigatória para empresas e outras organizações a incorporação de custos das externalidades (WITHANA, BRINK e RUSSI, 2014). Uma vez que o custo ambiental de longo prazo do produto não tem que ser refletido no preço de venda, torna-se mais atraente fabricar produtos baseando-se em um modelo de produção linear.

Além disso, as leis anti-colusão e concorrência podem desfavorecer a colaboração intensiva necessária entre os parceiros da cadeia de valor, para que a circularidade seja estabelecida (DERVOJEDA *et al*, 2014).

Por fim, existem ainda desafios para o sistema fiscal, pois uma vez que o desenvolvimento de recursos e produtos é alterado, o modelo fiscal deverá ser adaptado (BAKKER *et al*, 2016).

Limitações técnicas

Devido a uma série de razões técnicas, não é possível reciclar e manter os materiais em um ciclo perpétuo ou fechar totalmente o *loop*. Essas limitações técnicas se relacionam tanto com as propriedades e o processamento dos materiais durante a produção, como também com a reciclagem de matérias primas secundárias (WILLIAMS-GAUL, 2015). Assim, com o passar do tempo os materiais perdem sua qualidade e integridade por três razões principais:

- *Perda de material através da dissipação*

Dissipação significa que durante os processos de produção, utilização e reciclagem dos materiais, as perdas são inevitáveis, o que quer dizer que novos materiais deverão ser introduzidos nos ciclos (BARTL, 2015). Exemplo disso é a corrosão do cobre em telhados e tubos de água e da oxidação do alumínio; cerca de 4% de alumínio é perdido através da

dissipação durante a reciclagem. Dessa forma, uma taxa de reciclagem de 100% não pode ser alcançada (WILLIAMS-GAUL, 2015).

- *Contaminação irreversível resultante da mistura com outros materiais*

O poder dos insumos puros repousa no fato de que fluxo de materiais não contaminados aumenta a eficiência da coleta e distribuição, ao mesmo tempo que mantém a qualidade, particularmente dos materiais técnicos, que por sua vez incrementa a longevidade do produto e, assim, aumenta a produtividade do material (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a).

No entanto, a mistura de materiais pode ocorrer durante a fabricação de produtos que consistem em uma variedade de componentes. Exemplo disso são os produtos de aço que contêm metais como o cobre e o estanho, responsáveis pela redução da ductilidade do aço. A sucata recuperada de veículos de vida útil esgotada pode conter quantidades consideráveis de cobre. Reaproveitar essa sucata para produzir um novo aço pode comprometer a qualidade de um futuro processo de reciclagem deste aço. Tal contaminação de materiais significa que a reciclagem em *loop* é frequentemente impossível (WILLIAMS-GAUL, 2015).

Além disso, esse efeito pode ocorrer durante a fase de utilização. Por exemplo, têxteis podem ser contaminados com óleo e outras substâncias e, assim, durante a sua subsequente utilização a reciclagem é impedida. É também bem conhecido que uma coleta seletiva é essencial para evitar a mistura de materiais e para permitir os processos de reciclagem (BARTL, 2015).

Essa contaminação pode ser minimizada durante o processo de design e produção, mantendo-se as matérias primas puras, bem como os diferentes graus de separação durante os processos de reciclagem.

- *Degradação ou Destruição*

Alguns materiais podem sofrer degradação tanto durante seu processamento como durante seu uso. Devido às suas propriedades moleculares, alguns desses materiais podem ser sensíveis ao calor, à radiação ou a impactos mecânicos. Em casos extremos, esta degradação pode tornar a

reciclagem impossível. O reprocessamento de fibras de celulose e polímeros são exemplos do processo de degradação. As fibras de celulose, por exemplo, têm seu comprimento e força reduzidos a cada reprocessamento. Alguns plásticos quando expostos à luz ultravioleta tornam-se frágeis, limitando o número de ciclos possíveis. Dessa forma, deve-se considerar uma diminuição inevitável em termos de quantidade e qualidade (WILLIAMS-GAUL, 2015).

3.7 A especificidade da economia circular

A economia circular pode ter diferentes impactos para diferentes setores e atores econômicos da indústria. Por exemplo, o que significa economia circular para a indústria da construção e como ela é diferente da economia circular para os produtores de automóveis? Qual é a diferença entre economia circular para uma cidade e para uma corporação multissetorial ou uma *startup*?

Os decisores das empresas privadas e os decisores políticos, em escalas radicalmente diferentes, variando desde a cidade até ao nível nacional e à escala macrorregional, precisam de mais clareza sobre como a economia circular é relevante para cada tipo de ator econômico e setor de atividade econômica (TARANIC, 2016).

Tratando-se da utilização de recursos e da produção e gestão de resíduos, cada setor industrial é distinto (EUROPEAN COMMISSION, 2014b), ou seja, tanto os desafios como as oportunidades da circularidade são setores específicos, pois, quando se delimitam os setores, os problemas e as soluções tendem a mudar, mostrando que tais desafios e oportunidades são inerentes à cadeia produtiva.

Assim, diferentes cadeias produtivas exigirão diferentes formas de transição para uma economia circular. Isso se deve, em parte, à diversidade das propriedades dos produtos em termos de sua função, durabilidade e composição. Essas propriedades podem, por sua vez, incitar diferentes objetivos na transição para a EC, o que significa que os processos de transição podem variar muito em função dos papéis da inovação (na tecnologia, no design do produto e no modelo de receita) e na mudança socioinstitucional (no comportamento dos consumidores e outros atores e nas leis e regulamentos) (POTTING *et al*, 2017).

De acordo com um relatório publicado pela European Commission (2014b) sobre as diretrizes da EC, os setores enfrentam desafios e oportunidades específicas no âmbito da economia

circular porque diferem quanto à especificidade dos seus produtos ou cadeias de valor, pela sua pegada ambiental ou pelo fato de dependerem de materiais provenientes de países terceiros.

Além disso, diferentes setores parecem ter necessidades e exigências muito diferentes - e às vezes opostas - em relação à regulamentação, o que complica a formulação da legislação futura. Por exemplo, o mercado da construção é muito diferente daquele de bens de consumo ou equipamento médico, e o que soa como uma proposta sensata para uma indústria, poderia ter um impacto adverso na outra. "Boas intenções, consequências não intencionais" é uma frase que descreve bem o desafio de criar uma regulação ambiciosa de *design* circular juntamente com uma implementação efetiva sem realmente dificultar o trabalho de inovação dessas empresas, que já estão bem em sua maneira de transferir seu *modus operandi* de linear para circular (DE GROENE ZAAK e ETHICA, 2015).

A economia circular é um conceito complexo, que deve considerar uma gama de materiais, produtos e atores, com potencialidades de circularidade variáveis para diferentes setores, produtos e cadeias de valor (EUROPEAN COMMISSION, 2014b).

Esse potencial de circularidade considera não apenas o total de recursos consumidos e a geração de resíduos, mas também o potencial de se evitar esses resíduos quando possível e/ou valorizá-los quando não puderem ser evitados. Assim, deve-se atentar para cada caso especificamente, considerando as características de cada setor, cadeia e produto. Alguns materiais, por exemplo, podem ser facilmente reciclados, outros podem ser mais adequados para reparo ou aprimoramento (DERVOJEDA, 2014). O setor extrativista, por exemplo, tem um baixo potencial de circularidade, dado que é um setor caracterizado por pouca dependência de outras matérias primas (a mineração é, geralmente, a primeira etapa da cadeia de valor), pouco valor intrínseco dos materiais tratados, limitado volume de resíduos passíveis de serem evitados e um baixo potencial para valorizá-los. Em contraste, o setor de construção tem uma grande dependência de matérias primas, manipulando materiais com alto valor agregado enquanto gera volumes significativos de resíduos, considerados valoráveis por meio de atividades circulares. Dessa forma, esses setores devem ser tratados com um enfoque preciso, para garantir que todas as dimensões presentes nas várias fases do ciclo sejam plenamente compreendidas em toda a cadeia de valor.

Além disso, a necessidade de intervenção política e o tipo de intervenção necessária também podem variar. Em alguns setores, a transição para uma economia circular deve se materializar sem intervenção (setores que envolvam materiais de alto valor agregado ou setores privados

independentes em busca de oportunidades), enquanto que em outros setores a intervenção pública será necessária para incentivar a transição (EUROPEAN COMMISSION, 2014a). Em paralelo, a transição para uma economia circular é um desafio de governança em vários níveis, onde as ações podem ser tomadas em diferentes esferas (no caso europeu, UE, Estados-Membros, autoridades locais, setor privado, cidadãos).

Dessa forma, deve-se mapear, de forma sistemática e distinta, os desafios e oportunidades de cada setor. E, ao identificá-los, é fundamental que se considere não só os setores como peças individuais, dissociadas, mas também seus efeitos sistêmicos, pois na economia circular, o pensamento sistêmico tem ampla aplicação. Muitos elementos do mundo real, como empresas, pessoas ou plantas, fazem parte de sistemas complexos nos quais diferentes partes estão fortemente ligadas a cada uma das outras, com algumas consequências surpreendentes. Para uma transição efetiva para a economia circular, esses vínculos e consequências devem ser levados em conta. Por isso é fundamental manter a eficácia global do sistema, não otimizando partes individuais de um processo ou projeto negligenciando o impacto de tais alterações no sistema como um todo. Isto requer o conhecimento do sistema no seu contexto geográfico, bem como o seu desempenho e evolução ao longo do tempo.

A economia circular bem-sucedida exige que as empresas procurem colaboradores fora da sua própria cadeia de valor. Assim, um elemento crítico na colaboração intersetorial em escala é a visão sobre como os fluxos de materiais de duas cadeias de valor completamente diferentes podem ser de relevância um para o outro.

No setor de alimentos, por exemplo, envolver alimentos como o pepino em películas plásticas eleva a quantidade de resíduos plásticos, no entanto, pode aumentar a vida útil dos pepinos de 3 para 14 dias⁸, mostrando-se uma importante ferramenta para evitar o desperdício de alimentos. Neste caso, a colaboração entre o setor de embalagens plásticas e o setor de alimentos torna-se imprescindível (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015c).

Cabe ainda considerar um grupo diversificado de empresas, dado que as perspectivas sobre oportunidades e a percepção das barreiras podem ser diferentes não só entre os setores, mas também entre segmentos, empresas, produtos e cadeias de valor (EUROPEAN COMMISSION,

⁸ De acordo com o 'Cucumber Growers Association', isto requer 1,5 g de embalagem. Outros estudos descobriram que bandejas de maçãs embaladas à vácuo reduzem o desperdício em 27%, com resultados semelhantes para as batatas e uvas.

2014a), baseado no tamanho do negócio, no modelo de negócio, no foco do produto e experiência anterior com iniciativas empresariais circulares.

Por tudo isso, todos os setores da economia devem responder a essa nova economia circular, e devido à sua enorme difusão e escala, alguns setores estão enfrentando questões quanto à direção a ser tomada. Esse é particularmente o caso dos plásticos, que tem benefícios tangíveis e substanciais, mas cujos inconvenientes são significativos para serem ignorados. Dessa forma, esta pesquisa acena como um ensejo para avaliar o valor e os benefícios da transição desse setor arquetipicamente linear para um modelo econômico circular. Para isso, busca compreender o processo de estruturação dos modelos de negócio circulares nesta cadeia, identificando as iniciativas de inovação que estão permitindo esta mudança.

Assim, antes de iniciar as discussões sobre a cadeia das embalagens plásticas PET, a literatura sobre modelo de negócio circular é brevemente discutida no capítulo seguinte, seguida da apresentação dos modelos de negócio circulares utilizados nesta pesquisa.

Capítulo 4

4. Modelos de Negócio na Economia Circular

O capítulo 4 apresenta o conceito de “Modelo de negócio circular”. Para tanto, fez-se necessário contextualizar a discussão a partir de uma breve revisão da literatura sobre Modelos de Negócio (MN). Pretende-se com essa revisão mostrar o desenvolvimento da teoria, que se inicia com a tradicional literatura sobre Modelos de Negócio, passa pelos Modelos de Negócio Sustentáveis (MNS), que por sua vez, inspiraram o atual conceito de Modelo Negócio Circular (MNC). Na sequência são apresentados os 5 modelos de negócio circulares sistematizados por Lacy e Rutqvist (2014) em pesquisas ligadas à Accenture, intitulados como modelos capazes de criar a vantagem circular. No final do capítulo discutem-se os motivos que levaram à escolha dessa taxonomia diante das várias possíveis.

4.1 Modelos de Negócio (MN)

Na literatura é possível encontrar muitas definições sobre o que é um Modelo de Negócio (MN), seus elementos e como ele deve ser usado (JOHNSON, CHRISTENSEN e KAGERMANN, 2008; SAWY e PEREIRA, 2013; TEECE, 2010; ZOTT e AMIT, 2010).

Para os fins deste trabalho, modelo de negócio pode ser definido como a compreensão, de forma abrangente, de como a empresa faz seus negócios (BEATTIE e SMITH, 2013; TEECE, 2010), como ela cria valor (AFUAH, 2004), articula a lógica que vai suportar a proposição desse valor a ser entregue ao cliente, além de uma estrutura viável de receitas e custos que permita a empresa fazer essa entrega (TEECE, 2010). Ao esclarecer a posição escolhida da empresa na cadeia de valor, ou seja, quais são os ativos chave necessários para ter e controlar, a fim de capturar valor (TEECE, 2010), o modelo de negócio acaba sendo o reflexo da estratégia da companhia (CASADESUS-MASANELL e RICART, 2010). Assim, um modelo de negócio é baseado em três elementos principais (BOONS e LÜDEKE-FREUND, 2013; OSTERWALDER e PIGNEUR, 2010): (1) a proposição de valor; (2) criação e entrega de valor; e (3) a captura de valor. Uma seleção de atividades, bem como a definição dos atores

que as executam, são necessárias para interligar os elementos do modelo de negócio (ZOTT e AMIT, 2010). Em geral, os modelos de negócios devem ser vistos através de uma lente de interações permanentes entre esses elementos e atividades, e as implicações de suas mudanças (DEMIL e LECOCQ, 2010). Isso enfatiza a necessidade de uma análise retrospectiva e prospectiva dessas interações para compreender como as empresas funcionam e como eles criam valor para as diferentes partes interessadas (DaSILVA e TRKMAN, 2014). Ao ratificar este processo de criação de valor para as partes interessadas (por exemplo, através da formalização de negócios com fornecedores ou clientes) uma empresa pode reduzir seus custos (BOATRRIGHT, 1996; COASE, 1937; DEMSETZ, 1988).

Uma vez que determinada empresa pode ter diferentes propostas de valor, ela também pode ter diferentes modelos de negócios em diferentes níveis organizacionais (DEMIL e LECOCQ, 2009) e, conseqüentemente, relacionamentos hierárquicos entre esses modelos de negócios (BURKHART *et al*, 2012). Todos esses modelos de negócio devem, portanto, se unir para atender aos objetivos estratégicos gerais da empresa (BURKHART *et al*, 2012). Esta coalizão é influenciada pelas demandas dos *stakeholders* que influenciam os elementos dos modelos de negócio (PERTHEN-PALMISANO e JAKL, 2005).

Neste cenário, nota-se uma crescente demanda por parte dos *stakeholders* sobre questões de sustentabilidade, abrangendo todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, do *downstream* ao *upstream* (DeSIMONE e POPOFF, 2000; HOLLIDAY, SCHMIDHEINY e WATTS, 2002).

Assim, a integração do conceito de *Corporate Sustainability* (CS) aos modelos de negócios tradicionais da empresa (BAUMGARTNER, 2009; LOZANO, 2012; MURRAY *et al.*, 2015) levou as mesmas a repensarem e redesenharem seus modelos de negócios para se envolverem melhor com os *stakeholders*, criando vantagens competitivas para os clientes, empresa e sociedade (PORTER e KRAMER, 2011; STUBBS e COCKLIN, 2008). Recentemente, vários autores têm discutido o redesenho de seus modelos de negócio na direção de abordagens mais sustentáveis (por exemplo, BOCKEN *et al.*, 2014; BOHNSACK *et al.*, 2014; DEMIL e LECOCQ, 2009).

Desta forma, a questão da sustentabilidade tem se consolidado e adquirido cada vez mais importância para os negócios. Estes estão sendo desenvolvidos baseados em estratégias *win-win-win* para beneficiar simultaneamente a empresa e seus clientes, a sociedade e o ambiente (ELKINGTON, 1994). Essa transição, além de requerer uma transformação em toda a lógica

de negócios das empresas, também exige soluções inovadoras em processos, produtos, serviços e dos próprios modelos de negócio (ABDELKAFI e TAUSCHER, 2015). Estes últimos são muito importantes, uma vez que inovações em processos e produtos podem ser limitadas pelos modelos de negócio tradicionais, exigindo que as empresas mudem para um MN que permita processos e produtos inovadores obterem sucesso no mercado. Por tudo isso, publicações recentes (por exemplo, ABDELKAFI e TAUSCHER, 2015; BOCKEN *et al*, 2014; BOONS & LUDEKE-FREUND, 2013; ANTIKAINEN *et al*, 2016), têm buscado entender a relação entre sustentabilidade e modelos de negócio.

4.2 Modelos de Negócio Sustentáveis (MNS)

Em vez de se concentrar exclusivamente na criação de valor econômico, a literatura sobre a inovação em modelo de negócio sustentável volta-se à criação de valor para uma ampla gama de partes interessadas (investidores e acionistas, funcionários, fornecedores e parceiros) levando em consideração os benefícios sob as perspectivas econômicas, sociais e ambientais (ANTIKAINEN, 2016).

Os arquétipos de modelos de negócios sustentáveis foram identificados e nomeados para acelerar o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis na prática e na teoria. Os arquétipos são: maximizar a eficiência material e energética; criar valor a partir de resíduos; substituir com processos renováveis e naturais; entregar funcionalidades em vez de propriedade; adotar um papel de administração; incentivar a suficiência; repropósito do negócio para a sociedade/ambiente; e desenvolver soluções de expansão (BOCKEN *et al*, 2014). O engajamento com clientes finais e *stakeholders* (STUBBS & COCKLIN, 2008), como a colaboração com organizações não governamentais locais para melhorar a integração na comunidade e a compreensão da cultura local, é importante para entender como os modelos de negócio sustentáveis criam valor para um conjunto mais amplo de partes interessadas (VALKOKARI *et al*, 2014).

Embora muitos autores tenham destacado a importância de se equilibrar as questões de sustentabilidade (quais sejam, econômicas, ambientais e sociais), e a dimensão do tempo, bem como suas interconexões (LOZANO, 2008), através de uma perspectiva holística (HJORTH e BAGHERI, 2006), em geral, percebe-se que a literatura sobre sustentabilidade mantém-se centrada em questões ambientais (por exemplo, ATKINSON, 2000; COSTANZA, 1991;

REES, 2002; REINHARDT, 2000), dando pouca atenção à perspectiva econômica, principal aspecto previsto pelos modelos de negócio circulares.

Apesar de serem frequentemente utilizados em contextos semelhantes, as semelhanças e as diferenças entre a abordagem sustentável e a abordagem circular são pouco exploradas na literatura, tornando turvos seus contornos conceituais e restringindo a eficácia do seu uso (GEISSDOERFER *et al*, 2017).

Segundo Mentink (2014), Modelos de Negócio Sustentáveis (MNS) e Modelos de Negócio Circulares (MNC) são abordagens encontradas na literatura e estão intimamente relacionadas, podendo ambos serem considerados como uma subcategoria de modelos de negócio.

Geissdoerfer *et al* (2017), através de extensa revisão da literatura, assinala algumas semelhanças e diferenças entre os conceitos. Segundo o autor, ambos os conceitos são essencialmente globais em sua natureza, compartilhando preocupações com o estado atual da tecnologia, produção industrial e consumo, o que pode não só comprometer as gerações futuras, mas também apresentar fontes inexploradas de vantagem competitiva. Ele também enfatiza a importância de uma melhor integração dos aspectos ambientais e sociais com o progresso econômico.

Sobre as diferenças entre as duas abordagens, o autor afirma que os conceitos devem ser utilizados em diferentes contextos e com diferentes propósitos. O conceito de sustentabilidade é mais aberto que o de Economia Circular. Em geral, a sustentabilidade traz uma abordagem relacionada a compromissos institucionais e sinaliza um conjunto mais amplo de riscos e oportunidades. Além disso, os conceitos se distinguem quanto às origens, aos objetivos, às motivações, às prioridades, à institucionalização, aos beneficiários, aos prazos e às percepções de responsabilidade.

O que se pode concluir a respeito da literatura sobre modelos de negócio sustentáveis e modelos de negócio circulares é que, embora esses conceitos estejam sendo adotados por um número crescente de acadêmicos e profissionais, a relação entre ambas as noções não foi estudada extensivamente, e suas semelhanças e diferenças continuam subexploradas. Entretanto, o conhecimento sobre suas relações, semelhanças e diferenças é relevante para a clareza conceitual, bem como para revelar os interesses e objetivos relacionados ao uso desses termos pelos formuladores de políticas e pelas empresas.

4.3 Modelos de Negócio Circulares (MNC)

Na literatura prévia sobre a economia circular, o foco havia sido a identificação de características de modelos de negócios circulares com base na longevidade, renovabilidade, reutilização, reparação, *upgrade*, renovação, compartilhamento de capacidades e desmaterialização (LACY e RUTQVIST, 2014).

Linder and Williander (2017) definem o modelo de negócio circular como um modelo de negócio no qual a lógica conceitual para criação de valor é baseada na utilização do valor econômico retido nos produtos pós uso para a fabricação de novos produtos. Segundo Mentink (2014), um modelo de negócio circular pode ser definido como a lógica de como uma organização cria, entrega e captura valor com ciclos fechados de materiais.

Na literatura é possível identificar várias tentativas de desenvolver um modelo conceitual comumente aceito para este novo sistema de modelos de negócios (PLANING, 2015), e existem diversas abordagens sobre como classificá-los. Entretanto, a maioria deles são muito semelhantes e utilizam o critério da fonte de criação de valor (por exemplo, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a; VAN RENSWOUDE *et al*, 2015; LACY E RUTQVIST, 2014). Alguns autores propuseram outros critérios, tais como fonte de valor em um sistema de produto-serviço (PLANING, 2015; TUKKER, 2006), técnicas de produção limpa (EL-HAGGAR, 2007), estratégias de *design* para a extensão do ciclo de vida do produto (BAKKER *et al*, 2014), *loops* por onde circulam produtos/componentes/materiais (PLANING, 2015), ou critérios mistos (LÜDEKE-FREUND, 2010). Como as tipologias são semelhantes, algumas vezes acabam se sobrepondo, tornando, em alguns casos, confusos os critérios de distinção (LEWANDOWSKI, 2016).

Na realidade, nem modelos de negócios 100% circulares nem modelos de negócios 100% lineares existem, devido a razões físicas e práticas. A ideia é que um modelo de negócio circular não precisa, necessariamente, fechar o ciclo de materiais, por si só, dentro dos limites internos do sistema, mas pode também ser parte de um sistema de modelos de negócio que, quando combinados, fecham o ciclo de materiais, a fim de ser considerado como "circular" (MENTINK, 2014). Por isso, as inovações nos modelos de negócio circulares são, por natureza, em rede: exigem colaboração, comunicação e coordenação no âmbito de redes complexas de atores/partes interessadas interdependentes, porém independentes. O desafio de redesenhar os ecossistemas de negócio é encontrar a configuração "*win-win-win*" (ANTIKAJINEN *et al*,

2016), que encontra um equilíbrio entre os interesses próprios dos atores envolvidos e, assim, influenciar e facilitar as suas ações a fim de, cooperativamente, moldar o modelo de negócio circular.

Diante do exposto, algumas lacunas podem ser identificadas na literatura existente sobre MNC. Embora os estudos apresentem alguns princípios orientadores, a literatura sobre MNC ainda é muito dispersa. Inúmeras taxonomias e categorias de MNC são propostas na literatura⁹, sem que seja possível identificar um sobrepujamento entre elas. Dessa forma o conceito não possui uma definição concreta.

Além disso, alguns trabalhos (por exemplo, ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015a; VAN RENSWOUDE *et al*, 2015; PLANING, 2015) abordam o tema sobre MNCs, mas se limitam a um campo conceitual de proposições genéricas, apresentando pouca orientação e clareza na projeção desses novos modelos de negócio circulares na prática.

Nota-se que a maior parte da literatura sobre modelos de negócios circulares não vem das chamadas "*business schools*", o que coloca, portanto, em questão, se esse campo de investigação está recebendo a devida atenção na prática.

É de se notar que os estudos não possuem uma metodologia científica rigorosa. Dentre aqueles analisados durante a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso de Lacy e Rutqvist (2014), baseado em modelos de negócio de empresas reais, foi o que apresentou maior rigor científico quanto à metodologia adotada.

Os modelos de negócio circulares propostos por Lacy e Rutqvist (2014) foram introduzidos pela primeira vez na publicação "*Circular Advantage. Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth*" (2014), em uma iniciativa da Accenture. Esses modelos foram identificados em uma pesquisa realizada em parceria com 120 empresas que os autores definem como aquelas que estão usando os princípios da economia circular em seus negócios. São modelos que se baseiam em fluxos circulares de materiais e, combinados com novas tecnologias, devem permitir que as empresas dissociem o crescimento econômico do consumo de recursos. De acordo com Lacy e Rutqvist (2014), esses modelos de negócio não são apenas sobre "se tornar menos ruim". Em vez disso, eles permitem

⁹ Bakker e Hollander, 2014; Damen, 2012; Mentink, 2014; Bocken *et al*, 2016; Stahel, 2013; Tukker, 2015; Bakker *et al*, 2014; Roos, 2014; Schulte, 2013, Van Renswoude *et al*, 2015.

que as empresas transformem seus negócios e organizações em algo com efeito líquido positivo para economia, sociedade e o meio ambiente.

A estrutura do *framework* abarca toda a cadeia de suprimentos de uma empresa, desde a aquisição à disposição final, de modo que os cinco modelos de negócio possam ser empregados ao longo da cadeia de fornecimento. Cada modelo de negócio atende a um propósito distinto, e a empresa pode usá-los simultaneamente. Por exemplo, uma empresa que gera receita através da recuperação e venda de recursos que já foram utilizados (Recuperação de Recursos) também pode estar envolvida na utilização de recursos renováveis ou biodegradáveis (Insumos Circulares).

Assim, esses modelos de negócio tornam possível para as empresas impulsionarem mudanças positivas através do crescimento. A seguir, é feita uma descrição mais detalhada a respeito de cada um dos cinco modelos de negócios, ilustrados na *Figura 11*.

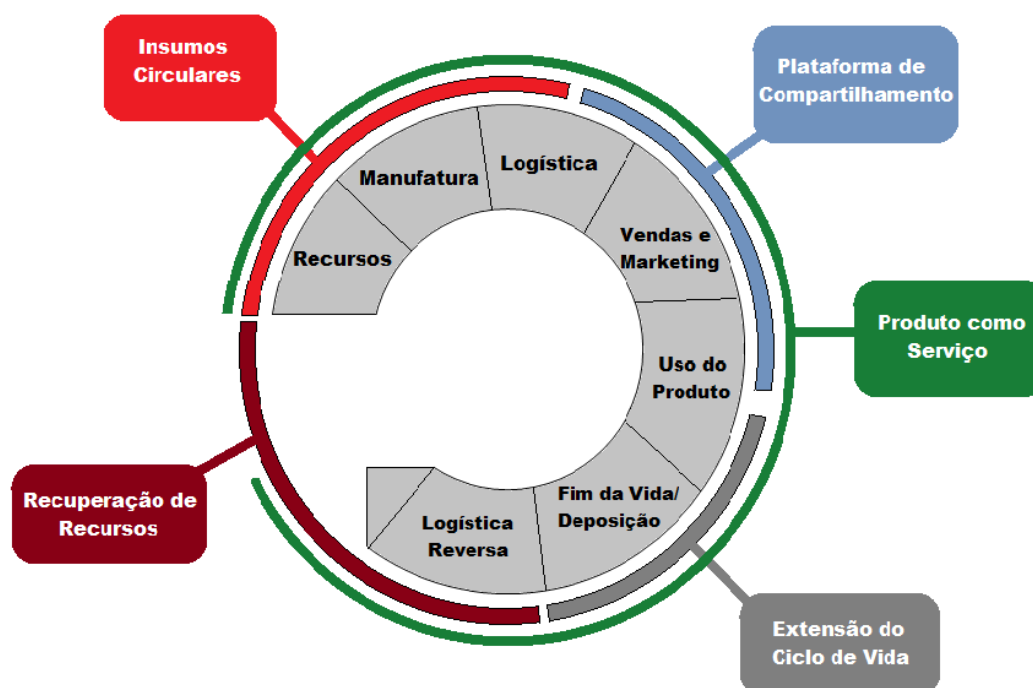


Figura 8. Cinco Modelos de Negócio capazes de criar vantagem circular.

Fonte: Adaptado de Lacy e Rutqvist (2015).

Insumos Circulares: É um modelo de negócio baseado no fornecimento de insumos totalmente renováveis, recicláveis ou biodegradáveis que sustentam os sistemas de produção e consumo circulares. Através dele, as empresas substituem as abordagens lineares e eliminam

gradualmente a utilização de recursos escassos, enquanto reduzem o desperdício e as ineficiências. Este modelo é mais efetivo em empresas que lidam com *commodities* escassas ou aquelas com uma grande pegada ambiental.

Recuperação de Recursos: A recuperação do valor embutido no final do ciclo de vida de um produto para alimentar em outro ciclo promove correntes de retorno e transforma resíduos em valor através de inovadores serviços de reciclagem e *upcycling*. Tendo o seu alicerce em mercados tradicionais de reciclagem, este modelo de negócio alavanca novas tecnologias e capacidades para recuperar quase qualquer tipo de saída de recursos a um nível de valor equivalente, ou mesmo acima, ao do investimento inicial. Soluções variam de simbiose industrial até reciclagem do tipo *closed loop* integrado e design *Cradle-to-Cradle*, onde os produtos dispostos podem ser reprocessados em novos. Este modelo, que permite a uma empresa eliminar o vazamento de material e maximizar o valor econômico dos fluxos de retorno de produtos, é uma boa opção para empresas que produzem grandes volumes de subprodutos ou para aquelas nas quais os resíduos dos produtos podem ser recuperados e reprocessados de forma eficaz em relação aos custos.

Extensão do Ciclo de Vida dos Produtos: A extensão da vida do produto permite que as empresas estendam o ciclo de vida de produtos e ativos. Valores que, ao invés de serem perdidos através do descarte, são mantidos ou mesmo melhorados através da reparação, *upgrade*, remanufatura ou *remarketing* de produtos. Receitas adicionais são geradas graças ao uso estendido. Ao utilizar esse modelo, a empresa pode ajudar a garantir que os produtos permaneçam economicamente úteis pelo maior tempo possível e que os *upgrades* de produtos sejam feitos de uma forma mais orientada (por exemplo, um componente desatualizado é substituído em vez de todo o produto). Este modelo é apropriado para a maioria dos segmentos intensivos em capital B2B¹⁰ (tais como equipamentos industriais) e companhias B2C¹¹ que servem mercados onde os produtos seminovos (ou "*Recommerce*") são comuns ou cujos novos

¹⁰ *Business to Business*: Negociação entre empresas (e não entre empresas e consumidores), caracterizada por (1) volumes relativamente grandes, (2) preços competitivos e estáveis, (3) tempos de entrega rápidos e, muitas vezes, (4) em base de pagamento diferido.

¹¹ *Business to Consumer*: Venda de produtos individuais para compradores individuais, geralmente em base de pagamento em dinheiro. Em geral, o comércio atacadista é B2B e o varejo é B2C.

lançamentos de um produto geram benefícios de desempenho adicionais parciais para os clientes em relação à versão anterior.

Plataformas de Compartilhamento: O modelo de negócio "Plataformas de Compartilhamento" promove uma plataforma para a colaboração entre os usuários de produtos, indivíduos ou organizações. Isso permite o compartilhamento do excesso de capacidade ou subutilização, aumentando a produtividade e criação de valor para o usuário. Este modelo, que ajuda a maximizar a taxa de utilização, poderia beneficiar empresas cujos produtos e ativos têm uma baixa taxa de utilização. No entanto, atualmente ele é mais comumente encontrado entre empresas especializadas em aumentar a taxa de utilização de produtos fabricados por terceiros, colocando um estresse considerável sobre os fabricantes tradicionais.

Produto Como Serviço: O modelo de negócio "Produto Como Serviço" fornece uma alternativa ao modelo tradicional de "comprar e possuir". Produtos são usados por um ou muitos clientes através de um contrato de concessão ou *pay-for-use*. É um modelo de negócio que gera incentivos para a durabilidade do produto e capacidade de atualização, deslocando-os de volume para desempenho. Este modelo seria atraente para as empresas cujo custo da operação de compartilhamento dos produtos é elevado, e que tem uma vantagem de habilidade em relação aos seus clientes no gerenciamento de manutenção dos produtos (dando-lhes uma vantagem na venda de serviços e recaptura de valor residual no fim da vida).

É claro que os modelos simplificam muito a complexidade da gestão de uma empresa e não devem, por si só, serem utilizados como um guia para o desenvolvimento de um negócio circular. O *framework* proposto por Lacy e Rutqvist (2014) não inclui muitos dos elementos-chave de um negócio. O modelo canvas de Osterwalder e Pigneur (2010), por exemplo, prevê elementos como as parcerias, canais de clientes, relacionamento com os clientes e segmentos e proposta de valor. Entretanto, a intenção aqui não é ilustrar todo o negócio e sua complexidade, mas uma tentativa de apontar como os modelos circulares permitem que as empresas dissociem a utilização dos recursos do crescimento econômico. Para tanto, são destacados pontos-chave ao longo da cadeia de fornecimento, onde as mudanças no uso dos recursos podem levar a maneiras totalmente novas de fazer negócios rentáveis e ambientalmente sustentáveis.

Dessa forma, os modelos de Lacy e Rutqvist (2014) são utilizados neste trabalho porque simplificam a complexidade dos negócios, na medida em que auxiliam a clara compreensão sobre como as empresas têm encontrado novas maneiras de utilizar os recursos de forma mais sensata.

Uma vez sistematizados os modelos de negócio circulares, o interesse concentra-se em compreender que tipos de práticas ou iniciativas estão permitindo a estruturação dos modelos apresentados e quais os impactos gerados na estrutura da cadeia nacional da embalagem PET, brevemente explorada no capítulo seguinte.

Capítulo 5

5. A cadeia da embalagem plástica PET no Brasil

O quinto capítulo propõe uma breve revisão sobre o atual estado da cadeia nacional da embalagem plástica PET. Ele abarca aspectos como a história da resina PET, seu surgimento como embalagem, capacidade de produção instalada, sua representatividade no segmento de embalagens, os atores da cadeia da embalagem PET e os mais recentes dados referentes à taxa de reciclagem do PET. No final do capítulo são apresentados alguns entraves vivenciados pelo elo final dessa cadeia - empresário reciclador - no contexto econômico brasileiro, seguido de uma visão abrangente do fluxo dos materiais na cadeia.

5.1 O Politereftalato de Etila (PET)

O politereftalato de etila, também conhecido como PET, é um polímero termoplástico da família dos poliésteres. Poliésteres são polímeros que contêm o grupo funcional éster em sua cadeia principal. Em geral, são produzidos por condensação de ácidos carboxílicos polifuncionais (ou seus derivados) com álcoois polifuncionais. No caso do PET, ele pode ser produzido tanto a partir do DMT (Tereftalato de Dimetila) e MEG (Monoetilenoglicol) quanto de PTA (Ácido Tereftálico Purificado) e MEG. A rota a partir do DMT foi a primeira utilizada comercialmente. Entretanto, desde a introdução do PTA, na década de 70, ela vem perdendo espaço, sendo atualmente considerada obsoleta (KÖPNICK e SCHMIDT, 2003).

O PET existe tanto na forma amorfa (transparente) quanto na forma semicristalina (opaca e branca) e pode ser vendido como resina, filme ou fibra. O PET semicristalino possui boa resistência, ductilidade, dureza e rigidez, enquanto o PET amorfo possui uma melhor ductilidade. O PET tem boa processabilidade e pode ser reciclado ou decomposto novamente em seus monômeros (RÜTER, 2003).

5.2 Produção de PET no Brasil

Em 2015, o Brasil se tornou autossuficiente na produção de PET, contando com dois produtores instalados em Pernambuco, capazes de abastecer com folga o mercado interno e ainda exportar parte da produção (DATAMARK, 2016).

Um deles é a PQS, ligada à Petrobras, com capacidade máxima de 450 kton de resina por ano. O Complexo PQS é formado pela Companhia Petroquímica de Pernambuco (Petroquímica Suape) e a Companhia Integrada Têxtil de Pernambuco (Citepe). A primeira produz o ácido tereftálico purificado, conhecido como PTA, e a última é responsável pela fabricação de polímeros e filamentos de poliéster e resina para embalagens PET. As empresas possuem capital 100% pertencente ao Sistema Petrobras e representam um importante polo de produção de poliéster da América do Sul, no Complexo Industrial Portuário de Suape, em Pernambuco (PQS, 2017).

A unidade de ácido tereftálico purificado (PTA), Petroquímica Suape, entrou em operação em 2013. Hoje tem uma capacidade de produção de 700 kton por ano e alimenta toda a cadeia do poliéster. Atualmente, a Petroquímica Suape é a única produtora de PTA do Brasil. A maior parte desse volume é consumido pelas outras unidades do Complexo, na produção da resina PET e polímeros e filamentos têxteis, e o restante é comercializado (PQS, 2017).

A unidade de resina PET é composta de duas unidades operacionais. A primeira entrou em operação em 2014, a outra, em 2015. Cada uma delas tem capacidade de produção de 225 kton por ano. Já com a primeira linha de produção desse produto, o Complexo PQS fez com que o Brasil se tornasse autossuficiente e exportador deste produto (PQS, 2017).

Em março deste ano, acionistas da Petrobrás aprovaram a venda do Complexo PQS para a mexicana Alpek (PQS, 2017), que, recentemente, anunciou ter obtido todas as aprovações corporativas necessárias para aquisição de 100% do Complexo PQS da Petróleo Brasileiro S.A. (ALPEK, 2017). Entretanto, embora a compra do Complexo PQS pela Alpek tenha sido aprovada, o processo de transferência ainda está em andamento, segundo informações publicadas nas páginas das empresas.

O segundo grande produtor de PET é a empresa de origem italiana Mossi & Ghisolfi (M&G). Atuante no mercado nacional há mais tempo, tem capacidade de produção em torno de 550 kton por ano (DATAMARK, 2016; ICIS, 2014).

5.3 O PET como embalagem plástica

O PET foi desenvolvido pelos ingleses Whinfield e Dickson em 1941, a princípio como uma alternativa a fibras naturais, seguindo o sucesso comercial da poliamida nylon na indústria têxtil, criada em 1935. Foi o primeiro poliéster de interesse comercial, devido ao seu alto ponto de fusão, e foi produzido pela primeira vez em escala comercial somente após a Segunda Guerra, pela ICI na Inglaterra em 1948 (ARORA *et al*, 2000). Durante as primeiras décadas de sua comercialização, a produção era voltada principalmente para a fabricação de fibras sintéticas e filmes (SHEN *et al*, 2009).

Entretanto, nos anos 70, o PET entrou no segmento de embalagens¹², e, desde então, vem apresentando um crescimento muito forte. Sua expansão neste segmento foi desencadeada a partir do desenvolvimento de tecnologias de transformação que permitiram sua produção em larga escala e a baixo custo. Os grandes fabricantes passaram, então, a substituir as embalagens tradicionais pelas práticas embalagens de PET, mudando o perfil de consumo e gerando um megamercado que não existia até o início dos anos 90. Com seu conjunto de vantagens – transparentes, leves, inquebráveis, de designs diferenciados - as embalagens PET rapidamente conquistaram a indústria e os consumidores.

O citado material foi usado primeiramente como embalagem de bebidas carbonatadas, devido ao fato de ser leve, forte e com boa propriedade de barreira, retendo o gás da bebida. Posteriormente, a sua aplicação se expandiu para outras bebidas, cosméticos e alimentos, devido à sua boa transparência, a não alterar o sabor nem a propriedade dos produtos, à boa vedação e à possibilidade de suportar micro-ondas. Também é aplicado como filmes em aplicações elétricas e embalagens (ARORA *et al*, 2000).

No Brasil, apenas a partir de 1993 o PET passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes (ABIPET, 2017). Historicamente, 90% do consumo de PET no Brasil é utilizado para a produção de embalagens para bebidas e alimentos (refrigerantes, água, óleo comestível, etc.). Em 2011, este montante alcançou 515 kton (ABIPET, 2013b).

¹² Patenteada em 1973, a garrafa PET se tornou um recipiente de bebidas extremamente popular em todo o mundo (CHRISTENSEN, 2011).

Se o avanço vertiginoso das embalagens PET mudou radicalmente os hábitos de consumo, ele também gerou desafios para a indústria e a sociedade, que buscam caminhos para tratar o volume de descarte gerado. As previsões de crescimento do mercado só tornam ainda mais imperiosa a necessidade de as sociedades se dedicarem à reciclagem (M&G, 2017).

5.4 Cadeia da Embalagem PET no Brasil

A cadeia produtiva de embalagens plásticas PET, representada pela *Figura 8*, tem seu início no **fornecimento da matéria-prima** nafta ou gás natural para a fabricação dos produtos de 1ª geração (eteno, propeno, butadieno e estireno). Estes produtos são transferidos para a indústria de 2ª geração, o **produtor de resinas termoplásticas**. As resinas fabricadas são então vendidas para a indústria de transformação. Neste caso, são as empresas **fabricantes de embalagens PET**. Os produtores de embalagens PET vendem-nas diretamente ou através de distribuidores para a **engarrafadora de bebidas (end user)**, que apresenta perfil muito variado de produtos e segmentos. O **varejista** distribui o produto embalado que finalmente chega ao **consumidor final**. Após o uso pelo consumidor, as embalagens PET podem ser reutilizadas, caso sejam retornáveis, voltando para as engarrafadoras através dos varejistas. Ou podem seguir para a etapa de recuperação na cadeia reversa. Nesta etapa, a participação do consumidor é sempre requisitada como parte fundamental do sistema de recuperação, já que sua participação inadequada no descarte da embalagem pode inviabilizar o processo reverso.

Na cadeia reversa, as garrafas de PET pós-consumo a granel são **coletadas** e encaminhadas aos **recicladores distribuidores**. Nessas unidades, grandes sacos com PET são numerados na forma de lote, com o intuito de verificar e controlar a procedência do material. Esse sistema permite também valorizar o material quanto ao nível de sua pureza. O controle de lotes viabiliza o gerenciamento do pagamento do material ao fornecedor e procura dificultar a introdução, nesses grandes sacos, de materiais diferentes do PET. Ainda nos recicladores-distribuidores, após recebimento, os materiais recicláveis a granel são encaminhados à esteira de separação e enfardados. São armazenados por cor e tipo. Os fardos são direcionados aos **recicladores-beneficiadores**. Nesta etapa o fardo de PET pós-consumo é beneficiado por meio do processo de nova retirada de contaminantes, moagem, lavagem e secagem do material, obtendo-se pedaços moídos de garrafas, conhecidos por *flakes*. Nos **recicladores-transformadores** o material advindo dos recicladores-beneficiadores é reprocessado e direcionado para a

fabricação de fibra, monofilamentos ou *pellets*, a depender do tipo de produto que será fabricado com a resina (CONCEIÇÃO, 2016).

Posteriormente, a resina pós consumo reciclada pode seguir dois caminhos. No primeiro deles o PET pós-consumo pode ser reinserido na própria cadeia que o originou, como matéria-prima secundária, fechando o ciclo. Neste caso em que o PET reciclado retorna como insumo para fabricação de novas embalagens/garrafas para alimentos e bebidas deve-se garantir o seu grau alimentício seguindo os parâmetros regulatórios da Anvisa¹³. De outra forma, esse material pós-consumo pode ser redirecionado para um **mercado secundário**, como a indústria têxtil por exemplo, promovendo a recuperação em ciclo aberto. Os atores e a estrutura da cadeia estão representados na figura seguinte.

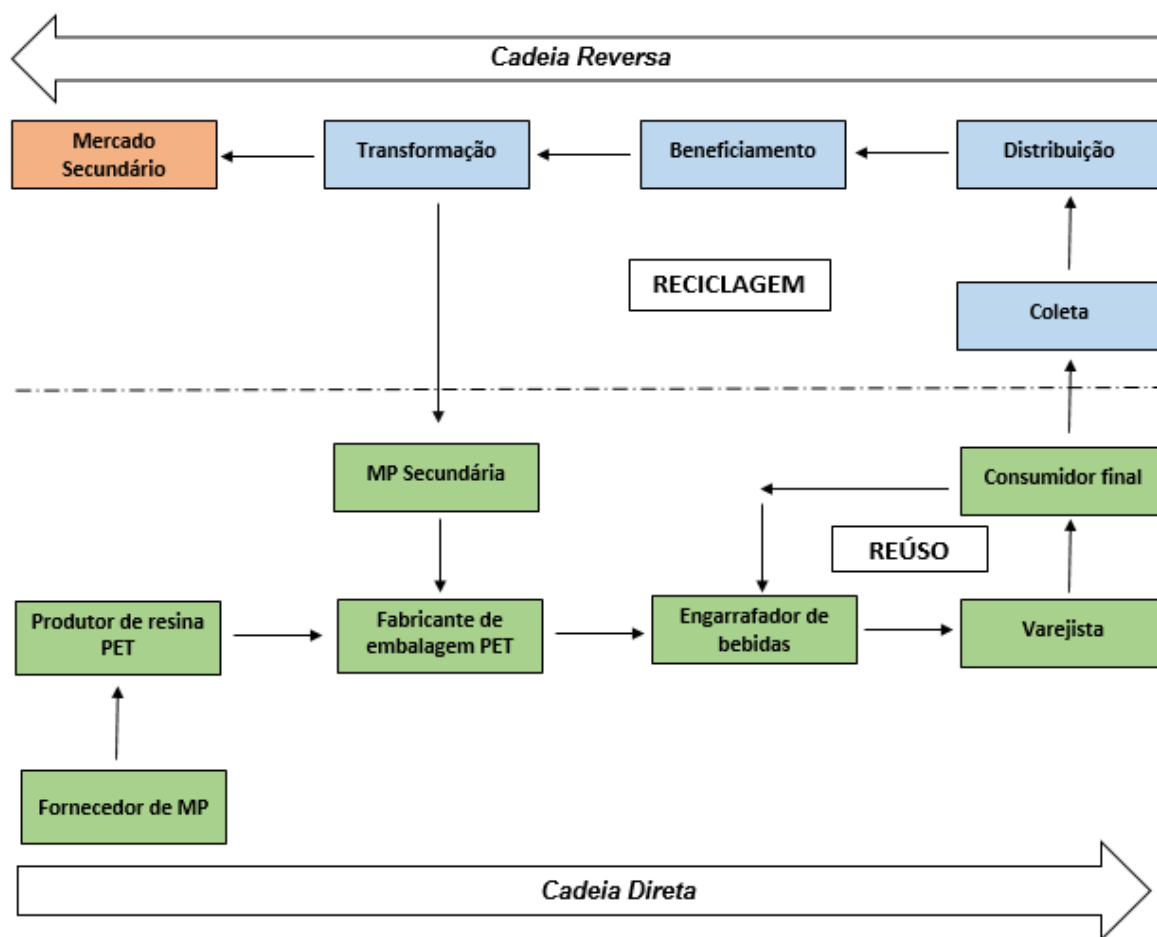


Figura 9. Cadeia da Embalagem PET

Fonte: Elaboração própria.

¹³ A regulação sobre o envase de garrafas recicladas possibilitado pela tecnologia *Bottle to Bottle* será discutida no capítulo 6.

5.5 Reciclagem do PET

Em termos globais, em 2012, os EUA apresentaram uma taxa de reciclagem de embalagens PET de 30,8% (859 kton) (NAPCOR, 2013). Já na Europa, no mesmo ano, foram recicladas 1680 kton de embalagens PET, o que representa um índice de reciclagem de aproximadamente 52% (PETCORE EUROPE, 2013). Em 2012, a Ásia foi o continente responsável pela maior quantidade de embalagens PET recicladas, 7000 kton, mas com taxa estimada de reciclagem de 37% (BEROE CONSULTING, 2014).

Nesse cenário, destaca-se o papel do Japão na atividade de reciclagem de embalagens PET. Em 2014, o país consumiu 550 kton de embalagens, apresentando índice de reciclagem de mais de 80% (JAPAN PET RESIN TRADE, FIBERS, APPLICATIONS & RECYCLING, 2015). Esta alta taxa pode ser explicada pelo fato de que no Japão, a infra-estrutura de reciclagem está organizada em uma estrutura de gestão *on-site*, na qual a própria indústria trata dos resíduos gerados por seus negócios (SANTOS JÚNIOR, 2010). Segundo Hazell (2013), a lei exige consórcios de fabricantes para executar as plantas de desmontagem, garantindo que eles se beneficiem diretamente da recuperação de materiais e peças. Como a recuperação é um requisito legal, as empresas investem, a longo prazo, na infra-estrutura de reciclagem. Como possuem ambas as instalações, tanto a de fabricação como a de recuperação, as empresas enviam *designers* de produtos para fábricas de desmontagem para vivenciar as frustrações de desmontar um produto mal projetado. Algumas empresas submetem protótipos no processo de desmontagem para se certificar de que eles são fáceis de recuperar.

Segundo Abipet (2016), no Brasil, grande parte das garrafas recicladas são obtidas através do serviço dos catadores individuais (34%) e organizados em cooperativas (49%). Em 2012, esses números eram de 47% e 21%, respectivamente (ABIPET, 2012). O crescimento do trabalho realizado através de cooperativas é resultado da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos). Desde 2010, ano em que foi instituída, a PNRS incentiva a criação e o desenvolvimento de cooperativas, ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Ela determina que sua participação nos sistemas de coleta seletiva e de logística reversa deverá ser priorizada. A esse respeito, destaca-se a Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, na qual já havia sido estabelecida a contratação de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, por parte do

titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, dispensável de licitação (BRASIL, [ca. 2013]).

O índice de reciclagem das embalagens PET pós-consumo no Brasil, em 2012, foi de cerca de 60%, totalizando 331 kton das 561 kton consumidas (ABIPET, 2013a). Em relação aos outros países este valor é alto, perdendo apenas para o Japão. Em 2015, essa taxa caiu para 51%, como mostra a *Figura 9* (ABIPET, 2016).

Cabe destacar que esses dados disponíveis sobre a reciclagem de PET no Brasil são provenientes do segmento de reciclagem mecânica, processo que converte os materiais plásticos descartados pós-consumo em grânulos passíveis de serem utilizados na produção de novos artefatos plásticos.



Figura 10. Evolução da Reciclagem do PET no Brasil.

Fonte: Abipet (2016). Não foram divulgados dados referentes ao ano de 2013.

A queda observada a partir de 2014 na evolução do índice de reciclagem de PET no país decorre, possivelmente, de uma redução no consumo de matéria-prima reciclada. Baixa atividade econômica (queda da demanda) e redução drástica do preço do petróleo são fatores que reduzem a atratividade da matéria-prima reciclada. Segundo Abipet (2016), setores importantes, como têxtil, químico, automotivo e de transporte tiveram quedas de quase 50% em suas atividades, refletindo negativamente sobre a reciclagem, já que são grandes consumidores de matéria-prima reciclada.

5.6 Entraves legislativos e alguns desafios da reciclagem

A atividade de reciclagem vem assumindo cada vez mais relevância econômica desde que a questão dos resíduos sólidos se tornou, nos últimos anos, um dos problemas centrais em termos de planejamento urbano e gestão pública nas grandes cidades do mundo. A reciclagem é formada por um conjunto de operações interligadas cuja finalidade é a reintrodução dos materiais recicláveis nos processos de produção para serem transformados novamente em insumos produtivos.

De acordo com um estudo publicado pelo Ipea (2017), o aumento considerável do nível de consumo nos centros urbanos nos últimos anos levou a dois resultados diretamente relacionados. Por um lado, houve o aumento na mesma proporção de materiais a serem descartados e, por outro, o encarecimento gradativo de matérias-primas para a produção de novos produtos de consumo para o atendimento das demandas da sociedade. Com isso, novas tecnologias foram desenvolvidas a fim de possibilitar a transformação de resíduos em matérias-primas que retornam para o setor produtivo. Em suma, esses fatores foram fundamentais para a viabilidade econômica da exploração da reciclagem de resíduos sólidos para a utilização em diferentes setores industriais.

Segundo Magera (2003) e Pinhel (2013), o nível de produção de resíduos está relacionado ao grau de desenvolvimento das forças produtivas de um país, tanto com relação à quantidade quanto à variedade de materiais a serem descartados e sua concentração espacial, sobretudo nas grandes capitais e regiões metropolitanas.

No caso brasileiro, o nível de produção de resíduos sólidos acompanha o processo de industrialização, que gerou uma urbanização acelerada, acompanhada de intenso impulso migratório a partir da segunda metade do século XX. Estimativas do Ipea (2017) apontam para uma geração de resíduos sólidos urbanos no país em torno de 160 mil toneladas diárias, dos quais de 30% a 40% são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem (não considerando nesse caso a possibilidade de compostagem dos resíduos orgânicos)¹⁴.

¹⁴ Do total de resíduo sólido no Brasil, estima-se que sua composição seja: 51,4% de matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), 13,5% de plástico, 13,1% de papel e papelão, 2,4% de vidro, 0,6% de alumínio, 2,3% de aço e 16,7% de outros materiais (ABIPLAST, 2016).

Contudo, estabelecer um cálculo do potencial econômico total da reciclagem no Brasil é uma tarefa difícil, pois o setor ainda não é explorado de forma sistemática em todo o território nacional. Estimativas do Cempre (2015) - Compromisso Empresarial da Reciclagem - apontam que somente 13% da população brasileira é atendida pelos caminhões da reciclagem.

Assim, pode-se dizer que os entraves são diversos e, em alguns casos, complexos. No caso dos materiais plásticos, foco desta pesquisa, observa-se que existe uma estrutura favorável de demanda de mercado. A sociedade demonstra apoio e parte das empresas é engajada. São vários os fatores que poderiam assegurar, hoje, que o reciclador brasileiro vive em um mundo ideal, sem ser afetado – ou pouco sendo afetado – pelos problemas naturais que afetam outros segmentos da economia, sobretudo em um período de incertezas macroeconômicas. Apesar disso, através da metodologia adotada neste trabalho em relação às entrevistas semiestruturadas, foi possível perceber que a realidade está aquém do esperado. Na sequência, são discutidos alguns entraves identificados na reciclagem das embalagens PET, também aplicáveis aos plásticos em geral.

Um problema que se destaca é o complexo sistema tributário brasileiro. De acordo com a estrutura da cadeia de reciclagem de cada produto, o mecanismo de tributação no Brasil pode fazer com que itens fabricados com materiais reciclados tenham incidência de impostos superior ao daqueles produzidos com matéria-prima virgem.

Os Estados e o Distrito Federal dispensam aos materiais recicláveis o tratamento próprio das mercadorias, fazendo incidir sobre eles o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o que acaba por onerar a atividade de reciclagem (CANELOI, 2011). Além do ICMS, cabe citar o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), que é arrecadado pela União. O Decreto-Lei 400/68 determina que o IPI devido sobre produtos usados que sofrerem processo de industrialização seja calculado sobre a diferença entre o preço de aquisição e de revenda. Entretanto, o regulamento do IPI atualmente em vigor (Decreto 7.212/2010) define que esse regime de apuração do imposto só se aplica aos produtos usados que passarem por processos de industrialização definidos como “renovação ou recondicionamento” (RASADOR, 2017). Existem, contudo, discordâncias por parte do setor em relação às definições desses termos, o que acaba gerando divergências no entendimento da legislação relativa à incidência de IPI sobre produtos feitos com materiais reciclados.

Deve-se apontar que as questões concernentes à tributação são complexas, envolvem interpretação de leis fundamentadas em doutrinas tributárias específicas. Dessa forma, para os

fins desta pesquisa é suficiente citar a existência de dificuldades relativas à incidência de impostos e tributos sobre os materiais reciclados.

Por todo o exposto, é de se notar que a redução da carga tributária ou, pelo menos, uma maior clareza legislativa sobre o tema, contribuiria significativamente para o aumento da comercialidade dos produtos reciclados ou que contenham em sua composição material reciclável ou reciclado, favorecendo o setor da reciclagem.

Outro entrave relevante para a reciclagem dos materiais plásticos, refere-se às dificuldades para fazer a chamada logística reversa. Falta informação sobre pontos de entrega voluntária (PEV's) e onde o morador das cidades pode devolver a garrafa após consumir o produto. Este entrave acaba contribuindo para outro grave problema que é a escassez de matéria-prima.

Além destes, o próprio segmento de embalagens plásticas não tem feito sua parte em alguns momentos, e tem autopressionado a possibilidade de lucro. É preciso, assim, uma maior conscientização entre os próprios empresários da indústria, sobretudo para combater o excesso de informalização e o consequente sucateamento dos preços (RAZZERA, 2016). Um dos principais desafios reside não só no acesso à matéria-prima, mas também na qualidade deste material. Em visita realizada à uma planta de reciclagem e revalorização de material PET, as perdas geradas por contaminantes¹⁵ nos fardos adquiridos junto aos intermediários da cadeia chegam a 25%¹⁶. Fornecedores não-legalizados associados a materiais de má qualidade, além de preços fora do mercado, acabam gerando um outro obstáculo à prosperidade do setor, pois aquele que oferece material de melhor qualidade é prejudicado. Assim, devido à estrutura do mercado, os intermediários apropriam-se da maior parte dos recursos econômicos decorrentes da reciclagem, adquirindo a sucata a custos baixos dos catadores e sucateiros, os quais recebem rendimentos que usualmente são inferiores ao salário mínimo nacional, contribuindo para que essa condição de exploração se perpetue.

Finalmente, menciona-se a grande ociosidade industrial envolvida na reciclagem das embalagens PET. Em algumas plantas, as empresas de reciclagem chegam a operar com apenas 30% de sua capacidade instalada. Dois fatores estão envolvidos neste cenário. O primeiro refere-se à oferta. Em certas situações não existe a garantia de um fornecimento contínuo de sucata. O segundo refere-se à demanda. O preço da matéria prima virgem chinesa em muitos

¹⁵ Contaminantes neste processo são identificados como todo material diferente de PET, e que, portanto, não são reciclados na mesma linha. São exemplos, o papelão, brinquedos, vidro, pedras, metais, entre outros.

¹⁶ Informação fornecida oralmente, por empresário reciclador em entrevista semiestruturada.

momentos se torna mais atrativo, a depender de variações cambiais. Dessa forma, o empresário transformador faz a opção pela resina virgem, disponível em abundância e a custos mais atraentes.

Por tudo isso, é possível dizer que a cadeia de embalagem PET no Brasil é um mercado com imenso potencial e números expressivos. Entretanto, devido a uma série de fatores conjunturais e estruturais, como taxação excessiva, custos elevados, informalização desproporcional e acesso à matéria-prima, ainda está caminhando para conseguir potencializar todas suas oportunidades.

5.7 Fluxo das embalagens PET

Uma visão abrangente do fluxo de embalagens plásticas do tipo PET pode ser encontrada na *Figura 10*. O fluxo mostra que 49% das 537 kton de PET consumidas no país, em 2015, na forma de embalagens, se perderam. Isso significa que cerca de 263 kton de embalagens plásticas PET foram descartadas na natureza. No que diz respeito à fração coletada para reciclagem, 38% do total é reciclado em cascata (na forma de resinas insaturadas e alquílicas, têxteis, lâminas e chapas, fitas de arquear, entre outros) e 13% do total é reciclado em *closed loop*, ou seja, retorna para o ciclo na forma de embalagens, podendo estas serem de grau alimentício ou não.

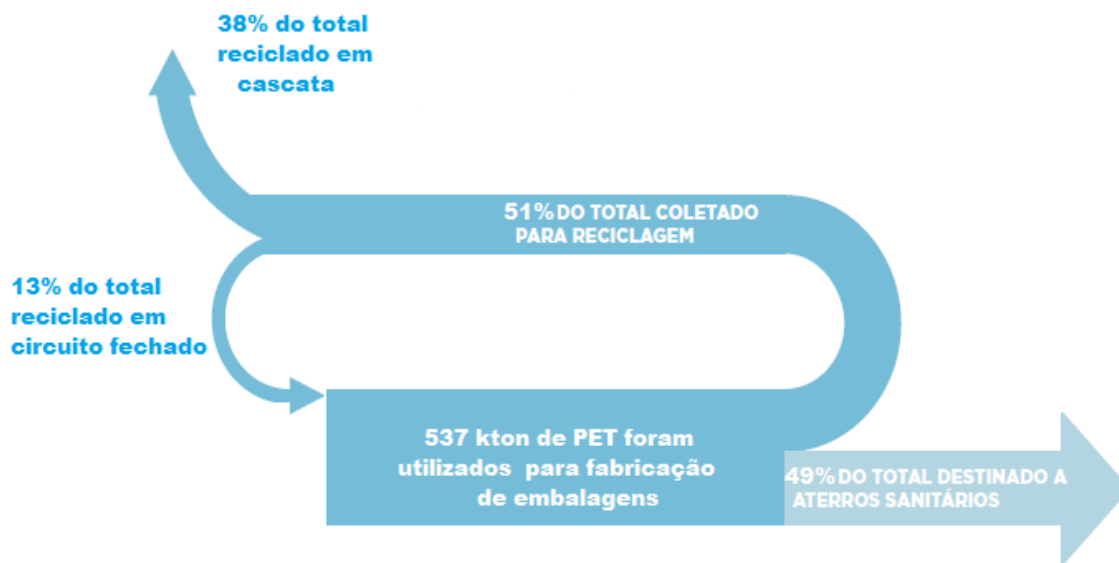


Figura 11. Fluxo de embalagens plásticas do tipo PET. Dados referentes ao ano de 2015.

Fonte: Elaboração própria com dados baseados no 10º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, Abipet (2016).

Diante do cenário atual, o fluxo de materiais do PET ainda é, em boa parte, linear. 49% das embalagens PET ainda são descartadas no ambiente. Isso quer dizer que existe uma oportunidade significativa para aumentar a circularidade e capturar o valor material perdido.

Tratando-se de embalagens plásticas, em especial do PET, resina de tamanha aceitação e representatividade, o conceito de economia circular pode ser um catalisador de inovações, pois, considerando a circularidade da embalagem em si, parece haver um enorme espaço para novas tecnologias e modelos de negócio que aumentem a atratividade econômica dos processos pós-consumo deste material. Assim, é fundamental que se entenda que tipos de iniciativas de inovação estão sendo desenvolvidas nessa cadeia e quais os modelos de negócio circulares dentre aqueles sistematizados na literatura por Lacy e Rutqvist (2014) estão se estruturando a partir dessas iniciativas. Assim, no capítulo seguinte são apresentadas algumas práticas de inovação identificadas na cadeia da embalagem PET.

Capítulo 6

6. A Economia Circular da Cadeia Produtiva da Embalagem PET

O objetivo deste capítulo é descrever, analisar e discutir práticas de inovação circulares em desenvolvimento na cadeia produtiva da embalagem PET. As iniciativas identificadas são resumidas e organizadas em um quadro no esforço de compreender as inter-relações existentes entre as iniciativas, os modelos de negócio circulares descritos no capítulo anterior e os atores chave da cadeia. Colocado dessa forma, foi possível uma percepção holística da cadeia e seus elementos, permitindo que algumas inferências fossem feitas e discutidas, fechando o capítulo.

6.1 Iniciativas Circulares da Cadeia Produtiva da Embalagem PET

Existem várias dimensões em que a embalagem pode contribuir e participar da construção de uma economia mais circular, que vai desde o projeto e produção da embalagem, a otimização de suas funções, até a revalorização do material pós-consumo (KARASKI *et al*, 2016).

Algumas iniciativas de inovação, de produtos e processos, associadas à EC identificadas na cadeia da embalagem PET¹⁷ são descritas a seguir. São analisadas variáveis como o grau de penetração de cada uma das iniciativas na cadeia produtiva, grau de maturidade, natureza das dificuldades para expansão/escalonamento e o principal impacto gerado na estrutura da cadeia.

PET verde¹⁸

O politereftalato de etileno, ou PET, é um dos plásticos mais utilizados no mundo, e a sua substituição por um bioplástico é um dos muitos passos para a transição de uma economia

¹⁷ Algumas iniciativas foram identificadas na cadeia nacional, outras ainda presentes somente em países europeus.

¹⁸ O PET verde é também encontrado na literatura como Bio-PET, PET *drop-in*, PET renovável.

baseada em matérias-primas e combustíveis de origem fóssil para uma economia de base renovável.

O PET é formado pela polimerização dos monômeros MEG e PTA, que representam respectivamente 30% e 70% da massa do polímero final. Enquanto a produção do monômero etileno glicol, MEG, a partir de biomassa já é uma realidade comercial, a produção do monômero ácido tereftálico purificado, PTA, tem constituído um desafio econômico/tecnológico. Uma vez viabilizado comercialmente, o PTA renovável, por ser uma molécula *drop-in*¹⁹, seria rapidamente aceito pelo mercado, sendo o preço a sua única barreira de entrada.

O PET verde, assim como o PE verde, é um *drop in*. Esses materiais, 100% *biobased* ou parcialmente produzidos a partir de biomassa, têm a conveniência de exigirem adaptações apenas no *upstream* da cadeia. As etapas de processamento do material (transformação ou conversão), uso, reciclagem e recuperação seguem as mesmas trajetórias dos produtos correlatos fósseis, com isso, não exigem investimentos em ativos complementares (TEECE, 1986) e específicos. Seu benefício reside na origem renovável (*biobased*) com melhora na performance ambiental (redução de emissões de gases de efeito estufa, por exemplo) e no menor custo de mudança (PORTER, 1980) para os agentes da cadeia. Assim, toda a infraestrutura do PET convencional de origem fóssil, incluindo conversão, ferramentas e infraestrutura de reciclagem existente, serão totalmente acessíveis sem alterações para o bio-PET (BOCKNER, 2014).

Dessa forma, diversas empresas têm concentrado esforços para desenvolver um processo que possa levar ao PTA *drop-in*. O principal agente fomentador dessa tecnologia tem sido a Coca-Cola, parceira das duas empresas de destaque quanto a essa tecnologia, Gevo e Virent.

Em 2010, a *The Coca-Cola Company* liderou o desenvolvimento da tecnologia PlantBottle™, que consiste em uma garrafa feita de um material que, em sua fabricação, substitui até 30% dos derivados do petróleo pelo etanol da cana-de-açúcar. O resultado é um resíduo reciclável como o PET, porém, com uma pegada de carbono menor. As embalagens PlantBottle™ representam 29% do volume de embalagens da Companhia na América do Norte e 8% globalmente (COCA-COLA ENTERPRISES, 2016).

¹⁹ Os materiais *drop in* são aqueles que apresentam propriedades técnicas idênticas ou muito próximas aos materiais de origem fóssil, produzidos a partir de matéria-prima renovável, sendo não biodegradáveis (EUROPEAN BIOPLASTICS ASSOCIATION, 2016).

Segundo a empresa, as embalagens PlantBottle™ utilizam exclusivamente o etanol da cana-de-açúcar e seus resíduos, por ser, até então, a fonte renovável que atende aos critérios estabelecidos de sustentabilidade, desempenho social, ambiental e de custos da companhia. Entretanto, já existem alguns esforços por parte da empresa em relação a outros tipos de materiais, como madeira, cascas de frutas e trigo para as futuras gerações de embalagem PlantBottle™. Dessa forma, o objetivo da companhia a longo prazo é tornar comercialmente viável as embalagens PlantBottle™ 2.0, fabricadas com 100% dos materiais de origem renovável (ver Figura 12).

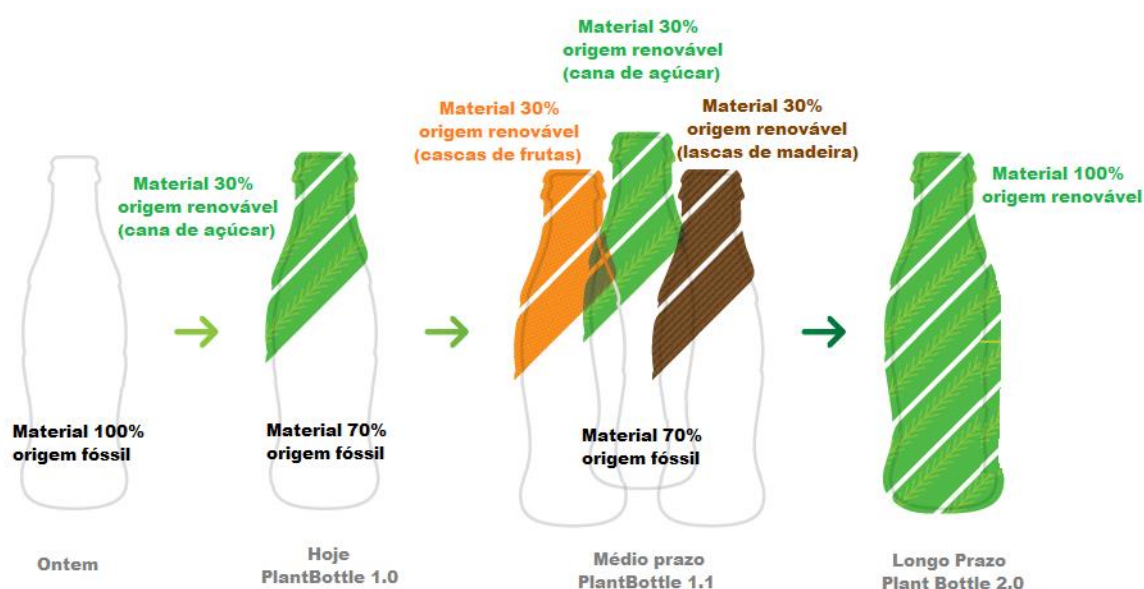


Figura 12. Evolução do conteúdo de base renovável das garrafas PlantBottle™.

Fonte: Adaptado de COCA-COLA (2017)

Para viabilizar seu objetivo de colocar no mercado a PlantBottle™ 2.0, a empresa tem diversificado suas parcerias, investindo em processos distintos para obtenção do PTA renovável.

A Virent, com apoio da Coca-Cola, lançou sua plataforma tecnológica BioForming® em 2016. A empresa não disponibiliza dados precisos sobre sua capacidade, mas divulga ter, atualmente,

a capacidade de produzir grandes quantidades de p-xileno²⁰ e outros produtos químicos aromáticos de base biológica (benzeno, tolueno, e xilenos mistos) para o desenvolvimento de aplicações em áreas, tais como embalagens e têxteis. O desenvolvimento da plataforma tecnológica BioForming® da Virent é suportado através de parceiros estratégicos, que incluem, além da Coca-Cola, a Cargill, Honda, Shell e Tesoro (VIRENT, 2017).

Em 2011, Gevo e Toray produziram com sucesso fibras e filmes de PET 100% derivado de fonte renovável, em escala laboratorial, utilizando isobutanol como matéria-prima para o p-xileno (BIOFUELS DIGEST, 2017). A Toray Industries está trabalhando com a Gevo para desenvolver o p-xileno renovável e auxiliou no financiamento para a construção de uma planta. A Toray também assinou um acordo para adquirir o p-xileno da Gevo, produzido na instalação de Silsbee, e convertê-lo em fibras de PET, tecidos e filmes para fins de avaliação e desenvolvimento de mercado. A Gevo inaugurou em 2013 sua fábrica de p-xileno em escala de demonstração em Silsbee, no estado do Texas, EUA. A unidade de p-xileno fica ao lado da planta de combustível de aviação da Gevo existente em Silsbee (MAXIQUIM, 2013).

Outras grandes multinacionais também seguem essa tendência. Em março deste ano, Danone e a Nestlé Waters, as duas maiores empresas de água engarrafada do mundo, uniram forças com a Origin Materials, uma *startup* com sede em Sacramento, Califórnia, para formar a NaturALL Bottle Alliance. Juntas, as três empresas visam acelerar o desenvolvimento para lançar em escala comercial uma garrafa de PET 100% derivada de recursos sustentáveis e renováveis. Danone e Nestlé Waters estão fornecendo expertise e equipes, além de apoio financeiro, para ajudar a Origin Materials a disponibilizar esta tecnologia para toda a indústria de alimentos e bebidas. A tecnologia da Origin Materials converte celulose em p-xileno. O P&D irá focar inicialmente no papelão, serragem e aparas de madeira, mas outros materiais de biomassa, tais como cascas de arroz, palha e resíduos agrícolas também serão explorados (NESTLÉ, 2017). A Origin Materials já produziu amostras de PET 80% base renovável em sua planta piloto, localizada em Sacramento. Está em andamento a construção de uma nova planta que pretende lançar 5.000 toneladas de PET 60% base renovável no mercado em 2018. A empresa planeja evoluir para o PET 75% base renovável em escala comercial já em 2020 e 95% base renovável em 2022. A Danone e Nestlé Waters anunciaram que continuarão a

²⁰ p-xileno é um precursor direto na produção do ácido tereftálico (PTA).

conduzir as pesquisas com o objetivo de atingir um material PET 100% base renovável (PLASTIC NEWS EUROPE, 2017).

A participação ativa das engarrafadoras mostra que o crescimento observado no número de empresas e projetos envolvendo o PET verde justifica-se pela significativa demanda da indústria de bebidas para a produção de garrafas. Em 2021, espera-se que o PET verde represente 28,2% da capacidade total de produção de bioplásticos (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2016), sinalizando a importância dos utilizadores finais (*end users*)²¹ no processo de adoção do PET verde (OROSKI, 2013).

PEF

Historicamente tem sido difícil desenvolver polímeros que igualem as performances técnica e econômica do PET, em seus usos como plástico e fibra. Isso se deve basicamente às excelentes propriedades térmicas e de barreira do polímero, aliado a seu baixo custo. Alguns polímeros tradicionais podem substituir o PET, porém em usos específicos e com performance inferior, como é o caso do polietileno (PE) ou do polipropileno (PP). Nenhum desses polímeros pode substituir o PET com a mesma eficiência em mais do que alguns nichos específicos.

Nesse cenário, o Polietileno Furanoato (PEF) acena como uma potencial alternativa renovável do PET. O PEF é um polímero similar ao PET que emprega FDCA (ácido 2,5-dicarboxílico furano), obtido por processamento químico de açúcares, em vez do PTA.

Por essa rota, açúcares podem ser convertidos em diversos furanos usados como bloco de construção. Essa plataforma tecnológica é chamada pela Avantium, empresa detentora da tecnologia, de *YXY technology*. O ácido FDCA é um desses furanos, sendo obtido após desidratação e oxidação catalíticas de açúcares. O FDCA pode assim substituir o PTA na polimerização com MEG, gerando o PEF (AVANTIUM, 2017), um novo material, 100% derivado de fontes renováveis, com grande potencial para substituir o PET, que hoje contém no máximo 30% de matéria-prima de fontes renováveis. Essa substituição seria possível em

²¹ Os *end users* são as empresas que comprem os transformados plásticos, em sua maioria, embalagens. Entre eles, estão as indústrias de bens de consumo, higiene, limpeza, cosméticos, brinquedos, varejo, etc (OROSKI, 2013).

diversos grandes segmentos industriais, como garrafas para bebidas, materiais descartáveis, embalagens flexíveis, mobiliário doméstico, tecidos e fibras industriais.

O PEF tem inúmeras propriedades superiores quando comparado com PET, incluindo menor permeabilidade de oxigênio, dióxido de carbono e água. Essas propriedades permitem inovações em embalagens, como frascos mais leves e mais finos, mais resistentes, e ainda podem ampliar a validade de produtos. Combinado com uma redução de 50% a 70% na emissão de carbono, o PEF cumpre com os principais critérios para se tornar o plástico renovável da nova geração de frascos, películas e fibras (AVANTIUM, 2017).

A empresa detentora da tecnologia, Avantium, afirma que em termos de processamento pós consumo, o PEF tem características similares ao PET, podendo substituí-lo sem a necessidade de mudanças na indústria de transformação tradicional do PET. Portanto, o PEF, apesar de ser um não *drop-in*, pode ter todas as vantagens comparativas de um, sem qualquer adaptação. Porém, para ter uma rápida adesão do mercado, as alegações da empresa de que o processamento *downstream* do PEF (ou qualquer mistura PEF e PET) poderia usar a mesma infraestrutura existente do PET, sem adaptações, ainda deve ser melhor avaliada.

Recentemente, a European PET Bottle Platform (EPBP) - uma iniciativa voluntária de organizações da indústria que representam catadores, recicladores de plástico, produtores de material PET e *brand owners* - aprovou a penetração do PEF no mercado garantindo que essa medida não traria maiores prejuízos para a atual estrutura de reciclagem do PET convencional, caso esses materiais se misturassem. Entretanto, a análise realizada pela EPBP estabelece que essa aprovação se aplica somente para o caso em que este material represente até 2% do atual mercado do PET, o que corresponde às 50 ktons de FDCA atualmente admissíveis em escala comercial (GUZMAN, 2017).

Por outro lado, Bockner (2014) afirma que a molécula de PEF ainda é um contaminante na corrente PET existente. Segundo o autor, uma quantidade muito pequena de PEF além de reduzir o desempenho da mistura de PET / PEF resultante, pode também comprometer as características de cristalinidade e brilho, que são dois relevantes atributos de *marketing* do PET. Portanto, ainda não seria realista garantir que as duas resinas possam ser misturadas com sucesso para fazer uma resina para embalagem com todos os benefícios do PET.

Uma outra discussão surge quando se trata das características superiores do PEF, que são onerosas. A questão é se o desempenho superior relativamente dispendioso do PEF é suficiente para superar o custo-desempenho de uma resina PET 100% renovável.

Apesar desses desafios, BASF e Avantium anunciaram no final de 2016 o estabelecimento de uma *joint venture* para produção e comercialização do ácido furanodicarboxílico FDCA e para comercialização do PEF. O objetivo da *joint venture* Synvina® é construir uma unidade de referência para a produção FDCA com capacidade anual de até 50 kton por ano na unidade da BASF em Antuérpia, Bélgica. A *joint venture* utilizará o processo YXY da Avantium para a produção de FDCA. A intenção da Synvina® é se posicionar como líder mundial no fornecimento de FDCA e PEF e posteriormente licenciar a tecnologia para aplicações em escala industrial (BASF, 2016). Alguns dos parceiros da Synvina® incluem Coca-Cola, Danone e ALPLA.

Outras empresas anunciaram que vão produzir e comercializar o FDCA: a holandesa Corbion e a suíça AVA Biochem. A primeira produzirá FDCA através de um processo enzimático, enquanto a AVA Biochem, assim como a Avantium, empregará o processamento químico de açúcares (BIOBASED PRESS, 2016).

PTF

O PTF (furanodicarboxilato politrimetileno) é um novo poliéster que combina uma molécula de fontes renováveis, o éster metílico dicarboxílico furano (FDME), com um biomaterial inovador, o Bio-PDO™ (1,3-propanodiol).

O PTF é um polímero 100% renovável e reciclável que, quando usado para fabricar garrafas e outras embalagens de bebidas, melhora substancialmente as propriedades de barreira aos gases quando comparado aos outros poliésteres. Isso faz do PTF uma ótima opção para a indústria de embalagens de bebidas que procuram melhorar a vida útil de seus produtos (BIOFUELS DIGEST, 2016).

Em janeiro de 2016, a DuPont Industrial Biosciences (DuPont) anunciou uma colaboração com a Archer Daniels Midland Co. (ADM) no desenvolvimento de um método de alto rendimento e baixo custo para a produção do FDME a partir de frutose. O FDME é um dos 12 blocos de construção identificados pelo Departamento de Energia Americano e pode ser convertido em produtos químicos ou materiais de base biológica capazes de oferecer alto desempenho em várias aplicações. O FDME ainda não está disponível em escala comercial a um custo razoável, mas a nova tecnologia promete tornar o processo mais eficiente e simples do que as abordagens

tradicionais de conversão e resulta em rendimentos mais elevados e menor utilização de energia (PROCESSING MAGAZINE, 2016).

As duas empresas estão planejando construir uma planta de demonstração de 60 toneladas/ano integrada em Decatur, Illinois, para oferecer aos clientes potenciais quantidades de produtos suficientes para testes e pesquisas (BIOFUELS DIGEST, 2016).

Cabe destacar que o PET verde, o PEF e o PTF são poliésteres inovadores, alternativos ao material de origem fóssil e estão intimamente relacionados. São materiais muito próximos quanto às possibilidades de uso. Entretanto, se distanciam quanto o grau de maturidade do desenvolvimento de cada um dos materiais. O PET verde é uma realidade mais próxima, e sua dificuldade reside no escalonamento de sua produção. O PEF vem seguindo sua trajetória há mais tempo. Já existe certo esclarecimento sobre as questões mais prementes em relação à viabilidade do PEF. Por exemplo, tecnologias de separação do PET e PEF e tecnologias de reciclagem de PEF em fibras. Quanto ao PTF, as pesquisas são ainda muito iniciais e a perspectiva é que ainda sejam produzidas quantidades suficientes para testes. Questões quanto à sua viabilidade ainda não foram respondidas. Não se sabe ainda a viabilidade de seu processamento na mesma infra-estrutura do PET, os efeitos de uma eventual mistura desses materiais durante o processo de reciclagem, entre outros (BIOBASED PRESS, 2016).

Apesar do *marketing*, a DuPont não deixa claro qualquer vantagem do PTF em relação ao PEF.

Ref PET

O termo *Ref PET*, derivado do inglês “*Refillable Pet*”, ou PET retornável, define a embalagem confeccionada em plástico mais resistente do que o utilizado na garrafa comum de PET. Essa garrafa mais resistente permite que a mesma embalagem seja reutilizada por até 28 vezes²², retornando ao ciclo sem que o valor seja perdido.

A utilização de embalagens retornáveis permite que os produtos possam ser vendidos a preços menores, uma vez que, a partir da primeira compra, o consumidor arcará apenas com os custos do produto embalado, descontado o valor da embalagem. Além disso, a comercialização de produtos neste formato de embalagem permite a redução na geração de resíduos, uma vez que

²² Informação obtida a partir de entrevista semiestruturada com empresário de reciclagem.

a embalagem pode ser reutilizada, diminuindo desta maneira a utilização de resina virgem para a fabricação de novas garrafas. Com a *Ref* PET, 70 milhões de garrafas deixam de ser produzidas e comercializadas por ano no Brasil (COCA-COLA BRASIL, 2015).

As *Ref* PET's ainda apresentam uma maior segurança, fácil manuseio e leveza quando comparadas ao vidro (material tradicionalmente empregado em embalagens retornáveis), além de uma maior resistência (devido às várias camadas que compõem a pré-forma) em relação às embalagens PET tradicionais.

Apesar dos benefícios, as embalagens retornáveis trazem consigo a possibilidade de alteração sensorial e microbiológica do produto envasado. Os tipos de deterioração mais comuns em refrigerantes são a turvação, a sedimentação, a floculação, a alteração de odor e de sabor, a presença excessiva de gases, o estufamento de latas ou garrafas PET (VENTURINI FILHO, 2010). Assim, a utilização da embalagem *Ref* PET requer equipamentos com alta tecnologia para a produção de bebidas altamente seguras e com qualidade. A linha de produção conta com diversos equipamentos e fases de inspeção a fim de garantir a máxima qualidade do produto final. Pré-inspeção, Inspeção Pré-Lavagem de Fase Vapor (*Sniffer*), Inspeção Visual de Pós-lavagem e Inspeção de Garrafas Cheias.

Um dos equipamentos diferenciais dessa linha é o *Sniffer*, que é composto por quatro sensores eletrônicos que operam baseando-se nas técnicas de infravermelho, pulso fluorescência, radiação e espectrômetro, possuindo como funções obrigatórias detectar e rejeitar garrafas que contenham residual de contaminantes a base de compostos nitrogenados, solventes, perfumados e alcoólicos. Seu funcionamento consiste em aspirar uma amostra de ar de dentro da garrafa, analisá-la e, caso tenha alguma substância estranha, retirar da linha de produção por uma esteira de vasilhames para destruição (REIS, 2016).

De acordo com o Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), toda a indústria de bebida não alcoólica carbonatada que desejar utilizar o PET retornável como embalagem para o seu produto deverá seguir o Anexo IX da Resolução nº 105 de 19 de maio de 1999 (BRASIL, 1999), que mostra as disposições para essas embalagens e quais são os critérios de avaliação das mesmas.

Por fim, é importante salientar que, em muitos países, houve discussão ativa sobre a superioridade ambiental de diferentes sistemas de embalagem e numerosos estudos. Avaliações de ciclo de vida (ACVs) foram conduzidas para apoiar com respostas. Entretanto, as ACVs não respondem com clareza qual seria o sistema de embalagem (por exemplo, garrafas de PET

retornáveis / descartáveis, garrafas de vidro reutilizáveis / descartáveis, latas de alumínio, latas de aço) mais ecológico, pois o resultado é altamente dependente das características específicas do sistema no qual está inserido. No entanto, em sistemas com altas taxas de retorno e reduzidas distâncias de transporte, as discussões tendem para conclusões nas quais os sistemas de embalagens reutilizáveis são desejáveis tanto ambientalmente como economicamente (CHRISTENSEN, 2011).

Bottle-to-Bottle (BTB)

Bottle-to-Bottle (BTB) é o nome dado à tecnologia que viabiliza o PET pós-consumo reciclado de grau alimentício (PET-PCR grau alimentício). Envolve um processo de reciclagem de garrafas PET utilizando as mesmas para fabricação de novas embalagens, o que reduz a quantidade de resina virgem necessária para a produção. Este processo já é utilizado nos Estados Unidos desde a década de 90 e em 2008 foi autorizada a sua utilização no Brasil.

O principal objetivo é colocar as empresas de pós-consumo como alimentadoras da própria cadeia de suprimentos. O investimento é alto, todavia, a exemplo das latas de alumínio, com o ganho de escala o custo é coberto e passa a fomentar toda uma operacionalização de coleta.

O processo começa quando, durante a reciclagem do PET, dois tipos de materiais são gerados: o PET reciclado e o PET-PCR grau alimentício. A diferença entre estes dois materiais é que o PET-PCR grau alimentício é o PET obtido após um processo de reciclagem e descontaminação do PET pós-consumo, PET de descarte industrial²³ ou PET reciclado. O processo de reciclagem e descontaminação, viabilizado pela tecnologia *Bottle-to-Bottle*, consiste em reciclagem física ou química com alta eficiência de descontaminação, que tenha sido demonstrada por procedimento de validação normalizado (*challenge test* ou equivalente) e que, por isso, conta com autorizações especiais de uso, validadas pela Anvisa. Somente este material pode ser utilizado na elaboração de embalagens em contato direto com os alimentos, desde que previamente aprovado ou registrado pela Anvisa, conforme o caso. A resina obtida por extrusão

²³ PET de descarte industrial é o PET proveniente de embalagens ou artigos precursores das mesmas, ambos de grau alimentício, que não foi utilizado para contato com alimento, gerado em estabelecimento industrial que elabora embalagens, artigos precursores ou alimentos e não inclui o “scrap” (item 2.1 da RDC n. 20/2008). Exemplos: garrafas, préformas ou lâminas de PET, obtidas a partir de PET virgem ou de PET-PCR grau alimentício, que não foram utilizadas para acondicionar alimentos, trituradas (flakes) ou não (ANVISA, 2016).

de *flakes* obtidos a partir de PET pós-consumo e PET de descarte industrial em processo onde não houve validação da descontaminação não é adequada para contato com alimentos (ANVISA, 2016).

Como regra geral, é proibida a utilização de materiais plásticos procedentes de embalagens, fragmentos de objetos, plásticos reciclados ou já utilizados na elaboração de embalagens e equipamentos destinados a entrar em contato com alimento, conforme estabelece o item 9 das “Disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos” da Resolução n. 105/1999. Esta proibição, no entanto, não se aplica ao material obtido de plásticos não contaminados nem degradados que são reprocessados no mesmo processo de transformação que o originou (*scrap* ou aparas de processo). No entanto, a Resolução n. 105/1999 estabelece ainda que a autoridade sanitária competente poderá estudar processos tecnológicos específicos de obtenção de resinas a partir de materiais recicláveis.

Neste sentido, a Portaria n. 987 de 08 de dezembro de 1998 regulamentou o uso de PET reciclado em camadas intermediárias de filmes multicamadas para embalagens de PET descartáveis. No entanto, esta Portaria restringe o uso deste tipo de embalagem ao acondicionamento de bebidas não alcóolicas carbonatadas como, por exemplo, refrigerantes. Além disso, a Portaria estabelece que a camada de PET reciclado não deve estar em contato direto com o alimento, mas separada deste por uma camada de PET virgem com uma espessura mínima de 25 μm (vinte e cinco micrômetros). Esta camada de PET virgem funciona como uma barreira para a migração de possíveis contaminantes do PET reciclado para o alimento. Porém, a espessura de 25 μm de PET virgem que está estabelecida como barreira funcional neste regulamento se aplica somente ao uso da embalagem em contato com bebidas não alcóolicas carbonatadas.

Posteriormente, em 2008, o uso de PET-PCR grau alimentício em embalagens destinadas ao contato direto com alimentos foi regulamentado pela RDC n. 20, de 26 de março de 2008 (ANVISA, 2016).

Cabe ressaltar que não há restrição quanto a porcentagem de resina reciclada utilizada nas embalagens, desde que seja um produto/processo homologado. Geralmente as empresas adotam uma blenda de 70% virgem e 30% reciclado por questões de uniformidade da cor e eficiência do processo de sopro. Entretanto, este cenário vem mudando. Várias empresas já

migraram para a blenda 50% virgem/50% reciclado e muitas já conseguiram adotar o 100% reciclado, tendência que parece irreversível diante da obrigatoriedade da logística reversa²⁴.

Rótulos Comutáveis

Os rótulos autoadesivos, tradicionalmente empregados nas embalagens plásticas, limitam a capacidade de reciclagem do PET, impedindo que o rPET²⁵ seja utilizado em contato direto com alimentos devido à contaminação provocada pelo adesivo.

O PET contaminado, quando reciclado, pode apresentar problemas de coloração, perda de viscosidade intrínseca, perda de transparência, vazamentos na extrusão e manchas pretas. O resultado final é que materiais contaminados são adequados apenas para embalagens inferiores destinadas a produtos de menor qualidade. Assim, são necessários investimentos em tecnologias que gerem materiais reciclados de alta qualidade, com maior valor, reduzindo o volume de resíduos e a necessidade de materiais virgens.

Cientes da importância de um fluxo completo de reciclagem de materiais PET, os recicladores estimulam o uso de rótulos plásticos com densidade específica²⁶ inferior a 1.0, pois podem ser removidos com facilidade por sistemas convencionais de separação por densidade à base de água. Recomenda-se ainda evitar a produção de rótulos com materiais que afundem na água, já que o substrato, as tintas, a decoração, os revestimentos e a camada superior são contaminantes para os fragmentos de PET reciclados.

Com o objetivo de desenvolver uma solução que crie uma cadeia de valor mais sustentável, a partir das estruturas dos rótulos autoadesivos, além de ampliar a reciclabilidade e a qualidade geral dos plásticos reciclados pós-consumo, tecnologias de rotulagem estão sendo desenvolvidas.

Desenvolvida pela empresa Avery Dennison, a tecnologia CleanFlake™ é uma inovação que envolve um filme adesivo para rótulos autoadesivos “desligáveis”, que podem ser “ativados”

²⁴ Informação obtida a partir de entrevista semiestruturada com empresário de reciclagem.

²⁵ rPET é a forma reduzida para PET reciclado.

²⁶ Densidade relativa ou específica é a razão entre a densidade de uma substância e a densidade de um dado material de referência. Se a densidade relativa de uma substância é menor do que 1 então ela é menos densa do que a referência. Neste caso, a referência é o PET.

ou “desativados”, dependendo do ambiente ou do estímulo externo. Os adesivos à base de água aderem à embalagem PET até o final de seu ciclo de vida. As ligações coesivas são interrompidas durante a reciclagem, no processo de imersão/submersão, permitindo a separação completa do rótulo autoadesivo do fragmento de PET. O fragmento de PET fica totalmente livre de resíduos de adesivo que poderiam contaminar, descolorir ou impactar negativamente no valor do rPET. Assim, a formulação dos filmes CleanFlake™ é mais complexa justamente por conta do mecanismo de comutação, além dos componentes específicos para “ativá-lo” e “desativá-lo” (AVERY DENNISON, 2012). A característica “comutável” é exclusiva dos filmes CleanFlake™, que já são encontrados no mercado.

A grande vantagem dessa tecnologia é sua capacidade de contribuir para uma cadeia de valor mais sustentável a partir da estrutura dos rótulos autoadesivos já existente, sem a necessidade de maiores adaptações na estrutura de recuperação pós-consumo.

Cabe destacar que, o objetivo dessa iniciativa, segundo a empresa, é facilitar a recuperação de materiais. Pode-se dizer, portanto, que essa iniciativa é o resultado da percepção por parte do *designer* de produto/fabricante de embalagens sobre a tendência do mercado, que é a busca do *end user* por benefícios que vão além do *design* das embalagens. As grandes empresas já reconhecem a sustentabilidade como um diferencial importante, uma vez que a demanda do varejo e a conscientização dos consumidores sobre a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais influenciam cada vez mais a escolha dos produtos.

Garrafas e tampas de gramatura reduzida

A redução de matéria-prima empregada na fabricação de embalagens é vista como uma solução que alia menores custos de produção às questões de escassez de recursos. Assim, a redução da gramatura das garrafas PET tem se mostrado uma tendência cada vez mais forte e vem sendo adotada por diversas empresas nacionais, especialmente pelas engarrafadoras de água mineral.

As mudanças relacionadas à diminuição do peso das pré-formas concentram-se, sobretudo, nas regiões do pescoço, ombro e gargalo (espessura, altura e tipo) e no alívio de determinados ângulos. Em alguns casos, os ângulos do desenho da garrafa impossibilitam maior estiramento na parte superior das pré-formas, no seu corpo, via redução da espessura, ou no fundo. Estes entraves são contornados com a concepção de novos ângulos associados ao formato da base.

Tais ajustes asseguram perfeito desempenho no sopro, mas, em contrapartida, fragilizam a garrafa nas etapas do enxágue, envase e fechamento, além de problemas no empilhamento, frete e manuseio final (ANJOS, 2016).

Assim, a corrida tecnológica atrás de pesos menores sem sequelas para o desempenho das garrafas constitui uma vantagem inicial para as grandes marcas. Afinal, o custo para soprar pré-formas de baixa gramatura com os equipamentos existentes é muito alto, ainda que possuam a melhor tecnologia disponível.

Entretanto, a questão transcende a tecnologia de fabricação de pré-formas, englobando a vida útil da garrafa, o que inclui a performance na linha de envase e de logística. Assim, não se trata apenas de reduzir o peso da garrafa, mas de projetá-la para atender, com o menor peso possível, às exigências do processo de fabricação e consumo (CAZZARO, 2016).

A Coca-Cola, por exemplo, vem seguindo essa tendência em suas embalagens. A empresa tem se empenhado em reduzir a quantidade de matéria-prima necessária para produzir suas embalagens. Nos últimos anos, o peso de suas garrafas PET foi reduzido a um valor entre 4% e 27%, a depender do tamanho da garrafa (COCA-COLA BRASIL, 2016). Abaixo encontram-se alguns dados divulgados pela companhia referentes à redução do peso de suas embalagens PET:

- PET 2L: de 52g para 41g (redução de 21%)
- PET 600mL: de 28g para 20,6g (redução de 26%)
- PET 250mL: de 26,6g para 15g (redução de 27%)

Investindo em gargalos, moldes e equipamentos de envase mais eficientes, a Bioleve, marca de água mineral, conseguiu diminuir em 23% a quantidade de resina PET usada na produção de suas embalagens PET. Assim, 20 toneladas de resina PET deixaram de ser consumidas ao mês. A empresa também está investindo em tecnologias de injeção, a fim de rodar com sucesso as garrafas de menor gramatura. Para alcançar esse resultado, que será comunicado aos consumidores através de um selo impresso nos rótulos dos produtos, a empresa investiu cerca de R\$ 1,5 milhão na sua linha de envase. Mais R\$ 400 mil foram destinados ao aprimoramento da área de moldes e injeção (EMBALAGEM & TECNOLOGIA, 2015). Este exemplo da Bioleve mostra o quão oneroso e complexo pode ser o processo de adaptação da estrutura da empresa quando se trata de reduzir alguns gramas de uma embalagem.

Além da redução da espessura do corpo dos vasilhames, as empresas estão redesenhando o gargalo das garrafas tornando-os mais baixos do que o padrão de mercado, poupando em média 1 grama de resina PET por embalagem. Neste caso, o ganho se dá por dois motivos. Além do padrão de gargalo mais baixo poupar cerca de 30% de resina PET no gargalo em si, a adoção de novos formatos implica também mudanças na tampa. Com o pescoço da garrafa mais curto, pode-se também utilizar uma tampa mais leve. Assim, há redução no uso de matéria-prima tanto da resina PET da pré-forma como da tampa da garrafa (KRONES, 2010).

Embora o material das tampas varie (em geral são feitas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ou Polipropileno (PP)), as mesmas são parte integrante da embalagem. Assim, mesmo que não sejam constituídas de PET, as tampas contribuem para o problema do não reaproveitamento dos recursos e o consequente desgaste ambiental. Além disso, a natureza dos materiais que a constituem é a mesma do PET, ou seja, são plásticos, passíveis de reciclagem, e, portanto, também geram oportunidade econômica.

Dessa forma, *designers* de produto têm apostado no *Ultra Design* (formatos otimizados) e no *Short Height* (altura menor das tampas e bocais), tecnologias que reduzem de forma significativa a altura do gargalo e o tamanho da tampa da garrafa.

Em seu mais recente relatório de sustentabilidade, a Coca-Cola mostra certo esforço em reduzir o peso de suas tampas em garrafas de PET de uma média de 2,5 gramas para uma média de 2 gramas. Embora possa parecer uma pequena redução, as mais de 12 bilhões de garrafas que produzem a cada ano, podem resultar em uma redução significativa de CO₂. Segundo a empresa, durante um projeto de dois anos, várias equipes, incluindo a de operações de fabricação, trabalharam em conjunto com os fornecedores de equipamentos e tampas. Juntos, asseguraram que, apesar da diminuição de peso, as tampas manteriam sua performance. Assim, adaptaram as linhas de produção da CCE para gerenciar as tampas menores e mais leves. Como resultado de seus esforços, a empresa conseguiu economizar 876 toneladas de material (COCA-COLA ENTERPRISES, 2016).

Deve-se ressaltar que essas soluções de prevenção de resíduos devem ser inteligentes e devem levar em conta o sistema como um todo. Isso significa que a introdução de embalagens leves não conduzirá necessariamente a uma redução do impacto ambiental das embalagens. Em determinadas circunstâncias, uma redução significativa dos materiais das embalagens pode ter graves consequências para todo o balanço energético e podem até mesmo ser diametralmente opostos aos objetivos de proteção ambiental (PRO EUROPE, 2004). Uma visão simplista da

embalagem, mas muito popular, sugeriria que quanto menos embalagem, melhor. A conclusão lógica levaria a assumir que menos embalagem significa usar menos recursos. Entretanto, uma das funções fundamentais da embalagem é proteger os recursos. Assim, um equilíbrio delicado deve ser encontrado entre a quantidade de recursos usados na embalagem e os recursos economizados pela proteção que ela proporciona.

Esse conceito se chama ‘Paradoxo da Embalagem’. Ao se investir na embalagem são utilizados recursos para que os materiais de embalagem e as atividades relacionadas protejam o produto contido em seu interior, mesmo que depois se possa reutilizar, reciclar ou recuperar grande parte desse investimento. Se uma quantidade excessiva de materiais for usada, isso pode levar a um ‘superinvestimento’. Por outro lado, se houver um subinvestimento na embalagem, corre-se o risco de desperdiçar recursos. Sendo assim, a embalagem deve ser vista dentro do contexto do produto embalado (FLEXIBLE PACKAGING EUROPE, 2011).

Nesse sentido, é necessário não só entender a contribuição da embalagem para um consumo e produção sustentáveis, mas também avaliar qual seria a quantidade ideal de embalagem e sua composição (ABIEF, 2014).

Erlov *et al* (2000) mostra em seu trabalho um modelo desenvolvido pela Packforsk²⁷ (Figura 13) o qual compara as consequências ambientais de subestimar e superestimar a quantidade de embalagens necessárias para um produto. O gráfico mostra que as consequências ambientais relativas às perdas de produto causadas pela redução excessiva de embalagem podem ser muito maiores que aquelas relacionadas ao excesso incremental de embalagem, proporcionado pela garantia de proteção adequada.

²⁷ Situado em Estocolmo, Packforsk é o Instituto Sueco de Pesquisa em Embalagem.

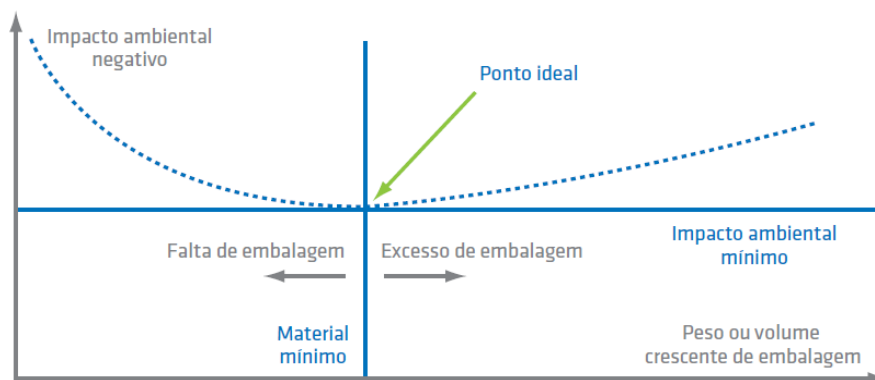


Figura 13. Comparação dos impactos da redução excessiva de embalagem com o seu excesso incremental.

Fonte: Erlov et al (2000).

O crescimento do impacto ambiental resultante do excesso de embalagem é linear. No entanto, o crescimento do impacto ambiental resultante da insuficiência de embalagem é exponencial, uma vez que está ligado ao impacto da embalagem e do produto perdido. O excesso de embalagem em 10% significa que 10% dos recursos necessários para produzir e transportar as embalagens são desnecessários e, portanto, desperdiçados. Já o excesso de redução de embalagem pode resultar em falhas na embalagem, o que normalmente leva ao desperdício de 100% dos recursos utilizados para produzir e distribuir tanto o produto como a sua embalagem (ENVIROWISE, 2008).

Além disso, às vezes, menos embalagem pode reduzir, ao invés de aumentar, a quantidade de resíduos do produto. De acordo com Twede (1995), isso ocorreu com o redesenho da distribuição de embalagens para aparelhos e equipamentos elétricos de caixas de papelão ondulado para filmes plásticos. Enquanto o filme não é tão forte como uma caixa, os trabalhadores responsáveis pelo manuseio dos materiais tendem a ser mais cuidadosos porque o produto é visível e os danos não podem ser ocultados. O resultado é menos danos ao produto e desperdício na cadeia de fornecimento.

Nesse sentido, a especificação adequada da embalagem (ponto ideal no gráfico), que não a subestime nem a superestime, é o ponto de equilíbrio entre a quantidade de material utilizada na embalagem e a proteção requerida pelo produto.

A análise dos impactos ambientais do produto deve considerar tanto o ciclo de vida da embalagem como do produto em si. Para tanto, o estudo do sistema produto-embalagem deve

avaliar os impactos ambientais decorrentes de perda de produto resultante do uso insuficiente da embalagem e o impacto (desnecessário) da utilização de embalagem em excesso.

A simplificação trazida pela análise de apenas uma ou poucas características da embalagem, como reciclável, compostável ou mudança de matéria-prima, pode resultar em um falso sentimento de que a sustentabilidade pode ser promovida por atitudes ou características isoladas. A visão da cadeia como um todo auxilia o desenvolvimento de embalagens orientado pela sustentabilidade do sistema produto-embalagem e evita o aumento de impactos ambientais em outras etapas do ciclo de vida (KARASKI *et al*, 2016).

6.2 Resumo e Análises

As iniciativas de inovação descritas são organizadas no *Quadro 3* no intuito de resumir e analisar os principais aspectos discutidos na descrição das práticas. Elas foram classificadas de acordo com seu atual grau de penetração na cadeia produtiva, que varia entre a escala de demonstração, piloto e comercial. Também foram classificadas quanto ao grau de maturidade. Para isso, foi utilizado como critério o estágio de desenvolvimento de cada inovação, ou seja, se a iniciativa já está contribuindo efetivamente para aumentar a circularidade da cadeia. Iniciativas de inovação em fase de incubação são consideradas aquelas nas quais a tecnologia encontra-se em escala laboratorial ou demonstração, ou que possuem poucas empresas envolvidas na pesquisa para seu desenvolvimento, pouca ou nenhuma informação sobre seus aspectos mercadológicos, possíveis impactos no fluxo de materiais da cadeia, entre outros. Aquelas que se encontram em um estágio de desenvolvimento no qual essas questões mais prementes já foram avaliadas, se encontram em escala comercial ou pelo menos em escala piloto, foram categorizadas como iniciativas em fase de amadurecimento. Finalmente, as iniciativas de inovação estabelecidas, são aquelas que se encontram em escala comercial, possuem aceitação do mercado, são utilizadas por várias empresas e em diferentes produtos, entre outros.

Além do grau de maturidade, as iniciativas foram classificadas quanto à natureza das dificuldades para sua expansão/escalamento e, finalmente, quanto ao principal impacto gerado na estrutura da cadeia com o desenvolvimento da inovação.

Quadro 3. Classificação das Iniciativas Circulares quando ao seu grau de penetração, maturidade, natureza das dificuldades para expansão/escalamento e o principal impacto gerado na estrutura da cadeia.

Iniciativa	Grau de Penetração	Maturidade	Natureza das Dificuldades para expansão/escalamento	Principal impacto gerado na estrutura da cadeia
PET verde	Escala Piloto (PTA) Escala Comercial (MEG)	Fase de Amadurecimento	Tecnológica/ Econômica	Entrada de novos fornecedores
PEF	Escala Demonstração	Fase de Amadurecimento	Tecnológica/ Econômica	Entrada de novos fornecedores e possibilidade de adaptações no processamento <i>downstream</i>
PTF	Anúncio para Escala Piloto	Fase de Incubação	Tecnológica/ Econômica	Entrada de novos fornecedores e possibilidade de adaptações no processamento <i>downstream</i>
Ref PET	Escala Comercial	Estabelecido	Tecnológico/ Coordenação	Especialização do canal logístico reverso
Bottle-to-Bottle	Escala Comercial	Estabelecido	Regulatória	Reciclador transformador assume importante papel no <i>upstream</i> como fornecedor de matéria-prima secundária
Rótulos Comutáveis	Escala Comercial	Estabelecido	Econômica	Ampliação da reciclabilidade e qualidade do material reciclado
Garrafas e tampas de gramatura reduzida	Escala Comercial	Estabelecido	Econômica/ Operacional	Impactos distribuídos ao longo da cadeia. Envolve adaptações de todos os agentes.

Fonte: Elaboração própria

Além das variáveis analisadas no Quadro 3, para atender ao objetivo específico (OE3) desta pesquisa, o Quadro 4 foi pensado na busca de uma visão abrangente a respeito das inter-relações entre os modelos de negócio circulares, as iniciativas sobre as quais são estruturados esses modelos e o agente chave da cadeia para o desenvolvimento de cada inovação.

Quadro 4. Modelos de Negócio Circulares X Cadeia produtiva da embalagem PET X Iniciativas Circulares

	UPSTREAM				MIDSTREAM	DOWNSTREAM		
	Fornecedores de Matéria-prima e Serviços	Produtor de resina	Designer de Produtos	Fabricante de Embalagem	Engarrafadora de bebidas	Varejista	Consumidor Final	Reciclador
Insumos Circulares	PET verde PEF PTF				PET verde PEF PTF			
Extensão do Ciclo de Vida					<i>Ref PET</i>			
Recuperação de Recursos			Tecnologias de Rotulagem					<i>Bottle-to-Bottle</i>
Plataforma de Compartilhamento								
Produto como Serviço								
Redesign para Redução de Materiais			Mini Tampa Garrafas de gramatura reduzida					

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 4 mostra que, tratando-se da cadeia produtiva das embalagens PET, somente três dos modelos propostos por Lacy e Rutqvist (2014) se aplicam. São eles: Insumos Circulares, Extensão do Ciclo de Vida do Produto e o modelo de Recuperação de Recursos. Conforme discutido no primeiro capítulo, a EC é específica e a economia e atratividade relativa das diferentes estratégias de *design* e modelos de negócio circulares variam significativamente para diferentes produtos, cadeias e mercados, devido às suas peculiaridades. Portanto, a adoção de um único modelo ou uma combinação deles, dependerá das características de cada negócio.

Quando associados aos modelos de negócio circulares identificados por Lacy e Rutqvist (2014), o que se percebe é que as iniciativas de inovação em embalagens plásticas abarcam toda a cadeia de valor, desde o *upstream* ao *downstream* da cadeia, em níveis de matéria-prima, produto e recuperação. Ou, ainda, pode-se pensar em termos de Concepção, Uso e Pós-consumo. Isso pode ser um indicativo de que existe um esforço conjunto por parte dos elos em promover a estratégia circular, com base na função em que cada um deles desempenha ao longo da cadeia.

No que tange as iniciativas como a Mini Tampa e a Garrafa de Gramatura Reduzida, é relevante considerar um novo modelo de negócios, não previsto pelas referências, e que seria importante nas cadeias que fazem uso intensivo de materiais como os plásticos. São práticas que envolvem a redução do consumo de recursos, sejam oriundos de matéria prima fóssil ou não. O objetivo é fazer com que o *design* circular permita que menos recursos sejam exigidos no fabrico das embalagens sem que suas funções sejam alteradas.

Conforme visto na descrição das iniciativas, a decisão de reduzir a quantidade de insumos empregados na fabricação de uma embalagem plástica necessariamente envolverá toda a cadeia, que deve se adaptar a partir de um esforço conjunto. Adaptações são necessárias em todos os níveis. O fornecedor da resina deve se adequar à capacidade do fabricante de embalagem de produzir mais embalagens com a mesma quantidade de resina. Adaptações no maquinário, desde a movimentação, lavagem e envase até o fechamento, agrupamento e empilhamento no armazém. Essa adaptação envolve, ademais, a aceitação do próprio consumidor, uma vez que existe um preconceito do público em relação às garrafas leves, por serem muito maleáveis e passarem a sensação de fragilidade ou de qualidade inferior.

Diante do exposto, é de se ponderar que iniciativas como a Mini Tampa e Garrafas de Gramatura Reduzida sejam capazes de estruturar um novo modelo, que pode ser muito desafiador para a cadeia, tanto do ponto de vista tecnológico quanto logístico, operacional e da estruturação. Apoiado nisso, propõe-se um sexto modelo de negócio circular: **Redesign para Redução de Materiais**.

Cabe ressaltar que, diante de iniciativas tão distintas, parece não haver uma solução melhor e única, mas várias delas, adequadas a cada circunstância e interligadas num sistema conjunto. Ademais, nota-se que as iniciativas identificadas são abordagens interdependentes. Atentar-se para qualquer uma delas necessariamente envolverá o desenvolvimento das demais.

Nesse sentido, pode-se dizer que os modelos de negócios circulares da cadeia da embalagem PET não se sustentam por si só, uma vez que a cadeia tem buscado uma combinação dos mesmos em seus negócios.

Deve-se destacar, todavia, que a escolha dos modelos de negócio ideais e a estratégia de implementação desses modelos requer um olhar mais profundo e refinado.

Durante as entrevistas, foi possível perceber que ainda não há alinhamento no que tange às escolhas desses modelos de negócio circulares, uma vez que em alguns casos as iniciativas entram em conflito, tornando-as não tão circulares como parecem.

Alguns exemplos da falta de coordenação desses modelos por parte dos atores da cadeia merecem ser destacados.

As garrafas retornáveis, por exemplo, embora apresentem o benefício de poupar materiais, trazem consigo um grande desafio. Se por um lado a reutilização da *Ref* PET permite a extensão do ciclo de vida de um produto através da recirculação de uma mesma embalagem em torno de 28 vezes no ciclo, por outro, a tecnologia utilizada nos rótulos não permite que essas garrafas sejam recicladas no final da vida útil, o que equivale a um desperdício de material no final dos 28 ciclos. Para viabilizar a lavagem e descontaminação dessas embalagens durante os 28 ciclos de uso, os rótulos são impressos na garrafa. Porém esse sistema acaba impedindo o processo de reciclagem, uma vez que o rótulo impresso se torna um contaminante no final dos ciclos. Dessa forma, essas garrafas são recicláveis, ou seja, são aptas ao processo de reciclagem, mas não são recicladas devido ao sistema de rotulagem. A ineficiência é agravada devido à natureza da função das *Ref* PET's. Como devem ser retornáveis, e, portanto, mais resistentes, valem-se de gramatura superior (maior emprego de resina) quando comparada a uma garrafa comum. Neste caso, percebe-se que o modelo de Extensão do Ciclo de Vida não está ajustado ao modelo de Recuperação de Recursos.

Outro problema também identificado diz respeito às garrafas de gramatura reduzida. Essas garrafas são provenientes de pré-formas mais leves, e, por isso, representam o modelo de Redesign para redução de materiais. Apesar disso, essas embalagens acabam sendo eliminadas na linha de recuperação. É equivocado pensar ser mais fácil a reciclagem de frascos diáfanos, em regra enaltecidos pelo seu verde apelo sustentável. Sua reciclagem é dificultada pela espessura reduzida. Os equipamentos hoje utilizados para a moagem de garrafas PET e os tanques de segregação de rótulos e tampas foram concebidos para lidar com frascos rígidos e, depois de moídos, alguns desses recipientes leves geram partículas que se comportam como filmes, complicando a operação dos moinhos e da triagem por diferença de densidade (BARBOSA JUNIOR, 2016). Este é um exemplo de que o modelo circular de Redesign para redução de materiais não está alinhado ao modelo de Recuperação de Recursos.

Nesse sentido, para que a economia da cadeia da embalagem PET se torne mais circular é necessário que, em um primeiro momento, os atores compreendam verdadeiramente como utilizar os recursos. Os elos precisam identificar exatamente onde e que tipos de energia e materiais estão embutidos em cada produto e como os consumidores usam e descartam esses recursos. Tal cuidado deve-se ao fato de a cadeia estar vulnerável tanto às restrições de recursos e os riscos associados a essas restrições, quanto às ineficiências de produção, uso ou deposição.

Finalmente, destaca-se o potencial que os modelos de negócio circulares têm para transformar não só a cadeia da embalagem PET, mas cadeias produtivas tradicionais. A estruturação desses modelos requer o redesenho de sistemas complexos, com colaboração e compartilhamento de conhecimento entre todos os *stakeholders*. Assim, a adoção desses novos modelos de negócio sugere novos papéis e responsabilidades para os atores da cadeia, tanto *upstream* quanto *downstream*.

No *upstream* da cadeia produtiva, a estrutura pode ser alterada com a entrada de novos fornecedores. No modelo de negócio “Insumos Circulares”, por exemplo, a exigência por matéria prima alternativa à fonte fóssil incluirá, naturalmente, os fornecedores desses materiais renováveis para a cadeia. Assim, nota-se a entrada de fornecedores de insumos alternativos, atores que na perspectiva linear não teriam papel estabelecido na cadeia.

Além do fornecedor de insumos alternativos, o reciclador, elo final da cadeia, também passa a alimentar o próprio sistema, fechando o ciclo. Neste caso, ele acaba desempenhando um importante papel, tanto *upstream* quanto *downstream*. Dessa forma, no modelo simbiótico da cadeia de suprimentos circular, pode-se afirmar que os *players* têm se tornado tanto compradores como fornecedores da cadeia, passando a ocupar, portanto, uma posição de maior equilíbrio em termos de poder econômico.

No *downstream* da cadeia, os atores passam a assumir novas responsabilidades. Devem analisar seu atual fluxo de resíduos para identificar oportunidades de reduzir o desperdício ou reutilizá-lo em formas de agregar valor. Segundo Weetman (2016), também devem criar um sistema de monitoramento que lhes permita rastrear os subprodutos e resíduos. Estes não devem ser vistos como rejeitos, mas como algo que poderia ser usado de forma produtiva de outras maneiras²⁸. Constata-se, dessa maneira, um aprimoramento dos processos e da estrutura de gestão dos negócios no *downstream* da cadeia. Ademais, a partir das visitas técnicas realizadas, foi possível observar que a adoção do modelo de Recuperação de Recursos e, portanto, de iniciativas como a *Bottle to Bottle*, torna os processos mais especializados e a gestão do negócio das unidades produtivas melhor estruturada. De acordo com Conceição (2016) isso acontece

²⁸ Resíduo: Material ou bem descartado resultante de atividades de consumo. Rejeito: Resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Há uma hierarquia: o primeiro deve ser reutilizado ou reciclado, e apenas o segundo é passível de ser disposto em aterro ou incinerado para geração de energia. Fonte: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm.

porque para que se cumpram os requisitos necessários no processo de recuperação das embalagens em um ciclo fechado (de garrafa a garrafa), alguns empreendimentos passam a obter certificações de qualidade, como a NBR ISO 9001 (2014).

Capítulo 7

7. Conclusões e comentários finais

Através de uma perspectiva de eficiência no uso dos recursos, seria imprescindível retornar à cadeia produtiva tudo o que já não tem mais utilidade, em um ciclo fechado, a fim de que a energia e os recursos naturais já empregados não sejam perdidos. Neste contexto, o viés econômico traçado pela Economia Circular, tem estimulado os atores da cadeia produtiva da embalagem plástica a se adequarem às novas práticas de gestão, descortinando novas oportunidades de criar e preservar o valor a partir do que até então seria considerado resíduo. Em que pese isso, o atual estado de implementação dos modelos de negócio circulares na cadeia produtiva das embalagens PET ainda não responde a contento.

Embora seja possível identificar esforços de inovação pelos agentes da cadeia, a atual estrutura de implementação dessas práticas ainda é muito fragmentada. A falta de normas e de coordenação na cadeia de valor tem permitido uma proliferação de materiais, formatos, rotulagem, dimensões, sistemas de classificação e reprocessamento. Em seu conjunto, a pluralidade desses aspectos nas embalagens plásticas, permitem que elas apresentem propriedades únicas e ciclos de vida específicos, afetando o desenvolvimento circular desse mercado.

A falta de padronização na concepção das embalagens PET, por exemplo, torna complexo o processo de revalorização desse material. Isso porque o desenvolvimento e o lançamento de novos materiais plásticos e formatos para embalagens nas cadeias de suprimento e distribuição têm ocorrido muito mais rapidamente que o desenvolvimento e a implantação da infraestrutura pós uso. Embora as tecnologias de revalorização estejam evoluindo, a viabilidade econômica fica ameaçada diante das características incorporadas pelos fabricantes às embalagens PET.

Tendo em vista essa percepção e o fato de que essas iniciativas de inovação estão estruturando os modelos de negócio circulares na cadeia produtiva da embalagem PET, pode-se concluir que esse movimento está descoordenado. Foram identificados quatro modelos em desenvolvimento nessa cadeia - Insumos Circulares, Extensão do Ciclo de Vida, Recuperação de Recursos e Redesign para Redução de Materiais -, e foi demonstrado que eles não se sustentam por si só, e que, em razão disso, os atores têm buscado alternativas.

A dinâmica de estruturação repousa no fato de que esses modelos circulares, quando adotados de forma combinada, constituindo um processo mais complexo, permitem maior captação/geração de valor, uma vez que os *players* podem controlar um escopo mais amplo da cadeia produtiva. Destacou-se, também, que esse controle permite a eles a proteção do valor, tanto no *upstream* quanto no *downstream* da cadeia, e assegura que os próprios agentes possam colher os benefícios de seus investimentos.

Entretanto, foi constatada uma severa falta de colaboração estendida entre os elos da cadeia, concluindo-se que estes devem rever seu modelo de governança para impulsionar o comportamento interno adequado.

A superação dessas desvantagens acena como uma oportunidade: aumentar a eficácia dos sistemas para obter melhores resultados econômicos e ambientais, mantendo os muitos benefícios das embalagens plásticas. Ademais, a pesquisa revelou que a EC revela excelentes perspectivas na cadeia da embalagem plástica, enquanto fonte de inovação para produtos, processos e modelos de negócio, permitindo vantagens competitivas num mercado dinâmico e global.

Por fim, deve ser destacado que esta pesquisa pretende contribuir para o enriquecimento da discussão a respeito do desenvolvimento da cadeia produtiva das embalagens plásticas, em especial o PET, sob a perspectiva da Economia Circular. Todavia, a transição para esse novo modelo econômico ainda é um processo em curso. Assim, diante deste cenário ainda tão fluido, este trabalho pretende oferecer apenas informações iniciais e não respostas definitivas. Para tanto, estudos futuros devem ser realizados e as limitações presentes nesta dissertação devem ser revistas.

Conforme previsto na metodologia, ao se escolher um estudo de caso como estratégia de pesquisa a possibilidade de fazer generalizações fica restrita. No caso desta pesquisa, o próprio caráter específico do conceito fez com que fosse necessário desenhar limites até que o foco se concentrasse especificamente no segmento de embalagens plásticas do tipo PET. Assim, embora grande parte da discussão e conclusão do estudo atendam aos plásticos em geral, alguns pontos discutidos não se aplicam a outras resinas termoplásticas, por exemplo. Por outro lado, a escolha do método de estudo de caso permite o refino da teoria e a sugestão de complexidades para futuras investigações. Nesse sentido, sugere-se que outras resinas sejam estudadas assim como o PET o foi neste trabalho.

Uma segunda limitação repousa no fato de que as discussões aqui colocadas são consonantes com o momento atual. Evoluções na tecnologia, hábitos de consumo e parâmetros regulatórios por exemplo, são capazes de alterar os resultados e conclusões. Assim, é possível que esta mesma pesquisa, realizada em outro momento ou abrangendo outro horizonte temporal, conduza a discussões muito diversas das que foram abordadas aqui, principalmente se adotada a metodologia de estudo de caso. Sugere-se, portanto, para trabalhos futuros, um acompanhamento da evolução desses MNC na cadeia da embalagem plástica.

Finalmente, a terceira limitação refere-se ao fato de que durante todo o desenvolvimento da pesquisa considerou-se que os plásticos são sempre a melhor alternativa – no sentido de cumprir a função da embalagem causando o menor impacto possível - quando se trata da variedade de materiais disponíveis para embalagens. Entretanto, pode ser que em alguns casos o uso de materiais alternativos seja mais circular quando comparado aos plásticos (por exemplo as embalagens retornáveis de vidro ao invés das *Ref* PETs). Quanto a esta limitação, sugere-se que sejam conduzidos estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV) para cada caso, comparando o grau de circularidade entre cada uma das alternativas.

Referências Bibliográficas

- ABDELKAFI, N.; TAUSCHER, K. Business Models for Sustainability From a System Dynamics Perspective. **Organization & Environment**, v. 29, p. 74-96. 2016.
- ABIEF (Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis). **A Escolha Perfeita: Soluções Flexíveis para a Indústria de Embalagens mais Sustentável**. 2014.
- ABIPET (2012) - **Oitavo Censo de Reciclagem de PET no Brasil**. Disponível em: <www.abipet.org.br>.
- ABIPET (2013a) - **Nono Censo de Reciclagem de PET no Brasil**. Disponível em: <www.abipet.org.br>.
- ABIPET (2013b). **Panorama do Setor**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=36>>. Acesso em: março 2016.
- ABIPET (2016) - **Décimo Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. Disponível em: <www.abipet.org.br>
- ABIPET (2017) - Associação Brasileira da Indústria do PET. **Resina PET - História**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=46>>. Acesso em: julho 2017.
- ABIPLAST (2016) – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2016**. 42 p. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/publicacoes>>. Acesso em julho 2017.
- ACCENTURE. **From rhetoric to reality. The Circular Economy Index of Dutch Businesses**. 2016. Disponível em: <<https://www.circle-economy.com/the-circular-economy-index-from-rhetoric-to-reality/>>. Acesso em: maio 2016.
- AFUAH, A.; **Business Models: A Strategic Management Approach**. 1 ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2004.
- ALPEK. (2017). **Alpek obtained corporate approvals for the acquisition of Petroquímica Suape and Citepe**. Disponível em: <<http://www.alpek.com/news-press.html>>. Acesso em: julho 2017.
- ANJOS, C. A. R. Pode ser a gota d'água: Leveza abusiva da garrafa periga afetar imagem de marcas de água mineral. **Plásticos em Revista**. São Paulo, n. 630, p. 10, outubro 2016. Mensal.
- ANTIKAINEN, M.; VALKOKARI, K. A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. **Technology Innovation Management Review**, v. 6, julho 2016.
- ANVISA. **Uso de PET reciclado em embalagens e outros materiais destinados ao contato com alimentos**. Informe Técnico nº 71, de 11 de fevereiro de 2016. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/alimentos/produtos/embalagem>>. Acesso: abril 2017.
- ARORA, A. *et al*; **Chemicals and Long-Term Economic Growth: Insights from the Chemical Industry**. Canada: John Wiley & Sons, 2000.

ASHBY, M. F. **Materials and Sustainable Development**. 1ª ed. Oxford, UK. Butterworth-Heinemann. 2016.

ATKINSON, G. Measuring corporate sustainability. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 43, p. 235–252, 2000.

AVANTIUM (2017). **YXY technology**. Disponível em: <<https://www.avantium.com/yxy/>>. Acesso em: Junho 2017.

AVERY DENNISON. 2012. **Simplificando o caminho para a reciclagem B2B - bottle to bottle (garrafa a garrafa)**. Disponível em: <https://label.averydennison.com.br/.../pt.../AVERD035_Brochure%20port%208.pdf>. Acesso em: junho 2017.

AYRES, R. U., SIMONIS, U. E. **Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development**. United Nations University, Tokyo. United Nations University Press. 1994.

BAKKER, C. A.; HOLLANDER, M. C. **Products That Last - Product Design for Circular Business Models**. 1 ed. TU Delft Library/Marcel den Hollander IDRC: Delft, The Netherlands, 2014.

BAKKER, C. *et al.* Products that go round: Exploring product life extension through design. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 10-16, 2014.

BAKKER, P. *et al.* **The Netherlands Circular Hotspot**. Mgmt. Scope, abril 2016.

BARBOSA JUNIOR, I. B. Pode ser a gota d'água. **Plásticos em Revista**, São Paulo, n. 630, p. 6-13, outubro 2016. Mensal.

BARTL, A. **Circular Economy: Cycles, Loops and Cascades**. Vienna, Austria, 48 p. 2015.

BASF. (2016). **Synvina: Joint venture of BASF and Avantium established**. Disponível em: <<https://www.basf.com/en/company/news-and-media/news-releases/2016/10/p-16-322.html>>. Acesso em: junho 2017.

BASTEIN, T. *et al.*; **Opportunities for a Circular Economy in the Netherlands**. The Netherlands, 2013.

BAUMGARTNER, R. J.; Organizational culture and leadership: preconditions for the development of a sustainable corporation. **Sustainable Development**, v. 17, p. 102–113, 2009.

BEATTIE, V., SMITH, S. J.; Value creation and business models: refocusing the intellectual capital debate. **The British Accounting Review**, v. 45, n. 4, p. 243–254, 2013.

BENTON, D.; HAZELL, J. **Resource resilient UK: A report from the Circular Economy Task Force**. Green Alliance. London, 2013.

BENYUS, J. M. **Biomimicry: Innovation inspired by nature**. New York: Harper Perennial, 2002.

BEROE CONSULTING. **Beroe – The Future os Procurement Intelligence. Recycling of PET – A Potential Game Chancer**. (2014). Disponível em: <<http://eliteconferences.com/wp-content/uploads/2014/08/P.pdf>>. Acesso em: novembro 2016.

BIOBASED PRESS. **More biobased plastics for bottles: DuPont announces PTF**. 2016. Disponível em: <<https://www.biobasedpress.eu/2016/02/more-biobased-plastics-for-bottles-dupont-announces-ptf/>>. Acesso em: julho 2016.

BIOFUELS DIGEST, 2016. **DuPont Industrial Biosciences, ADM find “breakthrough process” for a “long-sought molecule”**. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/01/19/dupont-industrial-biosciences-adm-find-breakthrough-process-for-a-long-sought-molecule/>>. Acesso em: julho 2017.

BIOFUELS DIGEST, 2017. **Sugar, sugar: Toray, Mitsui set out to build monster cellulosic sugar plant in Asia**. Disponível em: <<http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/01/16/sugar-sugar-toray-mitsui-set-out-to-build-monster-cellulosic-sugar-plant-in-asia/>>. Acesso em: julho 2017.

BLÉRIOT, J. Circular supply chains. 2016. Disponível em: <<http://treasurytoday.com/2016/03/circular-supply-chains-ttqa>>. Acesso em: fevereiro 2017.

BOATRRIGHT, J. R.; Business ethics and the theory of the firm. **American Business Law Journal**, v. 34, p. 217–238, 1996.

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.

BOCKEN, N.M.P. *et al.* A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 42-56, 2014.

BOHNSACK, R. *et al.* Business models for sustainable technologies: exploring business model evolution in the case of electricvehicles. **Research Policy**, v. 43, p. 284–300, 2014.

BOONS, F.; LÜDEKE-FREUND, F. Business models for sustainable innovation: State-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 9–19, 2013.

BOULDING, K. E. **The economy of the coming spaceship earth**. In H. Jarrett (ed.) 1966. Environmental Quality in a Growing Economy, p. 3-14. Baltimore, MD: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.

BOURGUIGNON, D.; **Closing the loop: New circular economy package**. European Parliamentary Research Service. 2016. Disponível em: <<https://epthinktank.eu/2016/01/07/closing-the-loop-new-circular-economy-package/>>. Acesso em: dezembro 2016.

BOWER, J. L.; CHRISTENSEN, C. M. Disruptive Technologies - Catching the Wave. **Harvard Business Review**. 1. ed. v. 73, p. 43-53. 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos. Catadores de Materiais Recicláveis**. [ca. 2013]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis>>. Acesso em: 10 maio 2017.

BRASIL. **Resolução n. 105, de 19 de maio de 1999**. Aprova os Regulamentos Técnicos: Disposições Gerais para Embalagens e Equipamentos Plásticos em contato com Alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 20 de maio de 1999.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. North Point Press, 2002.

BROCKLEHURST, M. **Circular Economy: Trends and emerging ideas**. Vienna, Austria. 2015. 48 p.

BURKHART, T. *et al.* A comprehensive approach towards the structural description of business models. In: **Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems MEDES '12**, ACM Press, New York, New York, USA, p. 88, 2012.

CANELOI, T. P. **Reciclagem e políticas públicas: a questão da tributação dos materiais recicláveis e reciclados**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

CAPRA, F. **The Web of Life: a New Scientific Understanding of Living Systems**. New York, Anchor Books, 1995.

CASADESUS-MASANELL, R.; RICART, J. E.; From strategy to business models and onto tactics. **Long Range Planning**, v. 43, p. 195–215, 2010.

CAZZARO, E. Pode ser a gota d'água: Leveza abusiva da garrafa periga afetar imagem de marcas de água mineral. **Plásticos em Revista**. São Paulo, n. 630, p. 8, outubro 2016. Mensal.

CEMPRE (2015) - Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Review 2015**. São Paulo, SP. 35 p. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso: agosto 2016.

CHABBA, A. P. S.; **Blue Economy! What is it?**. 2013. Disponível em: <<https://en.reset.org/blog/blue-economy-what-it>>. Acesso em: maio 2016.

CHIARONI, D., CHIESA, V. **La rivoluzione possibile che va oltre il riciclo**. 2014. Disponível em: <<http://www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2014-11-04/la-rivoluzione-possibile-che-va-oltre-riciclo-114618.shtml?uuid=ABm2fAAC>>. Acesso em: dezembro 2016.

CHIU, A. S. F., YONG, G. On the industrial ecology potential in Asian Developing Countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 1037-1045, 2004.

CHRISTENSEN, C. M. *et al.* Inovação disruptiva para a mudança social. **Harvard Business Review Brasil**, dezembro 2006. Disponível em: <<http://hbrbr.com.br/inovacao-disruptiva-para-a-mudanca-social/>>. Acesso em: 05 jul. 2016.

CHRISTENSEN, T. H. **Solid Waste Technology & Management**. United Kingdom. Blackwell Publishing Ltd. 2011.

CIRCLE ECONOMY e MVO NEDERLAND. **The potential for high-value reuse in a circular economy**. Nederland Circulair!. [S. l.], 2015.

COASE, R. H.; The nature of the firm. **Economica**, v. 4, p. 386–405, 1937.

COCA-COLA BRASIL, 2015. **Relatório de Sustentabilidade 2014-2015**. Disponível em: <<http://www.cocacolabrasil.com.br/sustentabilidade>>. Acesso: outubro 2016.

COCA-COLA BRASIL, 2016. **Embalagens: como minimizamos o nosso impacto desde a concepção até o descarte final**. Disponível em: <<http://www.cocacolabrasil.com.br/historias/relatorio-de-sustentabilidade-2014-2015-embalagens>>. Acesso em: janeiro 2017.

COCA-COLA ENTERPRISES, 2016. **Corporate Responsibility & Sustainability Report, 2015 – 2016**. Atlanta, Geórgia. Disponível em: <<https://www.cokecce.com/sustainability/2015-2016-corporate-responsibility-sustainability-report>>. Acesso: maio 2017.

COCA-COLA, 2017. **Open Happiness in a Happier Bottle.**

COCA-COLA. (2017). **Open Happiness in a Happier Bottle.** Disponível em: <<http://www.coca-colacompany.com/plantbottle-technology>>. Acesso: julho 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Livro Verde: sobre uma estratégia europeia para os resíduos de plástico no ambiente.** Bruxelas, 2013. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0123>>. Acesso em: abril 2016.

CONCEIÇÃO, R. D. P.; A cadeia de reciclagem de pet pós-consumo e as definições de suas etapas: um estudo de caso no Rio de Janeiro. **RBCIAMB.** n 39, p. 80-96, 2016.

COSTANZA, R. **Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability.** New York, Columbia University Press, 1991.

DAMEN, M. A. **A Resources Passport for a Circular Economy.** Master's Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 2012.

DaSILVA, C. M., TRKMAN, P.; Business model: what it is and what it is not. **Long Range Planning**, v. 47, p. 379–389, 2014.

DATAMARK. **PET: Técnica de transformação evolui e reduz consumo de resina por unidade.** 2016. Disponível em: <<https://www.datamark.com.br/noticias/2016/7/pet-tecnica-de-transformacao-evolui-e-reduz-consumo-de-resina-por-unidade-209957/>>. Acesso em: maio 2017.

DATAMARK. **PET: transformation technique evolves and reduce resin consumption per unit.** 2016. Disponível em: <<http://www.datamark.com.br/en/news/2016/7/pet-transformation-technique-evolves-and-reduce-resin-consumption-per-unit-210029/>>. Acesso em: julho 2017.

DE GROENE ZAAK e ETHICA. **Boosting Circular Design for a Circular Economy.** A joint report by De Groene Zaak and Ethica. [S. l.], 2015.

DELLI GATTI, D.; GALLEGATI, M. **Macroeconomia: fatti, teorie, politiche.** 3ª ed. Torino, Giappichelli, 306 p., 2013.

DEMIL, B.; LECOCQ, X.; Business model evolution: in search of dynamic consistency. **Long Range Planning**, v. 43, p. 227–246, 2010.

DEMIL, B.; LECOCQ, X.; Business models evolution: towards a dynamic consistency view of strategy. **Univ. Bus. Rev.**, p. 86–107, 2009.

DEMSETZ, H.; The theory of the firm revisited. **Journal of Law, Economics, and Organization**, v. 4, p. 141–162, 1988.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S.; **Handbook of Qualitative Research.** 2 ed. Thousand Oaks, Califórnia: Sage Publications, 2000.

DERVOJEDA *et al.* **Clean Technologies: Circular supply chains.** Case study 30. Business Innovation Observatory. PwC Luxembourg, setembro 2014.

DeSIMONE, L. D.; POPOFF, F. **Eco-efficiency: The Business Link to Sustainable Development.** MIT Press, 2000.

- DUARTE, J.; BARROS, A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Comunicação**. Editora Atlas, 2006.
- DYLLICK, T.; HOCKERTS, K.; Beyond the business case for corporate sustainability. **Business Strategy and the Environment**, v. 11, n.2, p. 130-141, 2002.
- EL-HAGGAR, S. **Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to Cradle for Sustainable Development**. Amsterdam, The Netherlands: Academic Press, 2007.
- ELKINGTON, J. Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. **California Management Review**, v. 36, p. 90-100, 1994.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015a). **Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 02 maio 2016.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015b). **Rumo à Economia Circular: O Racional de Negócio para Acelerar a Transição**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 02 maio 2016.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015c). **Delivering the circular economy: a toolkit for policymakers**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 02 maio 2016.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2016). **The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 02 maio 2016.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. (2013). **Towards a Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector**. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 06 julho 2017.
- EMBALAGEM & TECNOLOGIA. **Bioleve: A empresa aposta em garrafas sustentáveis**. Editora Casa Grande, São Bernardo do Campo, SP, ed. nº 12, p. 30. 2015.
- ENVIROWISE. **Packguide: a guide to packaging eco-design**. 2008. Disponível em: <<http://www.incpn.org/docs/PackGuide.pdf>>. Acesso em Agosto 2016.
- ERKMAN, S. Industrial ecology: An historical view. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, p. 1-10, 1997.
- ERLOV *et al.* **Packaging: A Tool for the Prevention of Environmental Impact**. Packforsk, Sweden. 2000.
- ERNST & YOUNG. **Are you ready for the circular economy? The necessity of an integrated approach**. 2015.
- EUROPEAN BIOPLASTICS ASSOCIATION. **Fact Sheet. What are bioplastics? Material types, terminology, and labels – an introduction**. European Bioplastics, Berlin. 2016.
- EUROPEAN BIOPLASTICS. (2016). **Global Production capacities of bioplastics 2021**. Disponível em <http://www.european-bioplastics.org/news/publications/>. Acesso: julho 2017.
- EUROPEAN COMMISSION, 2011. **Plastic Waste: Ecological and Human Health Impacts**, p. 1.

EUROPEAN COMMISSION, 2014a. **Report on Critical Raw Materials for the EU, Report of the Ad Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/>>. Acesso em: abril 2016.

EUROPEAN COMMISSION, 2014b. **Scoping study to identify potential circular economy actions, priority sectors, material flows and value chains**. Luxembourg. Publications Office of the European Union. 219 p. Disponível em: <<https://publications.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/0619e465-581c-41dc-9807-2bb394f6bd07>>. Acesso: março 2016.

EUROPEAN COMMISSION, 2014c. **Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf>>. Acesso em: outubro 2016.

FISCHER, C. *et al*; **Overview of the use of landfill taxes in Europe**. European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production. Copenhagen Resource Institute, 2012. Disponível em: <http://scp.eionet.europa.eu/publications/WP2012_1>. Acesso em: julho 2017.

FLEXIBLE PACKAGING EUROPE (FPE). **The Perfect Fit: flexible solutions for a more sustainable packaging industry**. *Futerra sustainability communications*. 2011.

FLYNN, B., MORITA, M.; MACHUCA, J. **Managing global supply chain relationships: operations, strategies and practices**. Hershey: IGI Global, 2011.

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*. Call for papers: towards post fossil carbon societies: regenerative and preventative eco-industrial development. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 4-6, 2014.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, p. 231-239, 2008.

GEORGESCU-ROEGEN, N. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harward University Press. Cambridge, Massachusetts. 1971.

GHISELLINI, P. *et al*. 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.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

GREENBIZ & UPS. **The Growth of the Circular Economy**. UPS/GreenBiz Research Study. 2016.

GUZMAN, D. **PEF to be integrated in European PET recycling**. 2017. Disponível em: <<https://greenchemicalsblog.com/2017/05/24/pef-to-be-integrated-in-european-pet-recycling/>>. Acesso em: julho 2017.

HAWKEN, P. *et al*. **Natural capitalism: Creating the next industrial revolution**. Boston: Little, Brown & Company, 2000.

- HAZELL, J. **The Circular Economy: Big in Japan**. 2013. Disponível em: <<https://greenallianceblog.org.uk/2013/02/07/the-circular-economy-big-in-japan/>>. Acesso em: 10 dezembro 2016.
- HENRY, P.; **Circular Economy package – what’s in it?**. Brussels, 2016. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/seminar/1_DG_ENV_Circular_Economy_package.pdf>. Acesso em: dezembro 2016.
- HIEMINGA, G. **Rethinking Finance in a Circular Economy: Financial Implications of Circular Business Models**. ING Economics Department. Maio, 2015.
- HJORTH, P., BAGHERI, A. Navigating towards sustainable development: a system dynamics approach. **Futures**, v. 38, p. 74–92, 2006.
- HOLLIDAY, C.; SCHMIDHEINY, S.; WATTS, P.; **Walking the Talk: The Business Case for Sustainable Development**. Berrett-Koehler Publishers, 2002.
- ICIS. **M&G to keep Brazil PET plant closed, supply through one facility**. 2014. Disponível em: <<https://www.icis.com/resources/news/2014/05/20/9782923/m-g-to-keep-brazil-pet-plant-closed-supply-through-one-facility/>>. Acesso em: julho 2017.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: Dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**. Rio de Janeiro, janeiro 2017.
- IUNG, B.; LEVRAT, E. Advanced maintenance services for promoting sustainability. **Procedia CIRP**, v. 22, p. 15-22, 2014.
- JACKSON, M. C. **Systems Thinking: Creative Holism for Managers**. Wiley, p. 378, 2003.
- JAPAN PET RESIN TRADE, FIBERS, APPLICATIONS & RECYCLING. **1st Japan PET Resin Trade, Applications & Recycling Conference**. JPET 2015 Post Conference Review. (2015). Disponível em: <<http://www.cmtpetconferences.com/>>. Acesso em: novembro 2016.
- JOHNSON, M. W.; CHRISTENSEN, C. M; KAGERMANN, H. Reinventing your Business Model. **Business Review Magazine**, v. 86, n. 12, 2008.
- KARAMARKO, D; **A new kind of relationship: supplier and public procurer response to a circular economy**. 2015. 114 p. (Master Thesis in Science Sustainable Development) - Utrecht University, Faculty of Geosciences, The Netherlands, 2015.
- KARASKI, T. U. *et al.* **Embalagem e Sustentabilidade: Desafios e orientações no contexto da Economia Circular**. 1. Ed. São Paulo, SP, 2016.
- KOK, L.; WURPEL, G.; TEN WOLDE, A. **Unleashing the Power of the circular economy**. Report by IMSA Amsterdam for Circle Economy. 2013.
- KÖPNICK, H.; SCHMIDT, M. **"Polyesters", Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry**. 6 ed, Weinheim, Alemanha: Wiley-VCH, 2003.
- KOSSOY, A. *et al.* **Carbon Pricing Watch 2015: An advance brief from the State and Trends of Carbon Pricing 2015 report, to be released late 2015**. 2015. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/387741468188935412/Carbon-pricing-watch-2015->

an-advance-brief-from-the-state-and-trends-of-carbon-pricing-2015-report-to-be-released-late-2015>. Acesso em: agosto 2016.

KRONES. **Clientes brasileiros adotam cada vez mais a solução Short Height**. Krones News, n. 97, 2010. Disponível em: <<http://www.krones.com.br/Boletim/Edicao97/materia3.htm>>. Acesso: maio 2017.

LACY, P.; RUTQVIST, J. **Waste to Wealth**. The Circular Economy Advantage. 1ª ed. Londres, UK. Palgrave Macmillan. 2014.

LASZLO, E. **The Relevance of General Systems Theory: Papers Presented to Ludwig von Bertalanffy on his Seventieth Birthday**. New York, George Braziller, 213 p., 1972.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o século XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, p. 149-171, 2015.

LEWANDOWSKI, M. Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. **Sustainability**, Poland, janeiro 2016.

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.; WILLIANDER, M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. **Business Strategy and the Environment**, v. 26, p. 182-196, 2017.

LOZANO, R. Envisioning sustainability three-dimensionally. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1838–1846, 2008.

LOZANO, R.; Towards better embedding sustainability into companies' systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 25, p. 14–26, 2012.

LUZ, B.; ECHEVENGUA, C.; Gestão de Ciclo de Vida como diferencial competitivo para as empresas. In: **Gestão Empresarial para a Sustentabilidade em tempos de Mudanças Climáticas**. Editora Manolo, 2014-2015.

M&G. **Proteção Ambiental e Reciclagem**. 2017. Disponível em: <www.mg-chemicals.com.br/pt/empresa/protecao-ambiental-e-reciclagem>. Acesso em: julho 2017.

MAGERA, M.; **Os empresários do lixo**. Campinas: Átomo, 2003.

MAXIQUIM. **Gevo inaugura biorrefinaria de p-xileno para produção de bioPET**. 2014. Disponível em: <<http://www.maxiquim.com.br/site/busca.php?busca=Gevo&secao=1>>. Acesso em: julho 2017.

MENTINK, B. **Circular business model innovation: A process framework and a tool for business model innovation in a circular economy**. 2014. 168 f. (MSc thesis Industrial Ecology) - Delft University of Technology & Leiden University, 2014.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K.; The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**. 2015.

NACHMANY, M. *et al.* **The GLOBE Climate Legislation Study: A Review of Climate Change Legislation in 66 Countries**. 4 ed. London, GLOBE International e the Grantham Research Institute, London School of Economics, 2014.

NAÇÕES UNIDAS, 2014. **World Urbanization Prospects – The 2014 Revision**. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

NAÇÕES UNIDAS, 2015. **World Population Prospects - The 2015 Revision Volume II: Demographic Profiles**. Disponível em: <<http://www.un.org/en/development/desa/population/>>. Acesso em: 14 set. 2016.

NAPCOR. **National Association for PET Container Resources. Report on Postconsumer PET Container Recycling Activity in 2012**. (2013). Disponível em: <http://www.napcor.com/pdf/NAPCOR_2012RateReport.pdf>. Acesso em: novembro 2016.

NESTLÉ (2017). **Danone and Nestlé Waters Launch NaturALL Bottle Alliance with California Startup to Develop 100% Bio-Based Bottles**. Disponível em: <<http://www.nestleusa.com/media/pressreleases/nestle-waters-launch-alliance-naturall-bio-based-bottles>>. Acesso em: julho 2017.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making**. New York, John Wiley and Sons, p. 370, 1996.

OROSKI, F. A. **Modelos de Negócio e Transição de Sistemas Tecnológicos: o caso dos bioplásticos**. 2013. 195 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2013.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. **Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers**. New Jersey and Canada, John Wiley & Sons, 2010.

PAULI, G.; **The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs**. United States: Paradigm Publications, 308 p., 2010.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland. 1989.

PERTHEN-PALMISANO, B.; JAKL, T.; Chemical leasing: cooperative business models for sustainable chemicals management. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 12, p. 49-53, 2005.

PETCORE EUROPE. **Press Release Recycling Report PET 2012 - Petcore Europe: More than 60 billion PET bottles recycled 2012**. (2013). Disponível em: <<http://www.petcore.org/news/more-60-billion-pet-bottles-recycled-2012>>. Acesso em: novembro 2016.

PINHEL, J.; **Do lixo à cidadania**. Rio de Janeiro: Petrópolis, 2013.

PLANING, P. Business Model Innovation in a Circular Economy Reasons for Non-Acceptance of Circular Business Models. **Open Journal Of Business Model Innovation**, Business School, Hochschule Pforzheim University, Germany, 2015.

PLASTIC NEWS EUROPE, (2017). **Nestle and Danone teaming on bio-based PET bottles**. Disponível em: <http://www.plasticsnewseurope.com/article/20170303/PNE/170309962/nestle-and-danone-teaming-on-bio-based-pet-bottles>. Acesso em: julho 2017.

PLASTICS EUROPE, (2016). **Plastics - the Facts 2016**. Disponível em: <<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FolID=2>>. Acesso em: 26 out. 2016.

PORTER, M. E. **Competitive Strategy**. Free Press, New York, 1980.

PORTER, M. E., KRAMER, M. R.; Creating shared value. **Harvard Business Review**, p. 63-77, 2011.

POTTING, J. *et al.* **Circular economy: measuring innovation in the product chain**. English translation of the report 'Circulaire economie: Innovatie meten in de keten'. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Haia, Holanda. 2017.

POUTIAINEN, P. S.; **Designing out waste: an exploratory study of circular business models**. 2015. 87 p. Dissertação (MSc program in Management and International Business) - Aalto University, School of Business, Espoo, Finlândia, 2015.

PQS. (2017). **Complexo PQS inicia produção de resina PET**. Disponível em: <<http://www.pqspe.com.br/comunicacao/noticia/complexo-pqs-inicia-producao-de-resina-pet>>. Acesso: junho 2017.

PRAKASH *et al.* (2016). **Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“**. Disponível em: <<http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/einfluss-der-nutzungsdauer-von-produkten-auf-ihre-1>>. Acesso em: julho 2017.

PRESTON, F. A Global Redesign? Shaping the Circular Economy. **Energy, Environment and Resource Governance**. London, março 2012.

PRO EUROPE. **Effective Packaging – Effective Prevention**. Brussels, Belgium. 2004/2005.

PROCESSING MAGAZINE. **DuPont and ADM to produce FDME chemical from fructose**. 2016. Disponível em: <<https://www.processingmagazine.com/duPont-and-adm-produce-fdme-chemical-fructose/>>. Acesso em: julho 2017.

PRODUCT-LIFE INSTITUTE. **Cradle-to-Cradle**. Geneva, 2017. Disponível em: <<http://www.product-life.org/en/cradle-to-cradle>>. Acesso em: julho 2017.

RASADOR, G. J. **O peso da tributação na cadeia da reciclagem**. 2017. Disponível em: <<http://cempre.org.br/informa-mais/id/48/o-peso-da-tributacao-na-cadeia-da-reciclagem>>. Acesso em: julho 2017.

RAZZERA, E. **Oportunidades e desafios econômicos e ambientais na indústria de reciclagem do plástico**. **Mundo do Plástico**. 2016.

REES, W. E. An ecological economics perspective on sustainability and prospects for ending poverty. **Population and Environment**, v. 24, p. 15–46, 2002.

REICHEL, A. *et al.* **Circular Economy in Europe: Developing the Knowledge Base**. European Environment Agency Report. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2016.

REINHARDT, F. Sustainability and the Firm. **Interfaces (Providence)**, v. 30, p. 26–41, 2000.

REIS, L. P. A. **Ferramentas da qualidade e implantação de haccp em uma linha de produção de refrigerantes em garrafas de pet retornável**. 2016. 34 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2016.

ROBERT, K.-H. Tools and concepts for sustainable development, how do they relate to a general framework for sustainable development, and to each other? **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p. 243–254, 2000.

ROOS, G. Business Model Innovation to Create and Capture Resource Value in Future Circular Material Chains. **Resources**, v. 3, p. 248–274, 2014.

RÜTER, J. "**Polyesters**", **Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry**. 6 ed, Weinheim, Alemanha : Wiley-VCH, 2003.

SANTOS JÚNIOR, A. B. Suframa. **Administração de Resíduos Industriais no Japão**. 2010. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/jica/ses_3_administration_iwm_in_japan_pt.ppt>. Acesso em: junho 2017.

SAWY, O. A.; PEREIRA, F.; **Business Modelling in the Dynamic Digital Space**. Springer, 2012.

SCHULTE, U. New business models for a radical change in resource efficiency. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 9, p. 43-47, 2013.

SENGE, P. M. *et al.* **The Necessary Revolution: How Individuals and Organizations Are Working Together to Create a Sustainable World**. New York, Broadway Books, The Crown Publishing Group, p. 406, 2010.

SHEN, L. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics final report**. Group Science, Technology and Society (STS). Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation. Utrecht University, The Netherlands, 2009.

SPENDELOW, P.; Highest and Best Use of Recovered Materials. Oregon Department of Environmental Quality. 10 p., 2012.

STAHEL, W. R. The Business Angel of a Circular Economy—Higher Competitiveness, Higher Resource Security and Material Efficiency. In: **A New Dynamic: Effective Business in a Circular Economy**. 1. ed. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

STAHEL, W. R.; **Product-Life Factor**. Mitchell Prize Winning Paper. 1982. Disponível em: <<http://www.product-life.org/en/major-publications/the-product-life-factor>>. Acesso em: dezembro 2016.

STAHEL, W. R.; REDAY-MULVEY, G.; **Jobs for Tomorrow, the Potential for Substituting Manpower for Energy**. 1 ed. New York: Vantage Press, 1981.

STUBBS, W.; COCKLIN, C. Conceptualizing a “sustainability business model”. **Organization & Environment**, v. 21, p. 103-127, 2008.

SUN and MCKINSEY. **Growth Within: A circular economy vision for a competitive Europe**. 97 p. 2015.

SWANSON, R. A. **Assessing the Financial Benefits of Human Resource Development**. Basic Books, Perseus Books Group, Cambridge, p. 198, 2001.

TARANIC, I. 2016. **CEPS report: How the circular economy applies to different EU industries**. Disponível em: <circulatenews.org/2016/09/how-the-circular-economy-applies-to-different-eu-industries/>. Acesso: maio 2016.

TEECE, D. J. Business Models, Business Strategy and Innovation. **Long Range Planning**, v. 43, p. 172-194, 2010.

TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research Policy**, v. 15, 6, p. 285-305, 1986.

TUKKER, A. Product services for a resource-efficient and circular economy—A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 76-91, 2015.

TWEDE, D. **Less Waste on The Loading Dock: Competitive Strategy and The Reduction of Logistical Packaging Waste**. Working Paper. Yale Program on Solid Waste Policy. School of Forestry and Environmental Studies. New Haven, Connecticut. 1995.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. 2014. **Oil and natural gas import reliance of major economies projected to change rapidly**. Disponível em: <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=14691>>. Acesso em: dezembro 2016.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM): Background Chapters**, 2016. Disponível em: <https://19january2017snapshot.epa.gov/warm/documentation-chapters-greenhouse-gas-emission-and-energy-factors-used-waste-reduction-model_.html>. Acesso em: julho 2017.

VALKOKARI, K., *et al.* Road-Mapping the Business Potential of Sustainability within the European Manufacturing Industry. **Foresight**, v. 16, p. 360–384.

VAN BERKEL *et al.* The relationship between cleaner production and industrial ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, p. 51-66, 1997.

VAN RENSWOUDE, K. *et al.* **Circular Business Model: Part 1: An introduction to IMSA's circular business model scan**. IMSA Amsterdam, abril 2015.

VELIS, C. A.; Circular economy and global secondary material supply chains. **Waste Management & Research**, v. 33, n. 5, p. 389-391, 2015.

VIRENT. (2017). **Virent BioFormPX® Paraxylene Used to Produce World's First 100% Plant Based Polyester Shirts**. Disponível em: <<http://www.virent.com/news/virent-bioformpx-paraxylene-used-to-produce-worlds-first-100-plant-based-polyester-shirts/>>. Acesso em: julho 2017.

VON BERTALANFFY, L. An outline of general system theory. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 1, p. 134-165, agosto 1950.

VON BERTALANFFY, L. **General System Theory**. New York, G. Braziller Publ. p. 295. 1968.

VON WEIZSÄCKER, E.; LOVINS, A. B.; LOVINS, L. H. **Factor Four: Doubling Wealth, Halving Resource Use**. UK: Earthscan Publications Limited, 1997.

WALLACE, S.; RAINGOLD, A. **Resilience in the Round: Seizing the growth opportunities of a circular economy**. London, 2012.

WEETMAN, C. **A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink**. 1 ed. New York, Kogan Page Ltd, 2016.

WILLIAMS-GAUL, R. **Circular Economy: Resources Opportunities**. Vienna, Austria. 48 p. 2015.

WITHANA, S.; BRINK, P.; RUSSI, D. **Hidden subsidies : the invisible part of the EHS iceberg**. In F. H. Oosterhuis & P. ten Brink (Eds.), **Paying the Polluter: Environmentally Harmful Subsidies and their Reform**. p. 41–69. Massachusetts: Edward Elgar Publishing, 2014.

WORLD BANK. (2013). Disponível em:

<<http://blogs.worldbank.org/prospects/category/tags/historical-commodity-prices>> Acesso: junho 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics**. 34 p. Geneva, Switzerland, 2016.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. Geneva, Switzerland, 2014.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YUAN, Z. The circular economy; a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

ZILS, M.; HAWKINS, P.; HOPKINSON, P. **A New Dynamic 2: Challenges and Capabilities for Scaling up circular economy business models -a change in management perspective**. 1 ed. Isle of Wight - UK, Ellen MacArthur Foundation Publishing, 2016. p. 157-175.

ZOTT, C., AMIT, R.; Business model design: an activity system perspective. **Long Range Planning**, v. 43, n. 2-3, p. 216-226, 2010.