Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola de Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Processos Químicos e Bioquímicos

Aline Souza Tavares

A Cadeia Produtiva da Indústria Química no Contexto da Economia Circular

Orientadoras:

Suzana Borschiver, DSc.

Tatiana Felix Ferreira, DSc.

Rio de Janeiro

2018

Aline Souza Tavares

A CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA QUÍMICA NO CONTEXTO DA ECONOMIA CIRCULAR

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.

Orientadoras:

Suzana Borschiver, DSc.

Tatiana Felix Ferreira, DSc.

Rio de Janeiro

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

T231c

Tavares, Aline Souza
A cadeia produtiva da Indústria Química no contexto da Economia Circular / Aline Souza Tavares. -- Rio de Janeiro, 2018.
162 f.

Orientadora: Suzana Borschiver.
Coorientadora: Tatiana Felix Ferreira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

1. Economia Circular. 2. Indústria Química. 3. Fundação Ellen MacArthur. I. Borschiver, Suzana, orient. II. Ferreira, Tatiana Felix, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aline Souza Tavares

A CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA QUÍMICA NO CONTEXTO DA ECONOMIA CIRCULAR

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.

Aprovada em 27/03/2018.

(Profª. Suzana Borschiver, DSc. – Orientadora EQ/UFRJ)

(Profª. Tatiana Felix Ferreira, DSc. – Orientadora EQ/UFRJ)

(Profª. Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, DSc. – EQ/UFRJ)

(Profª. Simone Alves, DSc. – IFRJ)

Rio de Janeiro

2018

Dedico este trabalho com muito amor e carinho aos meus pais Maria e Júlio (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por me permitir esta oportunidade de crescimento pessoal e profissional, por todos os momentos passados, sejam bons ou ruins, pois de alguma forma me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor. Por permitir também que este momento seja compartilhado com minha família e amigos que ganhei durante todo esse tempo.

Gostaria de agradecer à minha mãe, Maria, por todo o apoio durante todos esses anos. Um exemplo de mulher e de mãe guerreira, em que me espelho. Espero um dia chegar à altura de sua sabedoria e compaixão. Obrigada também aos meus familiares pelas suas mensagens de apoio e torcida.

Agradeço aos meus amigos que me apoiaram durante este trabalho, me dando forças e palavras de incentivo. Cada um me ajudou da sua forma e espero sempre cooperar com vocês.

Por fim, agradeço às minhas orientadoras, Suzana Borschiver e Tatiana Felix, por toda a ajuda, apoio, paciência e por me darem esta oportunidade. Estou muito honrada em ter trabalhado durante esse tempo com este tema que me apaixonei e com profissionais brilhantes como vocês, em que tenho como parâmetro para a minha jornada profissional.

“Na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”.

(Lavoisier)

RESUMO

TAVARES, Aline Souza. **A CADEIA PRODUTIVA DA INDÚSTRIA QUÍMICA NO CONTEXTO DA ECONOMIA CIRCULAR**. Orientadoras: Suzana Borschiver e Tatiana Felix Ferreira. Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (MSc).

Apesar dos inúmeros avanços tecnológicos alcançados, a sociedade se depara com alta volatilidade dos preços de *commodities*, desigualdades sociais, poluição dos mares, entre outros problemas. Como resultado do sistema de produção linear, baseado no modelo *"take-make-dispose"*, os recursos são extraídos desordenadamente e os produtos resultantes são consumidos e despejados em lixões, depósitos e aterros. Com isso, a Economia Circular se apresenta como um novo modelo holístico de sustentabilidade que busca manter o fluxo de materiais e produtos em sua maior utilidade e valor, transformando os resíduos em novos recursos. Nesse contexto, se encontra a indústria química, que se relaciona à montante e à jusante com diversos setores da economia e, por isso, tem um forte impacto social, econômico e ambiental. No Brasil, a indústria química está entre as dez maiores do mundo, entretanto, o cenário de estagnação entre produção e venda nacional tem acarretado em um elevado déficit comercial nos últimos anos. O objetivo desta pesquisa é discutir a relação da Indústria Química com a Economia Circular em nível mundial, de modo a servir de base para a sua aplicação no Brasil. Para isso, buscou-se identificar os principais agentes transformadores, produtos e processos já envolvidos, bem como os setores que podem ser impactados, utilizando, principalmente, os estudos de caso publicados pela Fundação Ellen MacArthur. A base de dados gerada permitiu identificar que as ações circulares já existentes possuem foco no reuso ou reciclagem de coprodutos e resíduos de processos, como resinas e fibras, majoritariamente. Dessa forma, pode-se inferir que os setores petroquímico e de energia, a montante, e de transformados plásticos, a jusante, tendem a ser mais impactados, principalmente, pelas conversões em fertilizantes, bioplásticos, plásticos reciclados, biocombustíveis e cogeração de energia. Foi possível identificar também um movimento crescente de novos modelos de negócio baseados em *Chemical Leasing*, *Logística Reversa* e *Waste-to-Energy*. Assim, conclui-se que a indústria química pode exercer um importante papel na contribuição para o advento da economia circular ao atuar como fornecedor de fontes alternativas de energia, aproveitamento de resíduos e matérias primas renováveis.

Palavras-chave: economia circular, indústria química, Fundação Ellen MacArthur.

ABSTRACT

TAVARES, Aline Souza. **CHEMICAL INDUSTRY PRODUCTION CHAIN IN THE CONTEXT OF CIRCULAR ECONOMY**. Supervisors: Suzana Borschiver e Tatiana Felix Ferreira. Abstract of Master Thesis presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (MSc.).

In spite of the numerous technological advances reached, the society is faced with high volatility of commodity prices, social inequalities, pollution of the seas, among other problems. As a result of the linear production system, based on the "take-make-dispose" model, the resources are extracted in disorder and the resulting products are consumed and dumped in dumps, tanks and landfills. With this, the Circular Economy presents itself as a new holistic model of sustainability that seeks to maintain the flow of materials and products in its greatest utility and value, transforming waste into new resources. In this context, there is the chemical industry, which is related upstream and downstream with various sectors of the economy and, therefore, has a strong social, economic and environmental impact. In Brazil, the chemical industry is among the ten largest in the world, however, the scenario of stagnation between production and domestic sales has resulted in a high trade deficit in recent years. The objective of this research is to discuss the relationship between the Chemical Industry and the Circular Economy at a global level, in order to serve as a basis for its application in Brazil. In order to do this, we sought to identify the main transforming agents, products and processes already involved, as well as the sectors that can be impacted, mainly using the case studies published by the Ellen MacArthur Foundation. The generated database allowed to identify that the existing circular actions have a focus on the reuse or recycling of coproducts and process residues, such as resins and fibers, in the majority. Thus, it can be inferred that the petrochemical and energy sectors, upstream, and downstream plastics, tend to be more impacted, mainly, by the conversions in fertilizers, bioplastics, recycled plastics, biofuels and energy cogeneration. It was also possible to identify a growing movement of new business models based on Chemical Leasing, Reverse Logistics and Waste-to-Energy. Thus, it can be concluded that the chemical industry can play an important role in contributing to the advent of the circular economy by acting as a supplier of alternative sources of energy, use of waste and renewable raw materials.

Keywords: circular economy, chemical industry, Ellen MacArthur Foundation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo do sistema de economia circular. 25
Figura 2. Fontes de criação de valor da Economia Circular. 28
Figura 3. Benefícios da Economia Circular. 29
Figura 4. Parceiros globais da Fundação Ellen MacArthur. 36
Figura 5. Corporações membro da CE100 Brasil. 39
Figura 6. Algumas das universidades parceiras da Fundação Ellen MacArthur. 39
Figura 7. Estrutura conceitual da relação entre o sistema de economia circular (CES), as cadeias de resíduos para energia (WTE) e o ambiente. 44
Figura 8. Exemplos de modelos redesenhados. 45
Figura 9. Modelo estrutural de colaboração entre cliente e fornecedores para a economia circular. 49
Figura 10. Esquema comparativo entre o modelo tradicional e o modelo chemical leasing de comercialização de produtos químicos. 50
Figura 11. Setores a montante e a jusante da cadeia produtiva da indústria química. 52
Figura 12. Evolução global das vendas em produtos químicos em € bilhões. 56
Figura 13. Evolução da produção de produtos químicos (exceto farmacêuticos) em US$ bilhões e taxa de crescimento por ano dos principais mercados globais entre 2010 e 2020. 57
Figura 14. Investimentos globais em P&D em produtos químicos e fármacos entre 2000 e 2030. 57
Figura 15. Evolução da produção e faturamento líquido da indústria química brasileira em US$ bilhões. 59
Figura 16. Histórico da balança comercial (em US$ bilhões FOB) de produtos químicos de uso industrial entre 1991 e 2017*. 61
Figura 17. Faturamento do segmento de produtos químicos de uso industrial por grupos em 2017. 61
Figura 18. Balança comercial brasileira de produtos químicos em US$ bilhões FOB. 63
Figura 19. Evolução dos investimentos realizados e programados em US$ bilhões. 64
Figura 20. Evolução da capacidade instalada da indústria química desde 2007. 65
Figura 21. Principais empresas que atuam no setor químico no Brasil. 67
Figura 22. Fontes de dados utilizadas para a coleta dos estudos de casos relacionados à Indústria Química e a Economia Circular. 69

Figura 23. Etapas seguidas na Plataforma da Fundação Ellen MacArthur para a obtenção dos estudos de caso. 70
Figura 24. Histórico de publicações sobre economia circular no mundo. 75
Figura 25. Fluxograma do sistema integrado de produção da Balbo Group. 77
Figura 26. Sistema de produção da British Sugar. 79
Figura 27. Ilustração do processo de fabricação da Toast Ale. 80
Figura 28. Esquema do projeto Terragr'Eau entre a Danone e agricultores locais. 82
Figura 29. Diagrama conceitual da comunidade The Plant com todos os processos integrados. 83
Figura 30. Etapas do processo de extração do óleo de maracujá pela Extrair Óleos Naturais. 84
Figura 31. Parque Industrial de Kalungborg (DK). 88
Figura 32. Mushroom® Packaging para embalar de vinho. 90
Figura 33. Ilustração da simbiose industrial entre a Dong Energy e Gyproc. 98
Figura 34. Ilustração de um dos kits de refis comercializados pela Splosh. 108
Figura 35. À esquerda, detergente com enzima que descarta o enxágue. À direita, detergente superconcentrado em bag. 109
Figura 36. Esquema representativo de Chemical Leasing praticado pela Safechem. 110
Figura 37. Esquema de colaboração entre as parcerias para o projeto ICARRE 95. 113
Figura 38. Esquema ilustrativo das etapas de coleta de redes de pesca, reciclagem e fios novos para tecido ao final. 115
Figura 39. Esquema representativo das camadas intercambiáveis do carpete da Interface. .. 118
Figura 40. Esquema ilustrativo do sistema de irrigação de pomares próximos às lagoas de aeração da Action Tratamento de Efluentes. 127
Figura 41. Tubetes compostáveis feitos de amido de mandioca. 129
Figura 42. Centro integrado de distribuição de energia oferecido pela Chung Hwa Pulp Corporation em Taiwan. Fonte: Adaptado de Pan et al. (2014). 132
Figura 43. Suporte de calcanhar Framaprene® ECO da Adidas feito de poliestireno reciclado. 136
Figura 44. Setores a montante e a jusante da indústria química que tendem a ser mais impactados com a economia circular. 143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faturamento líquido da indústria química mundial entre 2006 e 2016 em US$ bilhões. 55
Tabela 2 - Evolução do faturamento líquido da indústria química brasileira por segmento de produtos entre 1996 e 2017* em US$ bilhões. 60
Tabela 3 - Top 10 empresas químicas globais em 2016 em relação às vendas (US$ milhões). 66
Tabela 4 - Quantidade total de casos encontrados e coletados por base de dados. 71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Escolas de pensamento que deram origem à economia circular. 24
Quadro 2 - Estratégias de recirculação de materiais no âmbito geral e químico..... 26
Quadro 3 - Estrutura ReSOLVE. 30
Quadro 4 - Exemplos de indicadores por nível de circularidade..... 32
Quadro 5 - Classificação dos produtos químicos segundo CNAE 2.0. 54
Quadro 6 – Proposta de Categorização dos estudos de caso analisados. 72
Quadro 7 -Conceituação dos drivers obtidos dos casos. 73
Quadro 8. Casos de empresas pertencentes ao setor de alimentos. 85
Quadro 9 - Casos de empresas pertencentes à área de Biotecnologia. 91
Quadro 10 - Casos de empresas pertencentes ao setor de energia..... 96
Quadro 11 - Casos de empresas pertencentes ao setor de Materiais de Construção. 99
Quadro 12 - Casos da Unilever relacionados com a economia circular. 106
Quadro 13 - Casos da Coca-Cola Enterprises relacionados com a economia circular. 107
Quadro 14 - Casos de empresas pertencentes ao setor de Higiene e Limpeza. 111
Quadro 15 - Caso da Renault Group, pertencente ao setor automotivo. 114
Quadro 16 - Casos da empresas pertencentes ao setor têxtil. 119
Quadro 17 - Casos pertencentes ao setor de Eletroeletrônicos. 122
Quadro 18 - Caso da Natura, pertencente ao setor de Cosméticos. 125
Quadro 19 - Casos pertencentes ao setor de Tratamento de Água e Esgoto. 128
Quadro 20 - Caso pertencente ao setor de Embalagens..... 130
Quadro 21. Principais resultados alcançados da integração de recursos e energia Cheng-Loong Corp. 133
Quadro 22 - Casos pertencentes ao setor de Papel de Celulose. 134
Quadro 23 - Casos pertencentes ao setor de Materiais Esportivos. 137
Quadro 24 - Caso pertencente a Huntsman, empresa produtora de produtos químicos de uso industrial. 138
Quadro 25 - Cenário total – Resumo dos estudos de caso selecionados. 140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABiogás	Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
ABF	*Associated British Foods Plc*
AFVT	*Antimicrobial Fruit and Vegetable Treatment*
ANCAT	Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis
BFA	*Bioplastic Feedstock Alliance*
BIC	*Bio-based Industries Consortium*
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRWWTP	*Back River Wastewater Treatment Plant*
Btu	*British Thermal Unit*
BVRIO	Bolsa Verde do Rio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCPE	*Evian Country Community*
CEI	*Circular Economy Indicator*
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CHP	*Combined Heat and Power*
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO_2eq	CO_2 equivalente
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DIF	*Disruptive Innovation Festival*
DME	Dimetil éter
EBITDA	*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*
EC	Economia Circular

E&P	Exploração e Produção
ELV	*End-of-life Vehicles*
ERA	*Ecosystem Revitalization Agriculture*
FSC	*Forest Stewardship Council*™
FVCSF	Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis
FIRJAN	Federação das Indústrias do Rio de Janeiro
FOB	*Free On Board*
GIY	*Grow-It-Yourself*
GNR	Gás Natural Renovável
GWH	Gigawatt-hora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
INSEA	Instituto Nenuca de Desenvolvimento Sustentável
ISIC	*International Standard Industry Classification*
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MBA	*Master in Business Administration*
MBBR	*Moving Bed Biofilm Reactor*
MCI	*Material Circularity Indicator*
MH	Megawatt
MNCR	Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis
NDF	Nordic Development Fund.
ONG	Organização Não-Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PA6	Poliamida 6
PA66	Poliamida 66
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PFC	Perfluorcarbono
PHA	Polihidroxialconoato
PHB	Polihidroxibutirato
PIB	Produto Interno Bruto
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PLA	Ácido polilático

PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTT	Poli(tereftalato de trimetileno)
PVC	Policloreto de vinila
PVOH	Ácool polivinílico
RDF	*Refuse-Derived Fuel*
ResCoM	*Resource Conservative Manufacturing*
r-PEAD	Polietileno de alta densidade reciclado
r-PET	Poli(tereftalato de etileno) reciclado
r-PS	Poliestireno reciclado
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SO_2	Dióxido de enxofre
SUN	*Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit*
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TWH	Terawatt-hora
UE	União Europeia
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNIDO	*United Nations Industrial Development Organization*
URE	Usina de Reciclagem de Entulho
WWF	*World Wild Fund.*
WTE	W*aste–to–Energy*

Sumário

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 ESTRUTURA DA PESQUISA 20
2 OBJETIVOS 22
2.1 OBJETIVO GERAL 22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 22
3 ECONOMIA CIRCULAR 23
3.1 CONCEITOS DA ECONOMIA CIRCULAR 23
3.2 O CAMINHO PARA A TRANSIÇÃO 29
3.3 ATUAÇÃO DA FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR 35
3.3.1 *INSIGHT* e ANÁLISES 36
3.3.2 EMPRESAS E GOVERNOS 37
3.3.3 EDUCAÇÃO 39
3.3.4 COMUNICAÇÃO E INICIATIVAS SISTÊMICAS 40
3.4 *DRIVERS* DA ECONOMIA CIRCULAR 41
3.4.1 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA 41
3.4.2 MODELAGEM 42
3.4.3 BIOBASED INDUSTRIES 43
3.4.4 *DESIGN* 44
3.4.5 LOGÍSTICA REVERSA 46
3.4.6 SIMBIOSE INDUSTRIAL 47
3.4.7 ECONOMIA COLABORATIVA 48
3.4.8 CHEMICAL LEASING 49
3.4.9 PAÍSES/CIDADES INTELIGENTES 51
4 INDÚSTRIA QUÍMICA 52
4.1 CONCEITOS GERAIS 52
4.2 CENÁRIO MUNDIAL 54
4.3 CENÁRIO BRASILEIRO 58
4.4 PRINCIPAIS EMPRESAS 66
5 METODOLOGIA 68
5.1 MÉTODO DE TRABALHO 68

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 75
6.1 ESTUDOS DE CASO 76
6.1.1 ALIMENTOS 76
6.1.2 BIOTECNOLOGIA 87
6.1.3 ENERGIA 92
6.1.4 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 97
6.1.5 BENS DE CONSUMO 100
6.1.6 PRODUTOS DE HIGIENE E LIMPEZA 107
6.1.7 AUTOMOTIVO 111
6.1.8 TÊXTIL 115
6.1.9 ELETROELETRÔNICO 120
6.1.10 HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS 123
6.1.11 TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO 126
6.1.12 EMBALAGENS 129
6.1.13 PAPEL E CELULOSE 131
6.1.14 MATERIAIS ESPORTIVOS 134
6.1.15 PRODUTOS QUÍMICOS DE USO INDUSTRIAL 138
6.2 CENÁRIO TOTAL DOS ESTUDOS DE CASO 139
7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS 146
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 149
APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DE ESTUDO DE CASOS (PARCIAL) 162

1 INTRODUÇÃO

Por mais de 150 anos, a sociedade é dominada por um modelo de produção e serviços linear ou "*take-make-dispose*" baseado na extração de matérias-primas de fontes finitas e o consumo descartável dos produtos manufaturados que, por sua vez, acabam muitas vezes descartados inadequadamente (LUZ *et al.*, 2017, p. 15). Dados os vários ciclos de crise econômica, social e catástrofes climáticas, é evidente que este modelo, apesar de oferecer prosperidade material a preços acessíveis, as estimativas em torno do futuro global indicam que todo esse sucesso terá um custo alto.

Com expectativa de 8 bilhões de habitantes no mundo até 2025, o desafio imperante é como integrar o grande volume de descartes gerados no final da cadeia produtiva ao início dela. O crescimento populacional cada vez maior exigirá mais alimentos, mais produtos industriais, mais energia e mais água e, consequentemente, um uso muito mais eficiente dos recursos. (BOCKEN *et al.*, 2014; CAROCHO *et al.*, 2014; WIJKMAN; SKÅNBERG; BERGLUND, 2015).

Nesse sentido, o conceito de sustentabilidade busca interligar de forma viável o tripé formado pela economia, pelo social e ambiental. Em 1987, o relatório publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da Organização das Nações Unidas (ONU), definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que "satisfaz as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades" (ALMEIDA, 2015).

Em 2017, foram completados 30 anos deste relatório e ainda 1,9 bilhões de toneladas por ano de resíduos são gerados no mundo, dos quais o Brasil participa em torno de 4% (WASTE ATLAS, 2016; ABRELPE, 2016). Segundo Wijkman *et al.* (2015), o planeta Terra leva quase um ano e meio para regenerar o que usamos a cada ano e, se todos vivêssemos no mesmo padrão de vida que os Estados Unidos, precisaríamos mais do que quatro planetas Terra para suprirmos as necessidades básicas.

Após o ano 2000, por exemplo, foi verificado que os preços de *commodities* aumentaram 1,9% para cada 1% de crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) mundial devido à estagnação das inovações tecnológicas e ao aumento da demanda ocasionada pela escassez de recursos naturais (LUZ *et al.*, 2017, p. 41). Se o ritmo de produção continuar seguindo esta proporção, há estimativas de que as emissões globais de gases relacionados ao

efeito estufa podem atingir 65 bilhões de toneladas de CO_2 equivalente (CO_2eq) em 2030, 67% acima do limite ideal, acarretando no aumento da temperatura global em mais de 4% em 2100 (UNEP, 2015 *apud* LUZ *et al.*,2017, p. 45).

A economia circular é um modelo holístico de sustentabilidade que tem como objetivo crucial resolver os problemas gerados pela linearidade das cadeias produtivas atuais. Este conceito passou a ganhar escopo a partir da década de 90 e pode ser entendido como produto de diversas escolas de pensamento como, por exemplo, o *Design* Regenerativo, a Economia de Desempenho, a Ecologia Industrial, entre outras, que serão abordadas no Capítulo 3. O modelo circular propõe o fluxo de recursos de modo a manter o ciclo de vida útil dos materiais, produtos e seus componentes em sua maior utilidade e valor, eliminando ou minimizando o uso de compostos tóxicos e transformando os resíduos em novos recursos (LOURENÇO e CHIARAMONTI, 2014; ELLEN MACARTHUR FOUNDATON, 2015).

A adoção deste modelo apresenta forte potencial para o alcance dos objetivos do tripé de sustentabilidade mencionado anteriormente. A Fundação Ellen MacArthur (2015) mostrou que a Europa pode obter benefício líquido de € 1,8 trilhão até 2030 e reduzir as emissões de carbono em 48% até 2030 ou em 83% até 2050, a partir da redução de custos de recursos primários, externalidades negativas e outros custos de recursos para mobilidade, alimentos e ambiente[1]. Em outro estudo em conjunto com a McKinsey (2015), essa Fundação mostrou que as empresas perdem recursos financeiros significativos no descarte do que poderia ser potencialmente valioso, pois, em geral, apenas 5% do valor restante da maioria dos bens materiais são capturados e utilizados quando os produtos são descartados.

Diante do exposto, a indústria química, que exerce um importante papel no desenvolvimento industrial, econômico, social e ambiental de um país, deve compartilhar com os fabricantes de produtos químicos a responsabilidade pelo *design* de produtos "*eco-friendly*", desenvolvendo substâncias e processos químicos apropriados para uma economia circular. Vale citar como exemplos desta integração voltada para o "*design* químico", a imobilização de um catalisador permitindo que ele seja reutilizado e a introdução de ligações

[1]Os custos de recursos primários considerados no estudo foram: materiais primários virgens para carros e construção; terreno imobiliário; uso agrícola de água (€ 0,20/m^3) e terra, fertilizantes sintéticos (€ 535/t) e pesticidas; combustíveis (€ 1,64/l de gasolina, € 1,45/l de diesel, € 0,91/l de óleo de aquecimento, € 68/t de carvão, € 0,067/kWh de gás natural); e eletricidade não renovável (€ 0,20/kWh). As externalidades incluem o CO_2 (€ 29/t), o congestionamento do trânsito, os impactos não-monetários sobre a saúde de acidentes, poluição e ruído, custos de oportunidade de terra, custos de oportunidade relacionados à obesidade, efeitos adversos para a saúde devido ao ambiente interno e ao tempo de transporte (relacionado ao planejamento urbano). Outros custos de retirada de caixa incluem todas as despesas domésticas e governamentais sobre mobilidade, alimentação, habitações residenciais e escritórios, excluindo os principais custos de recursos.

químicas suscetíveis aos surfactantes para torná-los biodegradáveis no meio ambiente (CLARK *et al.*, 2016).

Em 2016, a indústria química brasileira ocupa a 8ª posição do *ranking* mundial em termos de faturamento líquido, tendo obtido US$ 109,2 bilhões e a 3ª posição no *ranking* de contribuição na indústria de transformação brasileira com 10,8% (ABIQUIM, 2017). Embora ainda apresente caráter deficitário na sua balança comercial há mais de 10 anos, este setor caracteriza-se por ser vetor de inovação, por desenvolver tecnologia para várias cadeias produtivas e por melhor remunerar na indústria de transformação, com salários oferecidos em 2016 representando o dobro do período anterior (DE MARCHI, 2016; FAIRBANKS, 2017).

Considerando a importância do setor químico, faz-se necessário o entendimento de como ele pode contribuir no contexto da economia circular e, ao mesmo tempo, se beneficiar das vantagens oferecidas por este modelo de produção. No caso da indústria química brasileira, com previsão de taxa de crescimento de 2,2% ao ano, as oportunidades oferecidas se apresentam como uma rota alternativa para torná-la mais competitiva e resiliente a longo prazo (EPE, 2016).

1.1 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente dissertação está dividida em 8 capítulos, sendo o primeiro esta introdução.

O Capítulo 2 apresenta os objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica, explorando os conceitos e histórico da Economia Circular, bem como os principais aspectos do caminho da transição do modelo tradicional linear para o modelo circular, como oportunidades e desafios envolvidos na adoção desse modelo econômico alternativo. Como a principal fonte dos estudos de caso foi a plataforma da Fundação Ellen MacArthur, este capítulo também contém um panorama das principais características da mesma, bem como suas ações e parcerias. Por fim, são apresentados os *drivers* obtidos na etapa inicial desta pesquisa, em que foi realizada uma pré-prospecção da Economia Circular, servindo como base para a construção da base de dados obtida (Apêndice A).

O Capítulo 4 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o setor da Indústria Química, abordando os principais conceitos, os cenários mundial e brasileiro e as principais empresas no mundo.

No Capítulo 5 são apresentadas as metodologias utilizadas para a revisão bibliográfica, bem como para a obtenção e tratamento dos estudos de caso.

No Capítulo 6 são apresentados os estudos de caso selecionados por setor, bem como uma análise detalhada dos resultados. As correlações entre estes casos geraram ao final um cenário total, onde foram compiladas as convergências obtidas da base de dados.

O Capítulo 7 vai ao encontro do objetivo geral proposto, abordando os principais desafios e oportunidades da Indústria Química brasileira na colaboração com a Economia Circular a partir do cenário total discutido no capítulo anterior, de modo a alavancar sua competitividade. Apresenta também os principais aspectos da pesquisa na forma de conclusão.

Por fim, o capítulo 8 apresenta as sugestões para trabalhos futuros que podem ser gerados a partir que desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apontar os principais fatores da Indústria Química que podem colaborar para o advento da Economia Circular no Brasil e, em paralelo, avaliar como esse setor pode se beneficiar das oportunidades oferecidas por esse modelo alternativo de produção e serviços.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de alcançar o objetivo geral apresentado, esta pesquisa tem como objetivos específicos:

a. Apresentar o conceito de economia circular, os desafios e oportunidades deste novo modelo alternativo de sustentabilidade;

b. Identificar os ciclos e *building blocks* da Economia Circular relacionados com a Indústria Química;

c. Identificar os agentes transformadores (empresas, universidades e órgãos públicos), bem como insumos, produtos obtidos, processos envolvidos;

d. Identificar setores já envolvidos com a Economia Circular, bem como aqueles a montante e a jusante da indústria química que podem ser impactados pelo modelo circular de produção;

e. Gerar um perfil do cenário atual e de tendências a partir de sinergias e/ou convergências geradas pelos objetivos específicos b, c, e d descritos anteriormente.

3 ECONOMIA CIRCULAR

3.1 CONCEITOS DA ECONOMIA CIRCULAR

O modelo econômico linear ou "*take-make-dispose*" é caracterizado por explorar os recursos naturais e utilizar energia de fontes finitas para fabricação de um determinado produto, tendo resíduos gerados acumulados ao final da cadeia. O rápido crescimento econômico e industrial acarretou externalidades de impacto negativo, como o desmatamento de vegetações, o avanço sobre as florestas existentes, o uso excessivo dos recursos hídricos, além de sérios problemas de saneamento básico (LOURENÇO; CHIARAMONTI, 2014).

Nesse sentido, a economia circular se apresenta como um modelo industrial de sustentabilidade, que visa remodelar a cadeia produtiva linear atual para um novo conceito circular de produção e circulação de recursos. Tem como principal objetivo o uso de energias renováveis, a eliminação ou minimização de componentes tóxicos e a geração zero ou mínima de resíduos desde a concepção dos produtos (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

O conceito, proposto inicialmente por Boulding como regeneração de recursos, em 1970, pode ser entendido como um produto de subsídios teóricos de diversas escolas de pensamento que tem origem desde então e são apresentadas no Quadro 1. A partir dessas escolas de pensamento, a economia circular pode ser definida então como um modelo regenerativo e restaurativo, cuja ideia central é manter produtos, componentes, materiais e serviços em sua maior utilidade e valor em todos os momentos, dividindo-os entre ciclos técnicos e biológicos (Figura 1). Como consequência, este novo modelo pode criar empregos, reduzir impactos ambientais e crescimento econômico (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Existem diversas organizações voltadas para o desenvolvimento deste modelo, na qual objetiva a troca de conhecimento global e a formação de parcerias para impulsionar a economia circular nas organizações, governos e universidades como, por exemplo, a Fundação Ellen MacArthur[2], *Forum for the Future* e *Circle Economy*. Devido a parcerias de grande representatividade, a Fundação Ellen MacArthur se tornou a principal referência nesse tema. Fundada em 2010, é uma organização sem fins lucrativos e tem como objetivo fomentar

[2] Ellen MacArthur é velejadora britânica e primeira piloto mundial a circum-navegar o planeta sozinha, em 2005, em um iate. Desde então, percebeu a importância da gestão inteligente para o equilíbrio entre os recursos finitos mundiais e o meio ambiente e, após 4 anos viajando pelo mundo em contato com especialistas, fundou a Ellen MacArthur Foundation.

a transição da economia linear tradicional para a economia circular. Sua atuação será abordada mais detalhadamente na seção 3.3.

Quadro 1- Escolas de pensamento que deram origem à economia circular.

Escolas de Pensamento/Autores	Conceito central
Design regenerativo (John T. Lyle, 1970)	Todos os sistemas podem ser projetados de forma regenerativa (os processos se renovam ou regeneram as fontes de energia e materiais que consomem).
Economia de Desempenho (Walter Stahel, 2006)	O *Stahel's Product-Life Institute* possui 4 objetivos principais: extensão da vida do produto, bens de longa vida, atividades de recondicionamento e prevenção de resíduos. Destaca também a importância de ofertar serviços em vez de produtos.
***Cradle to Cradle* (Michael Braungart e William McDonough, 2003)**	Considera todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais como nutrientes técnicos e biológicos. A estrutura se concentra no *design* para a efetividade em impacto positivo, o que a diferencia do foco tradicional do projeto na redução de impactos negativos.
Ecologia industrial (Roland Clift, Thomas E. Graedel, 2001)	É o estudo de fluxos de materiais e energia através de sistemas industriais em malha fechada, cujos resíduos servem como insumos, eliminando a noção de subprodutos indesejáveis.
Biomimética (Janine Benyus, 2003)	Utiliza a natureza como modelo para criação de projetos e processos para a solução de problemas humanos.
Capitalismo natural (Amory Lovins, 2008)	Estuda o valor monetário que pode ser obtido dos ecossistemas, controlando os estoques finitos, equilibrando o fluxo de recursos renováveis e otimizando reservas.
Economia Azul (Günter Pauli, 2010).	É um movimento *open source* iniciado por Günter Pauli e entregue ao Clube de Roma na forma de manifesto. Objetiva utilizar os recursos disponíveis em cascata e o desperdício de um produto torna-se a insumo para criar um novo fluxo de caixa.

Fonte: Adaptado de Ellen Macarthur Foundation (2012).

Segundo o estudo da Fundação Ellen MacArthur (2012), os materiais biológicos (matérias-primas renováveis e insumos obtidos por via biotecnológica) caracterizam-se por serem biodegradáveis e não tóxicos. Devem ser planejados para serem reinseridos na natureza por compostagem ou digestão anaeróbia e, assim, regenerar a biosfera e fechar o ciclo de vida.

Os materiais técnicos, caracterizados por polímeros, ligas metálicas e outros oriundos de fontes finitas, devem ser projetados para reinserção no ciclo de produção o máximo de vezes possível, sem perda de qualidade até que a sua disposição em aterros seja inevitável. Assim, os resíduos passam a ser considerados novos recursos, reduzindo a dependência por fontes de matérias-primas e os desperdícios como um todo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

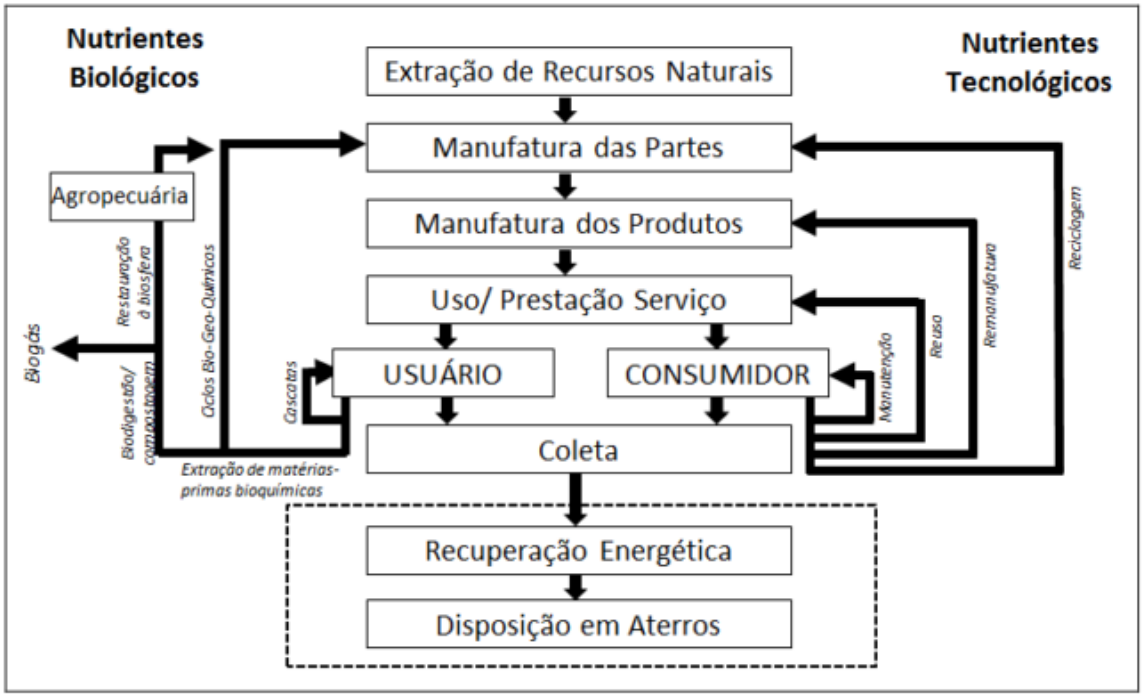

Figura 1. Modelo do sistema de economia circular.
Fonte: RIBEIRO e KRUGLIANSKAS (2015, p.03).

Alguns autores apontam a economia circular como vertente da abordagem ecoefetiva, na qual procura-se “imitar” o fluxo metabólico contínuo dos sistemas biológicos e transformar a indústria destrutiva em regenerativa, estimulando o *redesign* de produtos, processos e de materiais. Com isso, tornando possível o benefício mútuo entre os sistemas ecológico e econômico (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012).

Nesse contexto, a circulação dos materiais e componentes pode ser dividida em quatro categorias, como mostra o Quadro 2, que, a partir da definição geral, podem ser contextualizadas no âmbito químico. Estas, por sua vez, assumem em conjunto um importante papel ao atuarem como estratégias que norteiam as ações em direção à economia circular.

Quadro 2 - Estratégias de recirculação de materiais no âmbito geral e químico.

Categoria	Definição geral	Definição para a química
Design (*Ecodesign*)	A concepção do produto é voltada para melhorar o desempenho ambiental ao longo do seu ciclo de vida.	Desenvolvimento de substâncias e processos químicos que sejam duráveis, não-tóxicos. Ex: imobilização de moléculas
Reuso	Os produtos ou componentes que não são resíduos, são usados novamente para o mesmo propósito para o qual eles foram concebidos.	Partes do componente são preservadas, sendo reutilizadas dentro de um determinado período de tempo sem modificação ou perda de desempenho. Ex: partes recuperadas na remanufatura de motores.
Reciclagem	Os resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias. Inclui material orgânico, mas não a recuperação de energia e materiais que devem ser utilizados como combustíveis.	A forma e função da molécula ou material são perdidas ou modificadas. Ex: Poli(tereftalato de etileno) (PET) reciclado (reciclagem mecânica).
Renovável	-	Derivado de recursos renováveis, que pode ser produzido, regenerado ou reutilizado a uma escala que possa sustentar a sua taxa de consumo (biodegradação). Ex: plástico compostável.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de (CLARK *et al.*, 2016; GHISELLINI*et al.*,, 2016; SHERWOOD *et al.*, 2017).

A Economia Circular é fundamentada em três princípios básicos, visando à integração do tripé da sustentabilidade, ou seja, o desenvolvimento econômico, a proteção ambiental e a responsabilidade social: i) manter o capital natural ao equilibrar a gestão dos recursos renováveis e dos estoques finitos; ii) otimizar a circulação dos produtos por maior tempo possível tanto no nível biológico quanto no técnico mantendo desempenho e valor; e iii)

tornar o sistema efetivo ao minimizar ou eliminar externalidades negativas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Por manter o capital natural, como mencionado no Quadro 1, entende-se manter o equilíbrio entre o estoque dos recursos finitos e o fluxo dos recursos renováveis. Dessa forma, o capital natural trata dos benefícios holísticos que podem ser obtidos do equilíbrio dos ecossistemas, desde os mais tangíveis (como a água potável e alimentos), aos mais abstratos (como os valores espiritual e cultural presentes nos ambientes naturais das comunidades) (STRUMPF, 2013).

A otimização dos recursos pode ser alcançada no ciclo técnico da Economia Circular com o reuso, a remanufatura, a reciclagem e o compartilhamento, de modo que os componentes permaneçam na cadeia produtiva, contribuindo para a economia. De acordo com Stahel (2016), os materiais devem ser reutilizados sempre que possível, reparados quando não puder reutilizar e reciclados quando as duas primeiras tentativas já estiverem esgotadas, preservando mais energia e valor agregado contido nos materiais e componentes. No ciclo biológico, os nutrientes devem ser reinseridos na biosfera de modo seguro para a decomposição, transformando-se em matérias-primas para um novo ciclo.

Por último, a minimização ou exclusão das externalidades negativas irá garantir a efetividade do sistema circular. Dentre as quais podem ser destacados o custo social, acarretado pelo volume excessivo de materiais descartados e perda de energia, impactos climáticos globais e custos marginais da extração de recursos naturais. Apesar de esses fatores não impactarem sobre o sistema de preços atual, o elevado consumo *per capita* sem reuso dos recursos poderá impactar no preço de *commodities* e acarretar o esgotamento ou escassez de suprimentos (LUZ *et al.*, 2017). Desse modo, a gestão de externalidades deve levar em consideração o uso da terra, ar, água e de substâncias tóxicas, a fim de garantir a sustentabilidade dos alimentos, da mobilidade, de habitação, entre outros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Estes princípios, por sua vez, promovem quatro fontes de criação de valor esquematizadas na Figura 2.

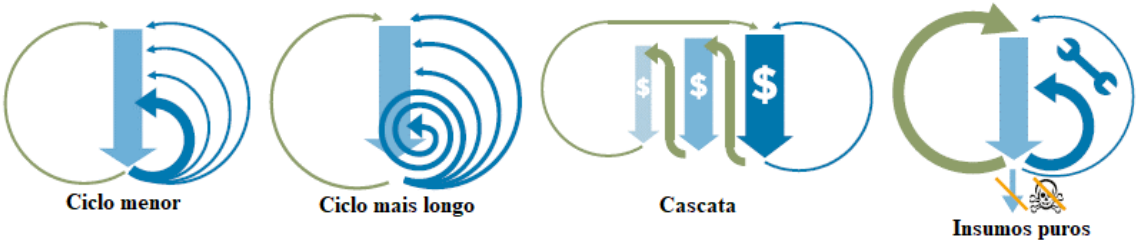

Figura 2. Fontes de criação de valor da Economia Circular.
Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015).

O chamado “ciclo menor” remete às ações circulares dentro das cadeias produtivas, como o reuso e a remanufatura, permitindo preservar mais a integridade e a complexidade de um produto, além da mão de obra embutida e da energia investida. Reparar e manter um produto ou seus componentes preserva mais valor do que enviar direto para a reciclagem. Neste ciclo, quanto mais interno, mais valor pode ser mantido ou agregado (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Nesse sentido, quanto mais longo for o tempo de cada ciclo e maior for a sua quantidade, menor será o consumo de insumos, energia e mão-de-obra envolvidos na criação de um novo produto ou componente, principalmente, para produtos que demandam energia. Com isso, o projeto dos produtos na economia circular deve maximizar o tempo de vida útil ideal que mantenha o desempenho energético ao longo do tempo (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Quando as estratégias mencionadas não forem mais viáveis, o chamado “ciclo em cascata” pode tornar-se a melhor opção. Este ciclo refere-se ao retorno do produto ou componente para a mesma cadeia de valor com outro fim ou para outra cadeia produtiva. Neste tipo de ciclo, a reciclagem também pode ser utilizada como estratégia para a manutenção de valor ao substituir a entrada de materiais de fonte fóssil na economia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Por fim, o chamado “ciclo dos insumos puros” se refere ao princípio da eliminação de componentes tóxicos nos materiais, a fim de evitar os danos associados na sua circulação ao longo dos ciclos. Com isso, o fluxo de materiais não contaminados favorece uma coleta e distribuição mais segura e eficiente, mantendo a qualidade e aumentando a produtividade do material (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

3.2 O CAMINHO PARA A TRANSIÇÃO

Pearce e Turner (1989) *apud* Ghisellini et al. (2016) explicam a mudança do sistema econômico tradicional linear para o sistema econômico circular como consequência degradação da matéria e da energia. Com isso, surgiriam novas funções econômicas do meio ambiente, denominadas pelos autores de fornecimento de recursos, sistema de suporte à vida e um "depósito" de resíduos e emissões. Por não se ter um preço nem um mercado de bens ambientais, como por exemplo, a qualidade do ar e da água, diversas combinações de políticas (regulamentos, instrumentos econômicos ou medidas voluntárias) podem ser implementadas a fim de incluir as externalidades, como por exemplo, a responsabilidade dos produtores no preço de produtos, serviços ou atividades para incentivar uma melhor utilização e conservação de recursos, a mitigação dos impactos ambientais e, assim, a promoção na transição para o sistema circular. Entretanto, ainda há controvérsias na literatura acerca da melhor forma de aplicar esta medida sem prejudicar as partes interessadas (CLARK *et al.*, 2016).

Estudos macroeconômicos realizados pelas organizações mencionadas na seção 3.1 reportam diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais, como mostra a Figura 3, que podem ser alcançados com o advento da economia circular.

Benefícios para a economia
- Reduções de custo com matéria-prima;
- Redução de riscos na volatilidade e suprimento de materiais no mercado;
- Criação de oportunidades de novos negócios e crescimento nos setores primário, secundário e terciário;
- Redução das externalidades; e
- Estabelecimento de sistemas econômicos mais resilientes;

Benefícios para consumidores
- Melhoria da qualidade dos produtos;
- Redução da obsolecência programada;
- Maior possibilidade de escolha; e
- Benefícios secundários- por exemplo novas funções dos produtos.

Benefícios para as empresas
- Potencial de lucro em novos negócios – Ex: atividades dos ciclos reversos;
- Novas formas de relacionamento com clientes;
- Oportunidades em novos modelos de negócio – Ex: remanufatura, reforma, etc;
- Novas oportunidades de financiamento;
- Criação de resiliência e vantagem competitiva;
- Redução custos e riscos com matérias-primas;
- Ganhos diretos com recuperação/ reciclagem dos materiais que eram descartados;
- Redução da complexidade dos produtos e ciclos de vida mais gerenciáveis; e
- Estímulo à inovação e ecodesign.

Figura 3. Benefícios da Economia Circular.
Fonte: Ribeiro e Kruglianskas (2015, p.06).

Como forma de apresentar um plano de ação para a transição do modelo linear de produção para o modelo circular, a Fundação Ellen MacArthur elaborou a estrutura

denominada ReSOLVE, formada pela junção das ações obtidas, como mostra o Quadro 3. Essas ações têm como objetivo gerar valor a partir da maximização de ativos físicos, do tempo de vida útil, ao mesmo tempo em que promovem a substituição do uso de recursos finitos pelo de fontes renováveis.

Quadro 3 - Estrutura ReSOLVE.

Formação da estrutura ReSOLVE	**Definição**
Regenerate **(Regenerar)**	- Uso de energia e materiais renováveis. - Recuperar e reter a saúde dos ecossistemas. - Devolver recursos biológicos recuperados à biosfera.
Share **(compartilhar)**	- Compartilhar ativos (ex.: automóveis, salas, eletrodomésticos). - Reutilizar produtos. - Projetar os produtos visando à durabilidade, prolongar a vida útil por meio de manutenção e possibilidade de atualização.
Optimise **(Otimizar)**	- Aumentar o desempenho do produto. - Evitar a geração de resíduos na produção e na cadeia de suprimentos. - Alavancar *Big Data*, automação, sensoriamento.
Loop **(Tornar cíclico)**	- Remanufaturar produtos ou componentes. - Reciclar materiais. - Usar digestão anaeróbia. - Extrair substâncias bioquímicas dos resíduos orgânicos.
Virtualise **(Virtualizar)**	- Desmaterializar diretamente (ex.: livros, CDs, DVDs). - Desmaterializar indiretamente (compras *online*).
Exchange **(Trocar)**	- Substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados. - Aplicar novas tecnologias (ex.: impressão 3D). - Optar por novos produtos e serviços (ex.: transporte multimodal).

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2015).

No longo prazo, a economia circular pode reduzir custos de produção, mitigar a volatilidade dos preços e de fornecimento, gerar mais empregos e inovação, aumentando o PIB e fortalecendo a resiliência no longo prazo ao desfazer o gargalo provocado pela modelo de consumo excessivo de recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; FILHO, 2014). Stahel (2016) reportou que há estimativas de até US$ 500 milhões de economia em materiais e aumento da força de trabalho em cerca de 4% de modo geral. Na Europa, a

elevação da produtividade de recursos em 30% até 2030, impulsionaria o PIB em 1% e criaria mais de 2 milhões de postos de trabalho sustentáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Além disso, a criação de novos modelos de negócio, como a logística reversa e a comercialização de produtos como um serviço, por exemplo, pode estabelecer uma relação de longo prazo com os clientes, demandando novos serviços empresariais e gerando novas oportunidades de lucro para as empresas. No caso da logística reversa, são necessárias empresas para realizar a coleta, a reforma e a remanufatura dos produtos, bem como outras atuando no mercado secundário de produtos e com plataformas de vendas para prolongar a vida útil dos produtos ou promover sua maior utilização (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

No âmbito ambiental, as oportunidades se encontram no aumento do uso eficiente da terra e na redução das emissões de carbono, do consumo de matérias-primas fósseis e de outros impactos negativos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015). A Organização Não-Governamental (ONG) holandesa Ex'Tax e a *Cambridge Econometrics* estimaram que o deslocamento de 13% do imposto de trabalho para o uso e a eliminação de recursos reduziria as emissões de gases de efeito estufa em 8,2% e aumentaria o emprego em 2,9% em 27 Estados-Membros da União Europeia (UE) (GROOTHUIS, 2014). O Clube de Roma comparou cenários de desenvolvimento para cinco Estados membros da UE e conclui que a energia renovável e a eficiência energética podem reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 50% e, com outras estratégias de economia circular, pode ser alcançado até 70% de redução (WIJKMAN *et al.*, 2015).

Assim, essas iniciativas mencionadas pretendem reduzir custos, riscos e conflitos, gerando novos clientes, maior conhecimento do mercado e a transparência como oportunidades para expansão das empresas (LUZ *et al.*, 2017). De acordo com Clark et al. (2016), a economia circular pode agregar valor a um recurso material que seria resíduo (baixo valor) ao maximizar sua conversão em produtos (alto valor) e, assim, eliminando desperdícios. Embora essas análises de oportunidades e impactos da economia circular baseiem-se em números e pressupostos da Europa, os desafios são universais e as conclusões também são aplicáveis a outras regiões.

Desse modo, a economia circular pode proporcionar inúmeros benefícios. Apesar das crises econômicas mundiais e dos graves acidentes climáticos indicarem sinais da fragilidade do modelo linear de produção e serviços, este sistema ainda é muito resistente a mudanças e, consequentemente, traz intrínseco muitos desafios em todos os níveis. A educação voltada

para o pensamento circular e o estabelecimento de parcerias sólidas entre governos, empresas e universidades se apresentam como os principais desafios a serem superados.

Em paralelo, mensurar o nível de circularidade, bem como seus efeitos, constitui um dos entraves para a implementação efetiva do modelo circular. Nesse sentido, os indicadores de circularidade têm sido as ferramentas mais adequadas para tal e, de modo geral, são úteis para avaliar, por exemplo, a rentabilidade de um negócio, a criação de empregos e os impactos ambientais (LINDER *et al.*, 2017).

Na literatura, os indicadores de circularidade são divididos em nível macro (cidade, país), meso (parques industriais) e micro (produto, organização e consumidores individuais) como mostra o Quadro 4. Para isso, podem ser utilizados diferentes parâmetros como, por exemplo, valor econômico, massa e energia, em função de diferentes variáveis como fluxos, ações, mudanças de estoque, tempo ou proporções (LINDER *et al.*, 2017; PAULIUK, 2018).

GHISELLINI et al. (2016) reporta que o nível macro remete ao desenvolvimento da economia circular em cidades, províncias ou regiões por meio do conceito de Eco-cidades ou *Smart Cities* (“Cidades Inteligentes”). Este conceito, que será melhor discutido na seção 2.4.10, envolve de modo geral um sistema de infraestrutura (transporte, comunicação, estações de tratamento de água, energia limpa e energia elétrica) e o sistema social.

Quadro 4 - Exemplos de indicadores por nível de circularidade.

Nível	Indicadores
Macro	- Consumo de energia por unidade de PIB. - Consumo de água por produto unitário em setores industriais-chave. - Taxa de reciclagem de plásticos e emissões de SO_2.
Meso	- Consumo de energia e de água por unidade de valor de produção industrial. - Taxa de reciclagem de resíduos sólidos industriais. - Proporção industrial de reutilização de água. - Quantidade total de resíduos sólidos industriais para disposição final.
Micro	- Circularidade financeira: proporção do valor econômico recirculado dos componentes em fim de ciclo de vida sobre o valor total do produto. - Índice de economia circular (IEC): valor material (reciclagem) em porcentagem do valor do material (novo produto). - Custos de redução da poluição ambiental das atividades econômicas em função do valor de mercado dos produtos e serviços fornecidos. - *MCI Product-Level Dynamic Modelling Tool e Company-Level Aggregator Tool*.

Fonte: Adaptado de Geng et al. (2012), Linder et al. (2017), Pauliuk (2018) e Ellen MacArthur Foundation (2015).

Os indicadores de nível macro podem ser utilizados para quantificarem o impacto socioeconômico gerado na gestão de políticas públicas implementadas em países ou cidades, além de auxiliar na avaliação e monitoramento de melhorias de políticas e programas. A Comissão Europeia, Japão e China, majoritariamente, são as regiões que mais tem aplicado investimentos na construção de indicadores de circularidade (LINDER et al., 2017; BANAITÉ, 2016). Na China, as leis e regulamentações nacionais decorrentes da política nacional em economia circular alavancaram os estudos sobre os indicadores de circularidade e, por isso, tornando-a o país mais avançado nesse sentido (GENG *et al.*, 2012).

Estes indicadores são medidas valiosas para os tomadores de decisões e políticos de forma a ajudar no alcance dos objetivos e resultados estabelecidos pela economia circular. Entretanto, apesar dos benefícios que podem ser obtidos, uma das críticas a este sistema é a necessidade de uma revisão dos dados obtidos, pois não há um conjunto abrangente de indicadores de sustentabilidade que incluam indicadores sociais, empresariais, materiais, de energia, dentre outros (GENG *et al.*, 2012).

O nível meso é caracterizado por envolver o desenvolvimento de parques eco-industriais e sistemas de simbiose industrial, bem como outras denominações de redes produtivas relacionadas (GHISELLINI *et al.*, 2016), que serão mais bem discutidos na seção 2.4.6. Nesse sentido, os indicadores deste nível têm sido utilizados para avaliar a simbiose entre indústrias e o sistema urbano, isto é, avaliar o nível de troca de materiais entre os mesmos. Os indicadores meso que têm sido desenvolvidos incluem, por exemplo, o número total de empresas, diversidade de setores industriais envolvidos nas atividades, o grau de conectividade entre as indústrias, entre outros (GENG *et al.*, 2012).

O nível micro, por sua vez, remete a adoção de diferentes estratégias por parte de organizações para melhorar a circularidade do seu sistema de produção e de seus produtos. Estas estratégias podem ser, por exemplo, o *ecodesign*, a produção mais limpa, a minimização de resíduos, os sistemas de gerenciamento ambiental, a extensão de vida útil dos produtos, os novos modelos de negócios e os novos modos de consumo (GHISELLINI *et al.*, 2016; LINDER *et al.*, 2017).

Os bens de consumos pouco duráveis, por exemplo, são fabricados em grande volume e comercializados a preço baixo, gerando grande descarte, em volume e materiais empregados, e pouca margem financeira no modelo de retorno. Os entraves se tornam maiores para aqueles produtos, cujas partes são originadas de diversos fornecedores e/ou de vários

locais ou ainda para aqueles cuja composição sofre constantes modificações (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

Algumas empresas estão adotando o "*leasing* químico" em seus modelos de negócio de venda de produtos a fim de garantirem o produto como serviço circular como será visto a diante nos estudos de caso na seção 6.1. A prosperidade dessa nova forma de comercialização, entretanto, exige produtos de maior durabilidade, sistemas de logística reversa efetivos e, principalmente, mudanças radicais na forma de consumo (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

Devido à complexidade dos materiais envolvidos, não há um método padronizado ou bem estabelecido para medir a circularidade no nível micro. Já existem, entretanto, algumas iniciativas como mostrado no Quadro 4. O projeto elaborado em conjunto pela Fundação Ellen MacArthur e a Granta Design, denominado "Projeto de Indicadores de Circularidade", por exemplo, propõe uma metodologia e ferramentas da web, como o *MCI Product-Level Dynamic Modelling Tool e Company-Level Aggregator Tool*, para avaliar o desempenho de um produto ou empresa no contexto de economia circular, no que tange aos riscos ambientais, regulamentares e da cadeia de suprimentos para seus projetos e produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Por conseguinte, é preciso repensar o processo produtivo, redefinir produtos e padrões de consumo e, principalmente, rever os valores humanos. Em um sistema produtivo consolidado e resistente às mudanças, tais ações se apresentam como alguns dos desafios do modelo circular.

Diante dos desafios explicitados, vale destacar algumas diretrizes já aplicadas como exemplo para a implementação desse novo modelo no Brasil. A Holanda, país líder no Top 10 de Índice Global de Inovação e um dos países pioneiros na transição da economia linear para a economia circular, adotou três principais pilares para viabilizar essa mudança (LUZ *et al.*, 2017):

- Informação: A CIRCO (*Dutch Circular Accelerator*) promove cursos de curta duração com foco no desenvolvimento do *design* circular.
- Implementação: Foi realizado um mapeamento das principais necessidades entre os *stakeholders* públicos e privados. Isto gerou um roteiro com metas e passos intermediários que incluem intervenções, capacitações e novos modelos de negócio para serem implementados até 2030.
- Inovação: Como consequência dos dois primeiros pilares, as empresas dispõem de novas estratégias para o fortalecimento de seu mercado e os governos poderão adotar

novas formas de contratos públicos, gerando novos modelos de negócio a nível dos produtos e dos serviços.

No nível das organizações, a Fundação Ellen MacArthur (2012) estabeleceu algumas diretrizes, descritas a seguir, para contribuir na transição da economia linear para a circular:

- Projetar visando a não geração de resíduos (*design out waste*): Propõe o *design* de produtos e processos de modo que o pós-consumo não gere resíduos e, sim, recursos que sirvam como fonte de matéria-prima para nova produção.
- Promover a resiliência, por meio da diversidade: O ciclo de vida do produto ou material será tão maior quanto mais diversificadas forem a sua modularidade, versatilidade e adaptabilidade em relação a novos ciclos. Se contrapõe ao conceito de obsolescência programada do modelo linear.
- Mudança para fontes de energias renováveis: Os sistemas baseados em energia renovável e mais integrados reduziriam a necessidade de insumos à base de combustíveis fósseis e capturariam mais o valor energético dos subprodutos.
- Pensamento sistêmico: A economia circular se concentra na inter-relação integrada entre as partes do ciclo e como estes se relacionam como o todo, cujo fluxo de matéria, energia, bens e serviços deve ser contínuo.
- Pensamento em cascata: Tem como objetivo a criação de uma cadeia de valor pelo uso em cascata dos materiais de forma que estes permaneçam na economia o maior período de tempo possível.

3.3 ATUAÇÃO DA FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR

Como mencionado na seção 3.1, a referência global da Fundação Ellen MacArthur no tema da Economia Circular pode ser atribuída à formação de grandes parcerias, denominadas pela Fundação como filantrópicas, de conhecimento e globais. Os parceiros filantrópicos são as instituições Foundation for Environmental Economics and Sustainability ou Stiftungsfonds für Umweltökonomie und Nachhaltigkeit GmbH (SUN) e a MAVA. Os denominados parceiros de conhecimentos são a ARUP, IDEO, McKinsey & Company e SYSTEMIQ. Por fim, mais de 80 *players* e universidades fazem parte dos parceiros globais, em que alguns são apresentados na Figura 4.

Figura 4. Parceiros globais da Fundação Ellen MacArthur.
Fonte: ellenmacarthurfoundation.org.

Nesse sentido, a Fundação procura disseminar a economia circular por meio de quatro diretrizes interconectadas: *Insight* e Análises; Empresas e Governos; Educação; e Comunicação e Iniciativas Sistêmicas.

3.3.1 *INSIGHT* e ANÁLISES

Nesta diretriz, são conduzidos dois programas para implementar a economia circular na prática, cujos resultados podem ser utilizados para aprimorar o modelo, denominados *Resource Conservative Manufacturing* ("ResCoM") e *Circularity Indicators*.

O programa "ResCoM" tem como objetivo ajudar fabricantes a capturarem valor da remanufatura e reúso de produtos por meio do desenvolvimento de metodologias e ferramentas de tomada de decisão ligadas ao *design*, modelos de negócio, cadeia de suprimentos e tecnologia. O programa, que funcionou por quatro anos até o outono de 2017, foi co-financiado pela Comissão Europeia e executado por um consórcio de doze organizações de pesquisa, indústria e tecnologia. Desde então, quatro empresas participaram: Bugaboo, Gorenje, Loewe e Tedrive. A dinamarquesa Bugaboo, por exemplo, testou o projeto piloto de um carrinho de bebê modular e sua logística reversa, em que pode ser remodelado e vendido novamente com certificação.

O programa *Circularity Indicators* oferece metodologia e ferramentas na forma de indicadores, denominados *Material Circularity Indicator* (MCI) e *Circularity Indicators Webtool*, para avaliar o desempenho de uma empresa ou um produto no contexto da economia circular, além de seus impactos e riscos. Os indicadores podem ser utilizados pelos *designers* de produtos, bem como para relatórios internos, decisões de aquisição e avaliação ou classificação de empresas.

O primeiro indicador, variando entre 0 e 1 (quanto mais próximo de 1, maior circularidade), tem como parâmetros os insumos do processo, os custos dos materiais, vida útil do produto, o pós-uso (reciclagem e aterro), eficiência da reciclagem, riscos e impactos complementares. A empresa ACME, por exemplo, fabricante de tablets conseguiu aumentar este índice de 0.1 para 0.46 devido ao *redesign* do suporte ao substituir um plástico e retardador de chama por alumínio, permitindo uma reutilização mais fácil. O segundo indicador, desenvolvido pela Granta Design, é integrado ao software *MI: Product Intelligence*, permitindo aos usuários analisar e avaliar riscos ambientais, regulamentares e de cadeia de suprimentos para seus projetos e produtos.

3.3.2 EMPRESAS E GOVERNOS

Em 2013, foi lançado o primeiro relatório econômico em conjunto com a McKinsey & Company, intitulado *Towards the Circular Economy*, no qual foram divulgados os potenciais econômicos para a Europa com a economia circular, como por exemplo, uma economia de custos de material de bens complexos com tempo de vida útil médio: motores de veículos, mobília, equipamentos médicos e eletrônicos. Foi estimada por ano em um cenário de transição (ainda conservativo, com mudanças nos projetos de produto e capacitação no ciclo reverso), uma economia de US$ 340 – 380 bilhões e, em um cenário mais avançado (mudanças mais radicais, com cadeias de fornecimento reverso e colaboração entre as mesmas), uma economia de US$ 520 - 630 bilhões. Com isso, em 2014, foi formado um grupo de 100 corporações globais (CE100), incluindo governos e cidades, para a compreensão e implementação das práticas circulares nos seus negócios. Os membros são capacitados para desenvolver ações circulares e colaborarem com organizações chaves a fim de entender as condições necessárias para a transição e implementar projetos piloto.

Em relação às Empresas, além do programa CE100, a Fundação também atua com um projeto denominado *Project MainStream*, que busca acelerar as inovações obtidas dos programas anteriores e ampliar a escala. Liderado por 9 empregas globais (Averda, BT, Tarkett, Royal DSM, Ecolab, Indorama Ventures, Philips, SUEZ e Veolia), este programa tem atuado em três iniciativas: A Nova Economia dos Plásticos, Ativos Inteligentes e Biociclos Urbanos. Tais iniciativas buscam reunir os principais *stakeholders* e gestores governamentais para obterem ao final soluções efetivas para a cadeia dos plásticos, a integração de *Big Data* com a Economia Circular e a captura de valor a partir de resíduos orgânicos sob a forma de energia, nutrientes e materiais.

A Fundação também auxilia Governos a implementarem a economia circular em nível de cidades por meio de políticas públicas. Além do programa CE100, o relatório intitulado *Delivering the Circular Economy – a Toolkit for Policymakers*, publicado em 2015, reporta uma metodologia e ferramentas que podem orientar líderes políticos a realizarem a transição para o modelo circular com a gestão pública. Além disso, a plataforma denominada *Circular Cities Network* permite trocas de conhecimentos entre as cidades pioneiras na aplicação das práticas circulares.

A fim de ganhar escala, o programa CE100 também se estendeu para o Brasil e os Estados Unidos. Apesar de os resultados do programa americano ainda não terem sido divulgados, a Fundação identificou no estudo brasileiro iniciado em 2015, três possíveis setores iniciais em oportunidades de transição para a economia circular:

- Agricultura e ativos da biodiversidade: A empresa Native (Balbo Group) tem aplicado as práticas de agricultura regenerativa no cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. A empresa Natura, com o "Programa Amazônia" tem levado ao desenvolvimento de comunidades locais sob o conceito de "floresta em pé" ao incluir recursos naturais em extinção nos seus produtos.
- Edifícios e construção: A empresa PreCon Engeharia oferece soluções modulares para a construção de prédios, reduzindo a geração de resíduos, custos e tempo de construção. O Grupo Tarkett passou a desenvolver o *design* de ciclo fechado de pisos e superfícies esportivas, além de utilizar materiais reciclados de outros setores econômicos.
- Equipamentos eletroeletrônicos: A empresa Recicladora Urbana oferece serviço de recuperação, reparo e venda de peças usadas e remanufaturadas e equipamentos reformados. A empresa HP Brasil tem atuado com a logística reversa de seus equipamentos, a identificação de oportunidades de recuperação ou reciclagem de materiais em produtos em fim de vida. A empresa Sinctronics realiza a logística reversa de resíduos eletrônicos pós-consumo e os transforma em matérias-primas e componentes para novos produtos. Já a Nat.Genius (unidade de negócio de inovação da Embraco) atua na logística reversa de equipamentos eletrônicos de linha branca (refrigeração principalmente).

A Figura 5 apresenta as corporações membros do programa CE100 Brasil. Vale destacar a presença de 3 empresas com atividades relacionadas com a indústria química (CBPAK, Coca-Cola e Natura) dentre as 24 que totalizam o grupo, apresentando o início de uma representatividade deste setor nos exemplos de modelo circular já existentes no país.

Figura 5. Corporações membro da CE100 Brasil.
Fonte: ellenmacarthurfoundation.org.

3.3.3 EDUCAÇÃO

Procurando atuar em todos os níveis, a Fundação expandiu suas ações para o nível acadêmico, criando o primeiro *Master in Business Administration* (MBA) em parceria com a Escola de Administração da Universidade de Bradford, voltado para o *design* de produto regenerativo, novos modelos de negócios, e logística reversa e, posteriormente, realizando treinamentos em mais de 50% das escolas no Reino Unido.

Sendo o Ensino Superior um dos principais focos da Fundação, diversas universidades em todo o mundo formaram parcerias abrangendo programas de aprendizado presenciais, à distância, cursos e eventos como o *Disruptive Innovation Festival* (DIF). A Figura 6 apresenta algumas das instituições de ensino superior que fazem parte da rede.

Figura 6. Algumas das universidades parceiras da Fundação Ellen MacArthur.
Fonte: Elaborado a partir de ellenmacarthurfoundation.org.

3.3.4 COMUNICAÇÃO E INICIATIVAS SISTÊMICAS

Nesta diretriz, a Fundação tem como objetivo a disseminação dos conceitos circulares por meio de suas iniciativas de pesquisa, relatórios, estudos de caso e livros, que são disponibilizados em mídias digitais, além do site *Circulate*, onde são publicados notícias sobre a economia circular e assuntos relacionados.

Quanto às iniciativas sistêmicas, a Fundação possui duas denominadas A Nova Economia do Plástico e Iniciativa de Fibras Circulares, onde a Fundação reúne os principais *stakeholders* envolvidos ao longo de toda a cadeia para repensá-la e redesenhá-la de modo que se torne circular. O primeiro projeto, com duração de três anos e ainda em andamento, elaborou o Prêmio de Inovação na Nova Economia do Plástico, focando nas embalagens e tem como desafios: i) como fazer com que todos os plásticos sejam recicláveis? e ii) como criar um *design* na sua cadeia de modo que não haja resíduos?

A segunda iniciativa, do projeto de fibras circulares, tem a Fundação C&A, como representante filantrópico, e Nike e H&M como parceiros principais, e reúne os principais representantes da indústria têxtil, mais de 20 empresas líderes, ONGs, organizações filantrópicas e órgãos públicos. Tem como objetivos analisar o fluxo de materiais nesta cadeia, seus respectivos impactos e como torná-la circular.

A Fundação Ellen MacArthur apresenta até agosto de 2017, 11 publicações, 3 livros e 2 *papers*[3], auxiliando as indústrias a caminharem rumo ao modelo circular, obtendo mais valor de produtos e materiais ao desvincular a volatilidade de preço das matérias-primas, dissociando a dependência entre o crescimento econômico e a demanda por recursos finitos e, assim, estabelece maior resiliência econômica.

---

[3]Publicações: *Towards the Circular Economy* (vol.1, 2 e 3); *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*; *Delivering the circular economy: a toolkit for policymakers*; *Towards a Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition*; *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics*; *Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential*; *Circular Economy in India: Rethinking growth for long-term prosperity*; *The New Plastics Economy: Catalysing action; Achieving 'Growth Within'*.
Livros: *A New Dynamic: effective business in a circular economy* (vol. 1 e 2); *The Circular Economy: A Wealth of Flows - 2nd Edition*.
Paper: *Urban Biocycles*; *Cities in the Circular Economy: An Initial Exploration*.

3.4 *DRIVERS* DA ECONOMIA CIRCULAR

Ao longo deste estudo foram verificadas algumas estratificações, apresentadas a seguir, geradas pelo conceito da economia circular, conforme busca e metodologia que será explicada no capítulo 5, cujos fundamentos serviram de base para a construção da base de dados obtida dos estudos de caso.

3.4.1 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A análise de ciclo de vida tem como objetivo avaliar os impactos ambientais de toda a cadeia de produção de um produto, bem como o processo ou operação envolvidos. Além disso, pode verificar as etapas de reuso, remanufatura e reciclagem, indicando os feedbacks positivos e negativos (GENOVESE et al., 2015).

Niero e Olsen (2015) utilizaram a análise do ciclo de vida para avaliar a possibilidade de reutilizar latas de alumínio em múltiplos ciclos e o impacto destes, sendo incluído o efeito dos principais elementos da liga (Mn, Si, Cu, Fe). No estudo, foi verificado que o reciclo com latas de alumínio para bebidas produz menos impacto ambiental do que a mistura de sucatas das latas devido ao menor efeito à mudança climática.

Para que esta redução de impacto ambiental seja alcançada, foram propostas a redução do peso da tampa, o desenvolvimento de métodos para separar o corpo e a tampa no ponto de coleta e mais pesquisas voltadas para cadeias de fornecimento em múltiplos ciclos (latas de alumínio, entre outras). Tais ações vão de encontro à proposta da economia circular em criação de valor em modelos de negócios, integrando o sistema ambiental, econômico e social.

Nesse sentido, Genovese et al. (2015) realizaram dois estudos de caso, um na indústria de alimentos e outro na indústria química, a fim de avaliar o efeito da gestão sustentável de uma cadeia de fornecimento entre a produção tradicional linear e a proposta circular. Desse modo, mediram indicadores como emissões diretas, indiretas e totais do ciclo de vida, os resíduos recuperados, o uso de recursos virgens e as emissões de carbono.

Para isto, foram comparados os efeitos da produção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado (modelo circular) e óleo virgem (modelo linear) na configuração da sua cadeia de fornecimento. Foi observada a redução de 0.5135 kg CO_2-eq/kg nas emissões totais de carbono e de 7% na massa de óleo de cozinha necessária para o modelo circular.

O estudo de caso para a indústria química tratou da comparação entre as emissões de carbono de cloreto de ferro (produção tradicional) e do sulfato ferroso (produzido a partir de resíduo ácido da síntese de dióxido de titânio) no processo de tratamento de água (GENOVESE *et al.*, 2015), cujos resultados mostraram uma redução significativa de 0,6647 Kg $CO_{2\text{-eq}}$/ Kg entre as emissões destes sais.

3.4.2 MODELAGEM

Este tópico aborda a criação de modelos empíricos de caráter matemático, financeiro e teórico.

GEORGE et al. (2015) propuseram um modelo matemático a fim de analisar o impacto econômico do material reciclado, assim como oferecer uma nova perspectiva de alcançar a economia circular, cujas entradas foram os materiais poluentes e a reciclagem.

O modelo proposto omitiu o crescimento populacional, o acúmulo de capital e o progresso tecnológico. Tal estudo permitiu que os autores concluíssem que o crescimento econômico é sujeito: ao produto marginal da reciclagem; à taxa de reciclagem; ao custo de usar a entrada de poluentes e ao nível de poluição ocasionada pelo emprego da entrada de poluentes.

Filho et al. (2016) estudaram os investimentos em ativos imobilizados como, por exemplo, equipamentos, veículos, ferramentas e terreno, para a instalação de uma Usina de Reciclagem de Entulho (URE) de médio porte a ser instalada na zona Leste da cidade de São Paulo para atender o setor de construção civil ao gerar matéria-prima para novas construções a partir de resíduos deste setor. Para o investimento total, o custo de instalação foi a soma dos investimentos na aquisição do terreno, de veículos próprios e de equipamentos, bem como a instalação destes e de investimento incorrido com obras civis.

Apesar de os investimentos destes ativos serem altos e a qualidade inferior dos agregados reciclados limitarem a sua utilização, a alta demanda da região estudada e os menores preços de comercialização destes agregados em relação aos naturais viabilizam a instalação e vão de encontro ao conceito da economia circular. Desde que a URE seja veículo de reinserção dos resíduos e gere uma cadeia cíclica nas atividades de construção civil.

Filho (2014) propôs um modelo teórico para avaliar níveis de maturidade de sustentabilidade quanto ao desenvolvimento de produto no setor automotivo. Tal estudo foi aplicado às montadoras brasileiras de veículos de passeio, cujos variáveis trabalhadas foram

relevância, complexidade e impactos dessa etapa da cadeia de produção ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Os níveis de maturidade foram avaliados quanto à orientação estratégica, *design*, processo de desenvolvimento, aspectos ambientais e resultado. A aplicação do modelo proposto permitiu identificar que a sustentabilidade está pautada em ações secundárias, o pós-consumo é negligenciado, sendo a manufatura e o uso do produto no curto prazo os principais focos.

Além disso, barreiras causadas pela falta de suporte de leis e políticas públicas e da educação do consumidor levam essas organizações a desviarem seus investimentos do desenvolvimento de produtos mais sustentáveis.

3.4.3 BIOBASED INDUSTRIES

Segundo dados da *Bio-based Industries Consortium* (BIC), a bioeconomia europeia alcançou € 2,1 trilhões em negócios e 18,3 milhões de trabalhadores em 2013. Os principais *players* do setor apresentam perspectiva positiva em relação a este mercado, como é o caso da BASF, cujos investimentos se concentram em bioplásticos e tecnologias verdes (BUSINESS, 2016).

O Brasil, líder na utilização de matérias-primas renováveis, apresenta o polietileno verde da Braskem com capacidade instalada de 200 Kta e a indústria do etanol é referência no país. Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) *apud* Carlos et al. (2014), 20% das espécies mundiais se encontram em território brasileiro, representando a maior biodiversidade do planeta e mais de 25% do PIB é composto pelo agronegócio.

Entretanto, a bioeconomia não trata somente da geração de bioprodutos a partir de fontes renováveis de matérias-primas, mas também da transformação destas e de seus resíduos em produtos de alto valor agregado por meio de processos sustentáveis, com incentivos em inovação e conhecimento biotecnológico (BAIN & COMPANY, 2014). Isto, por sua vez, vai de encontro aos preceitos da economia circular, desde que tais fontes retornem ao ciclo biológico.

Vários avanços já foram alcançados em Taiwan, na Dinamarca, Alemanha, Suíça e Estados Unidos a partir de resíduos agrícolas, florestais, sólidos urbanos, industriais e animais dos quais passaram por processos físicos, térmicos, químicos e biológicos (como combustão, gaseificação e digestão anaeróbia) para produzir produtos bioenergéticos, por exemplo,

biogás, biocombustíveis e biocarvão e, estes por sua vez, voltaram à cadeia produtiva como fonte de recursos para produção de outros produtos (PAN et al., 2014).

PAN et al. (2014) estudaram a viabilidade das rotas *waste–to–energy* (WTE) para a economia circular em Taiwan (Figura 7). As principais barreiras relatadas pelos autores são aspectos tecnológicos relacionados à tecnologia mais eficiente e ambientalmente sustentável e, correlacionado a isto, aspectos financeiros e institucionais devido aos altos custos inicias de capital, além das barreiras regulatórias como falta de políticas públicas que apoiem a implementação de tais tecnologias e pressionem as empresas pelas externalidades geradas.

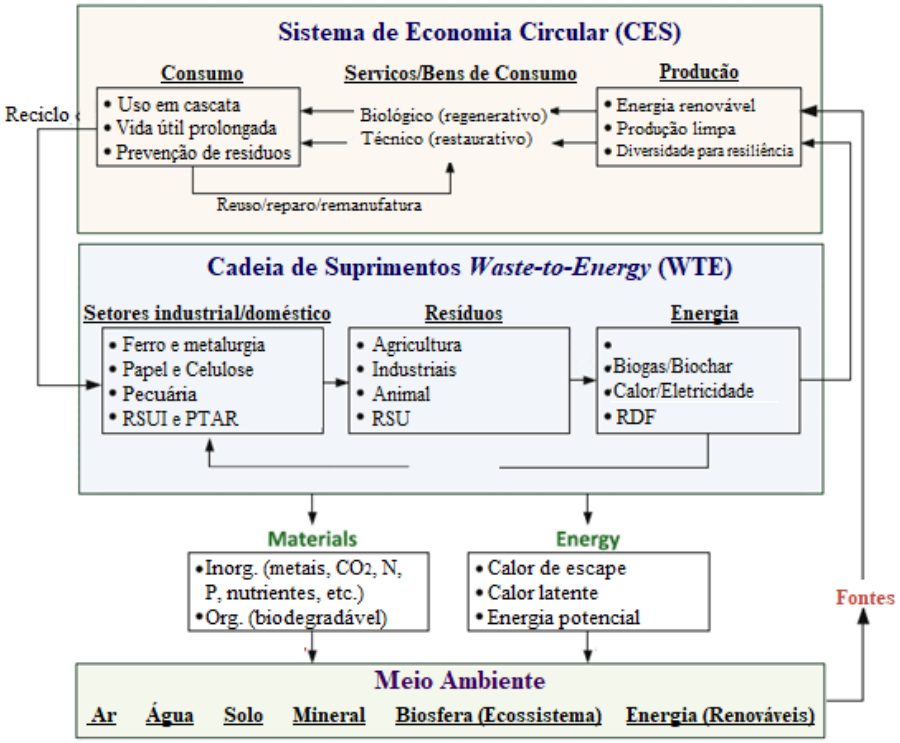

Figura 7. Estrutura conceitual da relação entre o sistema de economia circular (CES), as cadeias de resíduos para energia (WTE) e o ambiente.
Fonte: Adaptado de PAN et al. (2014).

3.4.4 *DESIGN*

Inspirado na expressão "*Waste is a Design Flaw*" do projeto britânico *The Great Recovery*, surgiu a expressão "O lixo é um erro de *design*"[4] (RSA, 2016). Por isso, o *design* é

[4] O projeto *The Great Recovery* foi realizado pela RSA (*Action and Research Centre*) em conjunto com a *Innovate* UK, entre 2012 e 2016, em que foram analisados os desafios do desperdício e as oportunidades de uma economia circular por meio do *design* (RSA, 2017).

um dos fatores mais importantes que influenciam na construção de um ciclo regenerativo e restaurativo proposto pela economia circular.

O *design* está interligado ao redesenho das cadeias produtivas e dos produtos de modo a torná-los desmembráveis para a remanufatura, reciclagem e reuso. A existência de produtos químicos sem um meio estabelecido de reciclagem ou certas combinações de materiais diferentes podem tornar a separação lenta ou difícil, acarretando na redução do serviço fornecido pelo recurso material contido nesse produto e o valor contido em cada componente do resíduo não será mantido (CLARK *et al.*, 2016).

Filho (2014) utilizou dos conceitos de *ecodesign* e economia circular para propor um modelo de maturidade relativo ao uso de princípios de sustentabilidade incorporada ao desenvolvimento de produtos no setor automotivo brasileiro. O autor verificou que a maioria das empresas se concentram na fase de manufatura e uso, não havendo iniciativas para o fechamento da cadeia.

A empresa de aparelhos celulares Fairphone lançou, em 2015, o telefone modulável Fairphone 2, no qual suas peças são totalmente desmembráveis e reparadas isoladamente, retornando-as à cadeia de eletrônicos[5]. No mesmo ano, a companhia Agua Costa Rica criou uma garrafa d'água em PET, cujo conjunto pode ser encaixado e formar telhas garantindo alta capacidade isolante e evitando o descarte inadequado deste plástico[6]. Tais exemplos, mostrados na Figura 8 corroboram com a expressão anteriormente citada ao mostrarem que o *design* pode auxiliar a repensar o modelo de negócio, a cadeia produtiva ou o produto desde a sua concepção e, dessa forma, apresenta um importante papel na construção de uma economia mais circular.

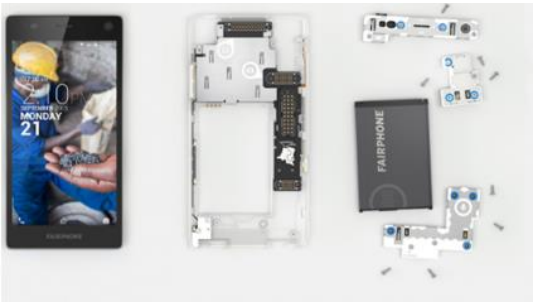

Figura 8. Exemplos de modelos redesenhados.
Fonte: fairphone.com

[5]Fonte: http://www.fairphone.com/en/
[6] Fonte: http://aguacostarica.com

3.4.5 LOGÍSTICA REVERSA

A logística reversa se apresenta como novo modelo de logística empresarial que objetiva planejar, operar e controlar o fluxo de bens de pós-venda e pós-consumo, bem como o seu retorno ao ciclo de negócios ou produtivo. Como resultado tem-se a agregação de valor econômico, ambiental, legal, de prestação de serviços, logístico e de imagem corporativa (LEITE, 2009).

No Brasil, a Lei Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010) sedimentou a necessidade de uma gestão pública nesse sentido e fomentou no país o crescimento da logística reversa. Segundo esta legislação, é obrigatório que os resíduos sólidos retornem ao setor empresarial para reaproveitamento, no próprio ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (AZEVEDO, 2015). Os produtos incluídos neste sistema de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) são (ALBUQUERQUE, 2013):

- Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens;
- Pilhas e Baterias;
- Pneus;
- Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- Lâmpadas Fluorescentes (de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista);
- Produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
- Outras embalagens plásticas, metálicas e de vidro a depender do grau e extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente gerados pelos seus respectivos resíduos.

Dessa forma, a logística reversa envolve todos os atores da cadeia produtiva, como o fabricante, importador, distribuidor, comerciante e consumidor, que assumem responsabilidades correspondentes ao seu papel na mesma: i) os fabricantes e importadores devem recolher os produtos usados e dar a sua disposição adequada; ii) os varejistas e distribuidores fazem a ‘distribuição’ dos produtos que venderam aos seus consumidores; e, por fim, iii) cabe os consumidores devolver os produtos usados em pontos de devolução voluntária ou através de coleta seletiva em suas residências (COSTA *et al.*, 2016).

O modelo de negócio operado pelo Bolsa Verde do Rio (BVRIO) tem gerado resultados positivos na comercialização de créditos de logística reversa de embalagens,

madeira, reserva florestal, pneus e outros setores. A organização atua como bolsa de valores ambientais e, no caso das embalagens, funciona como veículo de geração de renda para catadores e cooperativas, cujas coletas são revertidas em créditos comprados pelas empresas que precisam cumprir com a Lei (INSTITUTO BVRIO, 2015).

3.4.6 SIMBIOSE INDUSTRIAL

A simbiose industrial ocorre quando há cooperação entre centros de produção voltada para o intercâmbio de resíduos e insumos. Isto, por sua vez, deu margem à formação de parques industriais, cujo foco abrange não somente o setor industrial, mas também o setor público, privado, gestores, comunidade e outros *stakeholders*. Isto é, todo o processo é voltado para a otimização de energia, água, rejeitos e outros recursos entre as empresas que ali se encontram (LOURENÇO; CHIARAMONTI, 2014; SANTOS, 2013).

Essas empresas podem estar dentro da mesma área física (*clusters* industriais), ou virtuais, quando a integração transcende o limite físico. Dessa forma, as empresas que fazem parte do grupo podem se beneficiar da economia de escala, da redução do desperdício e dos custos (LOURENÇO; CHIARAMONTI, 2014).

No primeiro caso, estes autores discutiram o caso do parque industrial ecológico de Quzhou (província de Zhejiang no Leste da China). Este parque é formado pelo Grupo Juhua e contém mais de 30 indústrias da área química. Os dejetos de HCl do gás freon é passado para uma empresa que produz PVC, reduzindo o consumo de HCl na produção de PVC e, consequentemente, o custo de produção de PVC.

Além disso, 80% dos resíduos sólidos gerados anualmente pela companhia central deste parque, Juhua, são aproveitados por empresas produtoras de tijolos e 70% dos rejeitos líquidos anuais são repassados para pequenas empresas deste parque para reciclagem e reuso.

No segundo caso, pode-se citar o Programa de Bolsa de Resíduos da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN), que armazena dados de resíduos demandados e ofertados pelas indústrias e permite a troca. O parque industrial de Kalundborg na Dinamarca situa-se na mesma região geográfica, porém em áreas diferentes e o de Brownsville, no Texas, no qual atende a região de Brownsville e a de Matamoros no México (LOURENÇO; CHIARAMONTI, 2014).

Liu et al. (2016) compararam dois parques industriais, o *Tianjin Economic Development Area*, na China, e o *Burnside Industrial Park*, no Canadá, em relação às ações desenvolvidas para a forma de produção ecológica.

No parque canadense, por exemplo, muitas empresas do setor químico recarregam as garrafas utilizadas, enquanto outras reutilizam as caixas de suprimentos para envio de produtos a seus clientes e, outras ainda, alugam paletes para este serviço.

Já no parque chinês, a empresa Taiding e a empresa Dongbang possuem capacidade de 90 t/dia e 80 t/dia para lidar com resíduos eletrônicos e reutilização de recursos, respectivamente. Além disso, o parque tem capacidade de coletar 400 mil toneladas de lixo e gerar 0,13 bilhões de graus de energia.

3.4.7 ECONOMIA COLABORATIVA

A definição de economia colaborativa ainda não foi concordada de forma universal, porém de modo geral pode ser traduzida pelo conceito de valor compartilhado (*Shared Value*), no qual práticas interdustriais e intraindustriais permitem o intercâmbio de conhecimentos e recursos, investimento em inovação, formando uma rede de cooperação (ZINGANO, 2015).

A prática de colaboração nos modelos de negócios, ao final da década de 90, deu origem ao Linux e proporcionou que a mineradora canadense Goldcorp Inc. não entrasse em falência. Por conseguinte, a economia de compartilhamento ganhou cada vez mais espaço, gerando o Uber e o Airbnb em 2008 e 2009, respectivamente (ZINGANO, 2015; BALESTRIN; VERSCHOORE, 2016).

A economia de colaboração também inclui inovações promovidas pela ascensão de novas tecnologias, como o acesso a *Big Data*, Internet das Coisas e a disponibilidade de um conjunto de "aplicativos" e plataformas de compartilhamento (HOBSON; LYNCH, 2016). Nesse contexto, as atividades colaborativas incluem a recirculação de bens, utilização e duração aumentada de mercadorias, troca de serviços, e compartilhamento de capital produtivo e espaços (ZINGANO, 2015).

Tais ações se relacionam diretamente com a economia circular, tornando o produto como serviço e o consumidor como usuário. WITJES e LOZANO (2016) propuseram um novo modelo de negócio entre clientes e fornecedores, modificando o preço por unidade de um produto para preço por serviço, compartilhando a responsabilidade do produto/serviço (Figura 9). Tal modelo pode reduzir o dispêndio com recursos e a geração de resíduos.

Figura 9. Modelo estrutural de colaboração entre cliente e fornecedores para a economia circular.
Fonte: Adaptado de WITJES e LOZANO (2016).

O número de empresas globais participativas deste processo é cada vez mais crescente. A Procter & Gamble adotou a estratégia de inovação aberta com o programa "Conectar + Desenvolver", em 2006, e obteve um aumento de 60% na produtividade da sua P&D. Um dos "9 Princípios de Inovação" do Google é "Processos abertos como padrão". A Embraco desenvolveu o primeiro compressor para geladeiras que funciona sem óleo lubrificante em parceria com a Fisher & Paykel, fabricante neozelandesa de eletrodomésticos e com a Universidade Federal de Santa Catarina (OVANESSOFF; PLASTINO; FALEIRO, 2015).

Para realizar a prática da economia colaborativa, Ovanessoff, Plastino e Faleiro (2015) alertam para três competências-chaves a serem desenvolvidas: a capacidade de encontrar parceiros, de combinar competências técnicas e pessoais e de tornar a empresa um parceiro atraente. Acima de tudo, contar com colaboradores dispostos a criarem um círculo virtuoso de maior colaboração e mais inovação.

Dentre os *drivers* da economia circular discutidos até então, foi observado que a economia colaborativa é que mais recebe resistência para o advento do modelo circular econômico. Aqueles autores que a defendem argumentam o poder inovador e o potencial de gerar um grande impacto positivo (KRAAIJENHAGEN; BOCKEN, 2016).

3.4.8 CHEMICAL LEASING

Chemical leasing ou "*leasing* químico" é um novo modelo de negócios que foi iniciado e subsidiado pelo Ministério Federal Austríaco para Agricultura, Silvicultura, Meio Ambiente e Gestão da Água em conjunto com a *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO) em 2004 (JAKL, 2011). Originado dos conceitos de *Clean*

Production[7], este modelo de negócio tem como principais diretrizes promover a racionalização do uso de produto químico, o aumento da segurança química e a redução do descarte (OESTREICH, 2014).

O novo aspecto decisivo deste modelo de negócio, que se distingue da relação tradicional fornecedor-usuário, é ter como base de pagamento para a operação comercial o serviço realizado pela substância química, isto é, a unidade de pagamento pode ser, por exemplo, de acordo com a área limpa, número de peças tratadas, horas de operação executadas (JAKL, 2011). O cliente (consumidor do produto) determina as especificações (padrão de qualidade e função esperada) e o fornecedor desenvolve soluções por meio de produto, tecnologias de aplicação e/ou treinamentos e estabelece parcerias com fornecedores de equipamentos, recicladores, entre outros *stakeholders* da cadeia produtiva.

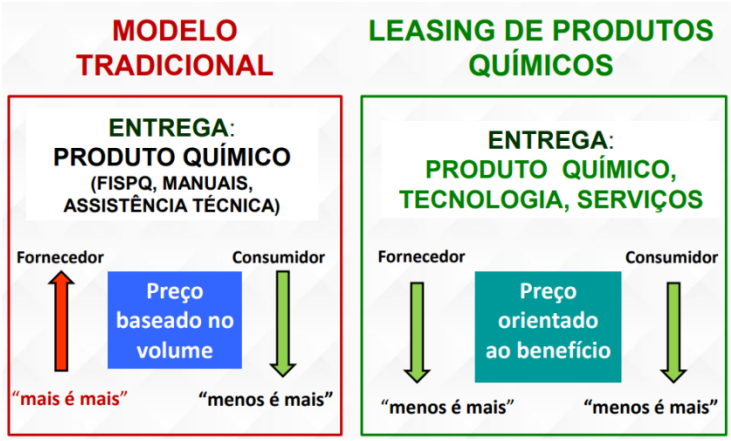

Figura 10. Esquema comparativo entre o modelo tradicional e o modelo *chemical leasing* de comercialização de produtos químicos.
Fonte: Oestreich (2014).

Assim, os objetivos entre o fornecedor e o cliente se tornam alinhados (Figura 10), ao formarem parceria para que a *performance* e serviço do produto sejam comercializados em vez do volume, resultando em redução de custos, carga de trabalho, emissões, gerenciamento de resíduos e melhor desempenho (OECD, 2017; JAKL, 2011). Atualmente, este modelo tem sido aplicado em mais de 14 países em diferentes setores como, por exemplo, Alimentos e Bebidas, Automotivo, Eletroeletrônicos, Petroquímica, entre outros (DECKER e REINHARD, 2015; SCHWAGER *et al.*, 2016).

[7]*Clean Production*: Este conceito, criado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro (BR) em 1992, tem como principal objetivo aumentar a eficiência dos recursos e a redução de riscos para os seres humanos e o meio ambiente (OECD, 2017).

3.4.9 PAÍSES/CIDADES INTELIGENTES

A expansão de tecnologias digitais, como “aplicativos”, plataformas de compartilhamento, o *Big Data* e “Internet das Coisas”, aumentam a conectividade não somente entre as pessoas, bem como a sua interrelação com o meio externo.

Nesse sentido, surge o conceito de cidades inteligentes (*smart cities*), em que governo, empresas e sociedade devem atuar de modo integrado a fim de promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social por meio de serviços públicos eficientes e uso de tecnologias digitais de forma empreendedora e espontânea (GUIMARÃES; SILVA, 2016).

Há quase 10 anos foi criada a organização global “*C40 Cities Climate Leadership Group”* composta atualmente por mais de 80 metrópoles, dentre as quais estão Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba e Salvador. As ações propostas são voltadas para redução das emissões de CO_2, alterações climáticas e aumento da temperatura global (C40 CITIES, 2017).

A prefeitura de Roterdã formulou algumas etapas para o desenvolvimento da economia circular na cidade, cuja primeira fase deverá ser efetivada até 2019 e a segunda concluída até 2030. Tais ações abordam a logística reversa de resíduos urbanos, o compartilhamento de carros, geração de energia por meio dos resíduos (“*waste-to-energy”*), “*leasing”* químico, entre outros (ROTTERDAM, 2016).

Há pelo menos uma década, a China é líder mundial na promoção da recirculação de resíduos por meio do estabelecimento de metas e de políticas públicas, medidas financeiras e legislação. Além do caso já citado do parque industrial de ecológico de Quzhou, no Novo Distrito de Suzhou, os fabricantes de placas de circuito impresso usam cobre recuperado de resíduos de outras partes do parque (STANSFIELD, 2008).

Assim, as ações propostas promovem o surgimento de novos modelos de negócios e serviços como, por exemplo, a economia colaborativa, o produto como serviço, a extensão da vida útil do produto, os resíduos como recurso e o uso de energias renováveis, que podem trazer inúmeros benefícios.

É fato inegável a necessidade da transição do atual modelo econômico linear para o modelo circular. Os movimentos globais provocados pelas autoridades públicas e privadas demonstram que este novo modelo apresenta forte potencial de substituição, desde que hajam profundas mudanças culturais nas organizações, nos governos e nos cidadãos.

4 INDÚSTRIA QUÍMICA

4.1 CONCEITOS GERAIS

A indústria química é definida como uma indústria de processos químicos e biotecnológicos, na qual converte matérias-primas (petróleo, gás natural, biomassa e outras) em mais de setenta mil produtos químicos (ABIQUIM; CNI, 2012; COSTA; SILVA, 2011). Os produtos, por sua vez, por terem diferentes aplicações são base para diversas indústrias, que com seus respectivos mercados comerciais e características lidam em algum momento com o processo de transformação da matéria a nível químico. Devido a essa abrangência comercial, este setor apresenta-se como área estratégica para o desenvolvimento de um país (DUARTE; BALTAR, 2008).

Devido a sua alta complexidade conferida pelos processos e produtos, a indústria química está interrelacionada com diversos setores da economia a montante e a jusante, fornecendo insumos e produtos para outras indústrias, agricultura e serviços (Figura 11). Os produtos gerados por este setor são essenciais nas atividades humanas, desde o uso defensivos e fertilizantes na agricultura, de aditivos e conservantes na produção de alimentos, fármacos na medicina, adesivos e selantes na construção civil, plásticos nas embalagens, dentre outros (BORSCHIVER, 2002; COSTA; SILVA, 2011).

Figura 11. Setores a montante e a jusante da cadeia produtiva da indústria química.
Fonte: Borschiver (2002).

A indústria química pode ser classificada sob vários pontos de vista: origem, propriedades físicas ou mecânicas dos produtos, posição na cadeia de produção, da aplicação final do produto ou em função do segmento de atividade (BORSCHIVER, 2002). No âmbito internacional, uma das classificações utilizadas é a *International Standard Industry Classification* (ISIC), criada em 1948 e gerida pela ONU. No entanto, a ocorrência de muitas divergências que dificultavam a análise de dados referentes ao setor levou à atualização da ISIC (Revisão nº 4), que serviu como base no Brasil para o enquadramento de todos os produtos químicos na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), criada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1994 (ABIQUIM; CNI, 2012; LACERDA, 2009).

Em 2006, esse enquadramento foi realizado pelo IBGE com o apoio da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) e reproduzido na CNAE 2.0 (versão mais recente). Nesta os produtos pertencentes à indústria química passaram a ser contemplados nas divisões 20 e 21, dentre eles: produtos químicos de uso industrial (químicos orgânicos; inorgânicos; resinas e elastômeros; adesivos e aditivos) e produtos químicos de uso final (fibras artificiais e sintéticas; defensivos agrícolas; fertilizantes; produtos de limpeza, cosméticos e perfumaria em geral; farmoquímicos e farmacêuticos; e tintas, vernizes, esmaltes e afins (ABIQUIM, 2012). A classificação de tais produtos segundo a CNAE 2.0 se encontra detalhada no Quadro 5.

Quando se trata da indústria química pode-se interligar à indústria petroquímica no Brasil, na qual utiliza matérias-primas geradas pela indústria petrolífera, como a nafta e o gás natural, ao mesmo tempo em que gera insumos para a indústria química (PANASSOL, 2013). Outras principais fontes de matérias-primas para a indústria química no país são o etano, propano, condensados de refinaria e, mais recentemente, a biomassa (principalmente para etanol) (ABIQUIM; CNI, 2012).

Quadro 5 - Classificação dos produtos químicos segundo CNAE 2.0.

Divisão CNAE 2.0	Classificação CNAE 2.0	Descrição
Produtos Químicos (20)	Fabricação de produtos químicos inorgânicos (20.1)	Cloro e álcalis; intermediários para fertilizantes; adubos e fertilizantes, gases industriais; outros inorgânicos não especificados.
	Produtos químicos orgânicos (20.2)	Petroquímicos básicos; intermediários para plastificantes, resinas e fibras; outros orgânicos não especificados.
	Resinas e elastômeros (20.3)	Resinas termoplásticas, termofixas e elastômeros
	Fibras artificiais e sintéticas (20.4)	Fios, cabos e filamentos artificiais; fibras sintéticas acríclicas, de poliamida, poliéster, entre outros.
	Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitário (20.5)	Defensivos agrícolas, desinfetantes domissanitários
	Sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal (20.6)	Sabões e detergentes sintéticos; limpeza e polimento; cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal
	Tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins (20.7)	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas; tintas de impressão; impermeabilizantes, solventes e afins
	Produtos e preparados químicos diversos (20.9)	Adesivos e selantes; explosivos; aditivos de uso industrial; catalisadores; produtos químicos não especificados anteriormente.
Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21)	Farmoquímicos (21.1)	Substâncias químicas obtidas por síntese química utilizadas na preparação de medicamentos
	Farmacêuticos (21.2)	Medicamentos para uso humano, veterinário e preparações farmacêuticas.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados na ABIQUIM (2012) e IBGE (2007).

4.2 CENÁRIO MUNDIAL

A indústria química é setor de suma importância para o desenvolvimento econômico, industrial e social de um país. Wongtschowski (2011) reportou que as grandes potências mundiais também são líderes na fabricação de produtos químicos, em que a expansão da capacidade produtiva da química possibilitou inúmeras oportunidades de trabalho e investimentos que geraram valor às suas matrizes industriais.

A Tabela 1 compara o faturamento líquido da indústria química dos principais países no *ranking* mundial entre 2006 e 2016. Podem-se perceber mudanças significativas no cenário mundial em 10 anos, principalmente com relação à China, que passou a liderar o ranking mundial do faturamento líquido da indústria química. Em 2016, a economia chinesa com US$ 1.907 bilhões de faturamento obteve um expressivo crescimento de 515% neste período, 6,3 vezes acima do crescimento global no mesmo período.

Tabela 1 - Faturamento líquido da indústria química mundial entre 2006 e 2016 em US$ bilhões.

País	**Faturamento 2006**	**Posição 2006**	**Faturamento 2016**	**Posição 2016**	**Crescimento (%)**
EUA	637	1ª	768	2ª	20,5
China	**310**	**2ª**	**1907**	**1ª**	**515,0**
Japão	223	3ª	262	3ª	17,4
Alemanha	204	4ª	236	4ª	15,7
França	124	5ª	133	7ª	7,2
Coréia do Sul	**105**	**6ª**	**166**	**5ª**	**58,0**
Reino Unido	100,8	7ª	99	10ª	- 1,7
Itália	99,4	8ª	87	12ª	- 12,5
Brasil	**83**	**9ª**	**107**	**8ª**	**28,9**
Índia	**76**	**10ª**	**133**	**6ª**	**75,0**
Total global (US$ trilhões)	**2,87**		**5,2**		**81,2**

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABIQUIM (2017) e ABIQUIM (2007) *apud* Lacerda (2009).

Vale destacar também a evolução bastante expressiva da Coréia do Sul e da Índia nesta década, que aumentaram em 58% e 75% seus faturamentos tendo obtido US$ 116 bilhões e US$ 133 bilhões em 2016, respectivamente. Sendo os maiores crescimentos após a China neste período, a Índia saltou quatro posições no *ranking* e a Coréia subiu uma posição. Tais dados evidenciam uma potencial mudança de direção do domínio geopolítico para o oriente, que poderá influenciar políticas e economias mundiais.

Por outro lado, é possível perceber também a forte queda de outras potências mundiais como o Reino Unido e a Itália, que apresentaram um decréscimo de 1,7% e 12,4% no faturamento líquido, respectivamente, no período analisado. Os Estados Unidos, apesar de terem perdido a liderança desde 2009, se mantém na segunda posição, tendo obtido um crescimento de 20,5% com 768 US$ bilhões em 2016 e o Japão com US$ 262 bilhões,

manteve-se na terceira posição e cresceu 17,4%. Com isso, os três principais líderes representam juntos em torno de 43% do faturamento mundial (ABIQUIM, 2015, 2017).

A indústria química europeia enfrenta grandes desafios à medida que as cadeias de valor se movem cada vez mais para o leste, atraídas pelo crescimento econômico e oportunidades de mercado na Ásia. Desde meados da década de 1980, a indústria química global cresceu 7% ao ano, atingindo € 2.4 trilhões em 2010. A maior parte deste crescimento foi impulsionada pela Ásia, que passou de € 480 bilhões em vendas de produtos químicos globais em 1985 para € 2.353 bilhões em 2010 (quase metade das vendas) e almeja possuir dois terços do mercado até 2030 (Figura 12) (AT KEARNEY, 2012).

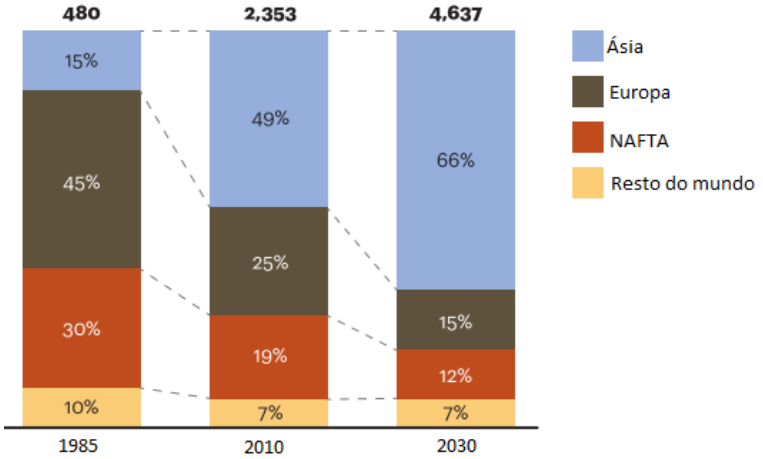

Figura 12. Evolução global das vendas em produtos químicos em € bilhões.
Fonte: Modificado de AT KEARNEY (2012).

No mercado asiático, a China é o país que mais tem atraído os produtores europeus pelos altos índices de crescimento nos últimos anos e potencial em *market share*. Nesse sentido, muitas indústrias estão mudando as operações para o Oriente a fim de atender a enorme demanda asiática, tornando o país altamente competitivo. Os principais mercados finais crescentes em demandas estão no setor automotivo, de construção civil e de celulose (AT KEARNEY, 2012).

A produção global de produtos químicos (exceto farmacêuticos), também aponta para um expressivo crescimento do domínio asiático, principalmente, com relação à China (Figura 13). Com taxa de crescimento de 10,5% ao ano, o país aumentou sua receita obtida da produção de US$ 773 bilhões em 2010 para US$ 1.275 bilhões em 2015, podendo aumentar ainda em torno de 35% até 2020. Em pararelo, a Europa e a América do Norte cresceram apenas 2,8% e 1% entre este período, respectivamente, tendo previsão de leve melhora até

2020. Tais resultados corroboram com a tendência de movimento global de crescimento na indústria química pelos países asiáticos emergentes (AT KEARNEY, 2012).

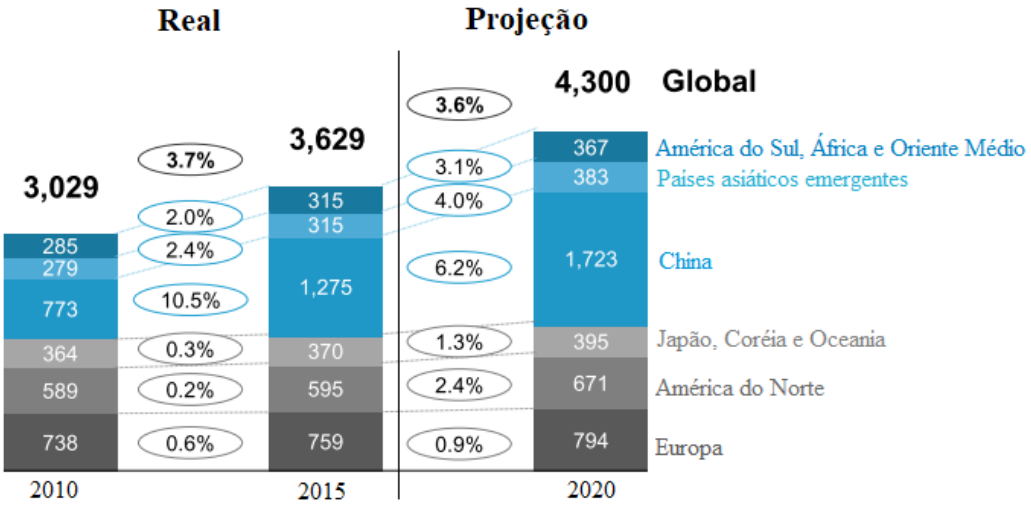

Figura 13. Evolução da produção de produtos químicos (exceto farmacêuticos) em US$ bilhões e taxa de crescimento por ano dos principais mercados globais entre 2010 e 2020.
Fonte: Adaptado de Bock (2015).

Além disso, a China tem apresentado crescentes taxas de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de produtos químicos e fármacos (Figura 14). De 2010 a 2015 aumentou seus investimentos em 10% e possui projeção para chegar em 15%, aproximadamente, em 2030, ultrapassando o Japão e a Alemanha. Apesar de a União Europeia e os Estados Unidos apresentarem taxas de investimento superiores à China, a tendência para os próximos anos é que haja decrescimento, podendo reduzir em quase 10% no caso da UE (BOCK, 2015).

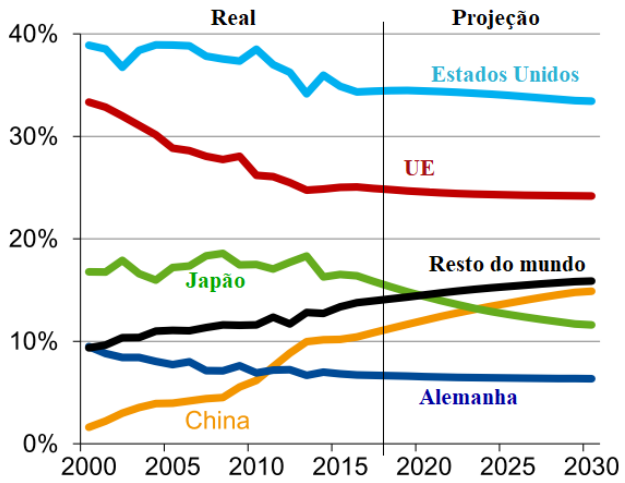

Figura 14. Investimentos globais em P&D em produtos químicos e fármacos entre 2000 e 2030.
Fonte: Adaptado de Bock (2015).

4.3 CENÁRIO BRASILEIRO

A indústria química brasileira exerce importante contribuição para o PIB nacional, tendo a maior participação em 2004 com 3,6% e estagnação desde 2009, chegando a 2,4% em 2016. Por outro lado, o setor ocupa a 3ª posição no *ranking* de contribuição na indústria de transformação com 10,8%, atrás da indústria de alimentos com 22% e do setor de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis com 15,7%, que ocupam a primeira e segunda posição, respectivamente (ABIQUIM, 2017a). Tais dados demonstram a importância da participação da indústria química por meio do consumo de produtos químicos em diversos setores da economia como indústria automobilística, construção civil e de embalagens. (LACERDA, 2009).

No Brasil, o faturamento químico apresentou crescimento de 28,9%, chegando a US$ 107 milhões em 2016. Esses dados apontam para um cenário positivo da indústria química brasileira neste período, obtendo crescimento acima de grandes potências, como Japão e Alemanha.

Em 2011, a indústria química nacional conseguiu avançar significativamente, passando a ocupar a 6ª posição no mundo com US$ 149,8 bilhões (3,1% do faturamento mundial naquele ano) e crescimento de 16,5% em relação ao ano anterior. Entretanto, passou a ocupar a 8ª posição com US$ 109,2 bilhões (2,1% do total) em 2016 e decréscimo de 2,6% em relação a 2015, representando uma perda considerável no mercado mundial (ABIQUIM, 2016, 2017; PANASSOL, 2013).

No Brasil, o setor vem apresentando oscilações significativas no faturamento líquido há alguns anos, apresentando em 2015 uma forte queda em torno 24%, a maior em 10 anos, seguida da queda de 2009 com cerca de 10% (Figura 15). Entretanto, há estimativa de um novo cenário de crescimento com o aumento de quase 10% em 2016, passando de US$ 109,2 para US$ 119,6 bilhões em 2017 (ABIQUIM, 2017).

Como se pode notar na Figura 18, a produção química no Brasil, embora tenha apresentado crescimento de quase 3% em 2016, encontra-se estagnada nos últimos 10 anos. Dentre os fatores responsáveis por este cenário estão o baixo fornecimento de matérias-primas básicas competitivas, o baixo apoio do setor público ao desenvolvimento tecnológico e à inovação e falhas no sistema tributário e legislativo (FAIRBANKS, 2017).

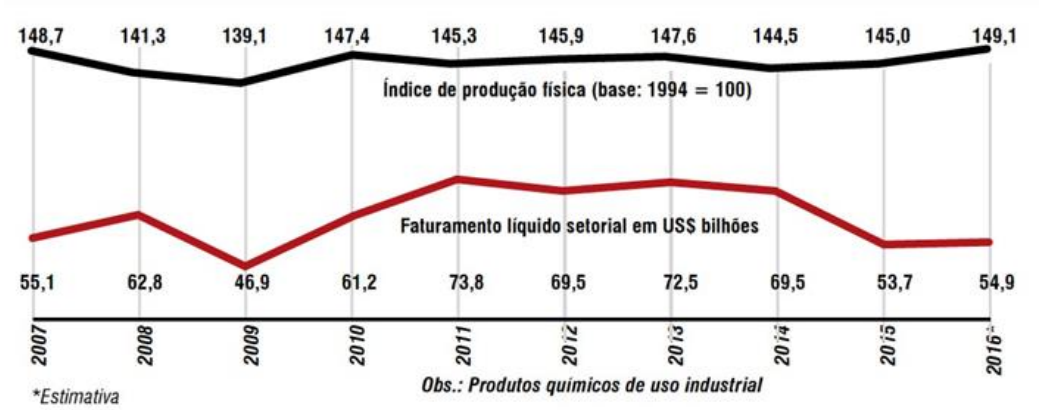

Figura 15. Evolução da produção e faturamento líquido da indústria química brasileira em US$ bilhões. Fonte: FAIRBANKS (2017).

O aparecimento de matérias-primas mais econômicas no cenário global, como o *shale gas*, acarretou na redução dos preços de *commodities* e um mercado super ofertado e, por conseguinte, na baixa rentabilidade do setor, estimada em 8,9% (EBITDA[8]/receita operacional líquida) para 2016 (FAIRBANKS, 2017). A fins de comparação, em 2013, o preço do gás natural passou para US$ 2,50 por milhão de Btu nos EUA, enquanto que o custo médio no Brasil ficou em torno de US$ 10 por milhão de Btu, ou seja, quatro vezes mais do que nos EUA. Esse custo elevado fez a indústria nacional perder cerca de US$ 4,9 bilhões por ano (PANASSOL, 2013).

Segundo um estudo realizado entre a ABIQUIM e a Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2012, as empresas de modo geral ainda não possuem ciência de todos os instrumentos regulatórios e normativos compulsórios pertinentes aos seus negócios, que também devem obedecer à hierarquia entre os níveis federativos. A quantidade, variedade e a proliferação de novos instrumentos criados são apontados como principais causas. No caso dos produtos químicos para uso industrial, por exemplo, os poucos regulamentos existentes não abrangem todos os produtos em si, como existe na Europa, Estados Unidos, Japão e outros países.

Apesar de os investimentos realizados pelas empresas líderes em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) na indústria química brasileira serem próximos da média mundial, o nível ainda é baixo devido a uma fraca gestão tecnológica e forte dependência de compra ou transferência de tecnologias de processos e produtos. Em 2010,

[8] EBITDA: *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization* ou ganhos antes de juros, impostos, depreciação e amortização. É um indicador financeiro utilizado pelas empresas para tomadas de decisões, pois corresponde aos lucros em potencial que os seus ativos operacionais são capazes de produzir antes de considerar taxas de juros, imposto de renda, contribuição social sobre o resultado, amortizações e depreciações (ALCALDE, 2013).

apenas 0,58% do faturamento líquido de 316 empresas do segmento de produtos químicos de uso industrial investiu em PD&I. Outro fator apontado como responsável para o baixo nível de investimentos tem sido o distanciamento entre as universidades e empresas, levando a pouca capacitação para a realização de escalonamento da escala de bancada de laboratório para a escala piloto e desta para a comercial (ABIQUIM; CNI, 2012).

Dentre os segmentos da indústria química que contribuem em valor para a produção nacional, destacam-se os produtos químicos de uso industrial, responsáveis por 48% do faturamento líquido com US$ 52 bilhões, os produtos farmacêuticos com US$ 14,4 bilhões (13%) e os produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos com US$ 11,4 bilhões (10,4%) como pode ser visto na Tabela 2 (ABIQUIM, 2017).

Tabela 2 - Evolução do faturamento líquido da indústria química brasileira por segmento de produtos entre 1996 e 2017* em US$ bilhões.

SEGMENTOS	1996	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	% 17*/ 16	% 17*/ 96 a.a.
Produtos químicos de uso industrial	19,9	55,1	62,8	46,9	61,2	73,8	69,5	72,5	69,7	53,6	52,6	58,1	10,5	5,2
Produtos farmacêuticos	7,6	14,6	17,1	15,4	20,6	18,2	17,3	17,4	17,9	13,6	14,4	16,9	17,2	3,9
Fertilizantes	3,0	9,0	14,2	9,7	11,5	17,4	17,0	15,8	16,4	12,6	8,6	9,1	5,8	5,4
Hig. pessoal, perf. e cosméticos	4,2	8,8	10,5	11,1	13,4	15,1	14,9	14,9	15,5	10,8	11,4	12,4	8,8	5,3
Produtos de limpeza e afins	2,8	6,3	7,1	6,7	8,0	8,9	8,1	8,1	7,7	5,9	6,6	7,6	13,9	4,8
Defensivos agrícolas	1,8	5,4	7,1	6,6	7,3	8,5	9,7	11,5	12,2	9,6	9,6	8,8	-8,3	7,8
Tintas, esmaltes e vernizes	2,0	2,4	3,0	3,0	3,9	4,5	4,3	4,2	4,1	3,1	3,4	3,9	14,7	3,2
Fibras artificiais e sintéticas	N/D	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2	0,9	0,7	0,8	7,0	N/D
Outros	1,5	1,6	1,7	1,5	1,8	2,2	2,1	2,2	2,2	1,9	1,9	2,0	5,3	1,4
TOTAL	42,8	104,3	124,6	101,9	128,8	150,0	144,3	147,7	146,9	111,9	109,2	119,6	9,5	5,0

Fonte: ABIQUIM (2017b). *Estimado.

Os produtos químicos de uso industrial, principal segmento do setor, são empregados como matéria-prima da própria indústria química e/ou de outras e exercem uma forte influência no mercado químico, respondendo por quase metade do faturamento nacional (COSTA; SILVA, 2011). Ainda assim, a produção não tem sido capaz de suprir alta demanda interna, apresentando um histórico de balança deficitária que chegou a US$ 15,9 milhões em 2016 (ABIQUIM, 2017b). O déficit ainda pode permanecer com estimativa de crescimento das exportações e importações em 10,9% e 9,6%, respectivamente, podendo chegar US$ 17,2 milhões (Figura 16).

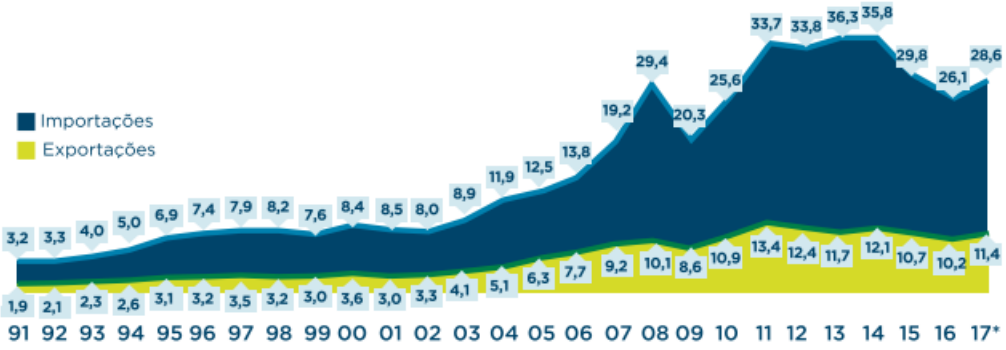

Figura 16. Histórico da balança comercial (em US$ bilhões FOB) de produtos químicos de uso industrial entre 1991 e 2017*.
Fonte: ABIQUIM (2017b).

*Estimado.

Os produtos químicos orgânicos, as resinas termoplásticas e os petroquímicos básicos são os grupos de produto que mais colaboram para o faturamento deste segmento (Figura 17). Representando aproximadamente 51,2%, em 2017, os produtos químicos orgânicos apresentam uma estimativa de faturamento em US$ 9,6 bilhões (2,2% acima do ano anterior), as resinas termoplásticas em US$ 9,4 bilhões (2,2 % acima do ano anterior) e os petroquímicos básicos em US$ 9,1 bilhões (12% acima do ano anterior) (ABIQUIM, 2017).

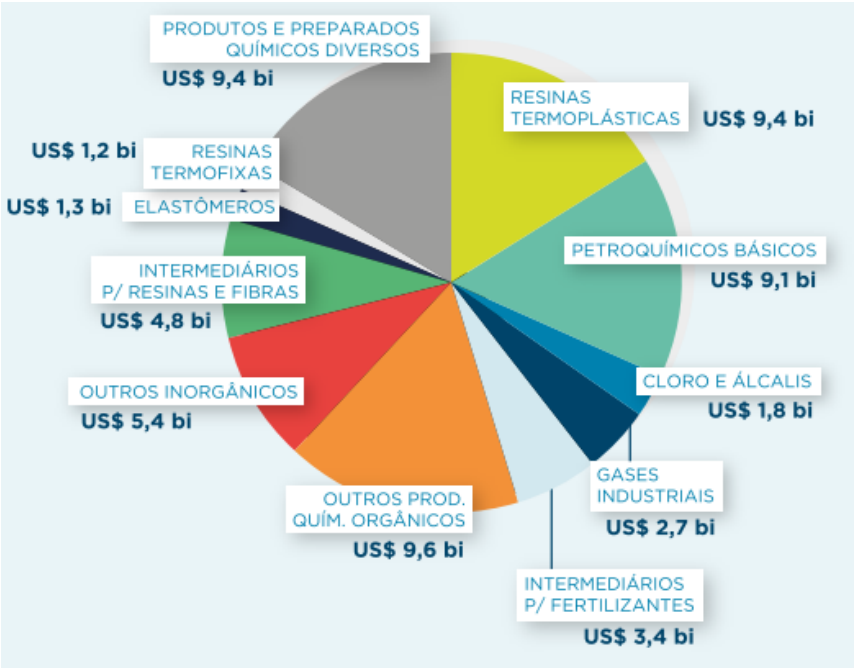

Figura 17. Faturamento do segmento de produtos químicos de uso industrial por grupos em 2017.
Fonte: ABIQUIM (2017b).

Segundo dados da ABIQUIM (2017b), observa-se uma concentração da produção voltada para a indústria petroquímica, que correspondeu a 65% do faturamento total dos produtos químicos de uso industrial, o equivalente a US$ 37,7 bilhões. Segundo COSTA e SILVA (2011), a petroquímica representa quase um terço do faturamento global da indústria e, por isso, é o principal segmento da indústria química no país.

Quanto aos produtos químicos de uso final, os segmentos de produtos farmacêuticos e de higiene pessoal responderam por 52% do faturamento líquido em 2016 (Tabela 2). Os produtos farmacêuticos foram responsáveis por US$ 14,4 bilhões de faturamento da indústria química brasileira. Apesar de ter obtido um crescimento de 5,8% em relação ano anterior, foram importados 43,70 mil toneladas contra 29,3 mil toneladas exportados, resultando em um déficit de US$ 5,18 bilhões na balança comercial brasileira (ABIQUIM, 2017a,b).

Os produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos apresentaram faturamento de US$ 11,4 bilhões, um crescimento de 5,5% em relação a 2015. Apesar disso, a balança comercial deste segmento apresentou o segundo maior em déficit em 2016 com US$ 51,2 milhões, atrás do segmento de produtos de limpeza que foi deficitária em US$ 393,6 milhões (ABIQUIM, 2017b).

No caso de fertilizantes, apesar de terem apresentado um crescimento no faturamento líquido estimado em 5,8% em relação a 2016 e elevada produção nacional, em torno de 9 mil toneladas, a carência do país na produção de matérias-primas, fertilizantes básicos e intermediários ainda é extremamente deficiente. Nesse sentido, foram importados 24.485 mil toneladas de fertilizantes contra 549 mil toneladas exportados (incluindo matérias-primas para fertilizantes), acarretando um déficit de US$ 5,9 milhões (ABIQUIM, 2017).

Apesar das expectativas favoráveis de crescimento da economia brasileira de, pelo menos, 4% ao ano entre 2010 e 2020, que acarretaria em uma demanda de produtos químicos de US$ 260 bilhões, há uma forte preocupação quanto ao histórico deficitário da balança comercial do setor, como pode ser visto na Figura 18 (WONGTSCHOWSKI, 2011). A estagnação entre produção e venda nacional nos últimos 10 anos, acarretou um déficit comercial em cerca de US$ FOB 6 bilhões e US$ FOB 9 bilhões ao ano entre 2000 e 2006, saltando para US$ FOB 23,2 bilhões em 2008 e US$ FOB 32 bilhões em 2013, o maior déficit desde o início da década de 1990. Tal cenário pode ser atribuído, principalmente, ao crescimento desproporcional entre a produção da indústria química nacional e o consumo doméstico e ao aumento do valor agregado das importações em relação às exportações de produtos químicos (BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014).

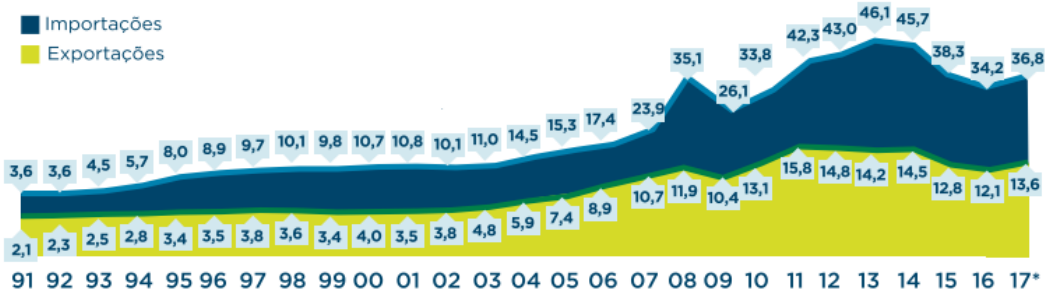

Figura 18. Balança comercial brasileira de produtos químicos em US$ bilhões FOB.
Fonte: ABIQUIM (2017).

Apesar do decaimento das importações desde 2013, as exportações pouco evoluíram, mantendo o déficit relativamente estável. Em 2017, as exportações aumentaram em torno de 12% em relação ao ano anterior com US$ FOB 13,6 bilhões. Entretanto, as importações voltaram a crescer em torno de 7,6% e, com isso, o déficit da balança comercial de produtos químicos agravou-se novamente, passando de US$ FOB 22 bilhões em 2016 para uma estimativa de US$ FOB 23,2 bilhões em 2017 (ABIQUIM, 2017).

Os intermediários para fertilizantes são um dos maiores responsáveis pela elevação no déficit do setor nos últimos anos. Em 2011, as importações alcançaram cerca de US$ 8,7 bilhões, valor 78,5% superior ao verificado no ano anterior, acarretando em torno de um terço do déficit da indústria química. A América do Norte e a União Europeia são os principais fornecedores deste grupo para a indústria química brasileira, totalizando 55% do total das importações em 2011, e a Ásia ocupa a terceira posição, com 17% (COSTA; SILVA, 2011). Os maiores países importadores de produtos químicos para o Brasil são os Estados Unidos e China, que representaram 23,1% e 11,7%, respectivamente, em 2015 (DEPEC BRASDESCO, 2017).

Já as resinas termoplásticas destacam-se na exportação de produtos químicos no Brasil (PANASSOL, 2013). A Argentina e os Estados Unidos são os principais países consumidores de produtos químicos brasileiros, que representaram 16,1% e 13,6% das exportações brasileiras, respectivamente, em 2015 (DEPEC BRASDESCO, 2017).

Desse modo, dois fatores podem ser apontados como principais agravantes do histórico nacional de déficit na balança comercial de produtos químicos: a estagnação da produção da indústria química nacional não acompanhando a evolução do consumo doméstico e o aumento do valor agregado das importações em relação às exportações de produtos químicos (BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014).

O Relatório de Acompanhamento Conjuntural da ABIQUIM (2017b) reportou preocupação com a produção local devido à queda das vendas internas no 1º bimestre de

2017, em detrimento ao crescimento expressivo das importações. Apesar do crescimento da demanda, que poderia alavancar o índice de vendas internas, este índice apresentou, em fevereiro de 2017, o pior resultado desde 2011 em relação ao mesmo período dos demais anos. Isso, por sua vez, aponta para um cenário de desaceleração do ritmo de melhora de mercado que vinha sendo construído até o início de 2017.

A Figura 19 apresenta o histórico dos investimentos realizados em relação aos produtos químicos de uso industrial desde a década de 1995 e sua projeção até 2022. É possível perceber uma evolução crescente até 2012, sendo o maior realizado da ordem de US$ 4,8 bilhões. Este pico pode ser explicado, por exemplo, por projetos de ampliação na Braskem e a implantação da planta de ácido acrílico pela BASF em 2015. Desde então, tem apresentado quedas significativas, com exceção de 2016 quando foram investidos US$ 2,3 bilhões. A ABIQUIM estima que a média de investimentos anuais no setor até 2020, em US$ 300 milhões, seja insuficiente para atender às necessidades dos segmentos industriais consumidores de insumos químicos (FAIRBANKS, 2017).

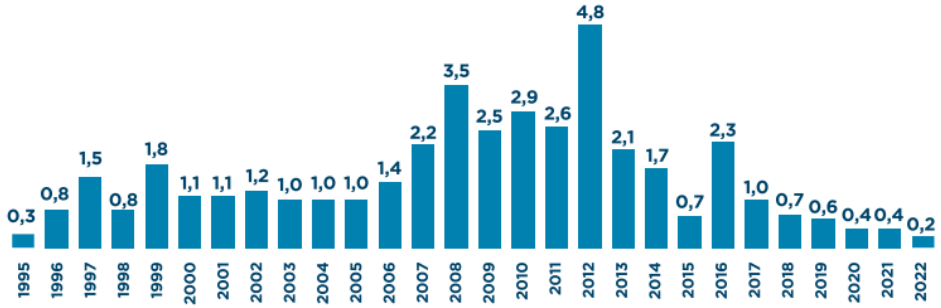

Figura 19. Evolução dos investimentos realizados e programados em US$ bilhões.
Fonte: ABIQUIM (2017).

A baixa utilização da capacidade instalada pode ser relacionada à redução de lucros e investimentos (PANASSOL, 2013). Em 2016, apresentou o nível de 80%, 2,5% acima do ano anterior, entretanto vem apresentado oscilações decrescentes desde 2008, estando ainda está abaixo da média dos últimos 23 anos, que é de 84,2%, como mostra a Figura 20 (DE MARCHI, 2016; PANASSOL, 2013). Desde 1990, 448 produtos deixaram de ser fabricados no Brasil, resultando na paralisação de 1.710 linhas de produção. Por conseguinte, a participação dos produtos importados no consumo brasileiro era somente de 7% no mesmo ano, passou para 30% em 2013, ou seja, um terço do consumo no país (PANASSOL, 2013).

Figura 20. Evolução da capacidade instalada da indústria química desde 2007.
Fonte: De Marchi (2016).

A possibilidade de oferta de matérias-primas básicas competitivas em preços e com garantia de volumes no longo prazo, com o fornecimento estabelecido em contrato, é uma das principais soluções que podem colaborar na retomada dos investimentos (WONGTSCHOWSKI, 2011). O gás natural e a nafta são as principais matérias-primas do setor químico e petroquímico, entretanto são altamente custosos para o Brasil (PANASSOL, 2013). No caso da nafta, por exemplo, apesar de ser mais versátil que o gás natural, 57% do seu consumo provém de importação e, por isso, é dispendiosa no país e recebe pressões para redução à preço de mercado internacional (DEPEC BRASDESCO, 2017; FAIRBANKS, 2017). Além disso, os prazos contratuais costumam ser de 20 a 30 anos no cenário internacional, com possibilidade de renovação e no Brasil duram no máximo 5 anos, levando à baixa confiabilidade por parte de investidores para investimentos de longa duração (FAIRBANKS, 2017).

Além disso, a legislação trabalhista brasileira, que permite interpretações diversas, somada a uma estrutura tributária obscura é apontada como um dos motivos para o afastamento de investidores internacionais. A falta de concisão na estrutura tributária brasileira é apontada como fator de insegurança que desestimula investimentos produtivos no país. A possibilidade de interpretações dúbias e as vantagens fiscais sobre os produtos importados também acarretam em altos custos e riscos (FAIRBANKS, 2017; WONGTSCHOWSKI, 2011).

Por último, a falta de investimentos na logística, além de ser um dos fatores que limitam o crescimento da indústria brasileira de modo geral, leva à deficiência em estruturas de transporte e armazenamento de produtos (FAIRBANKS, 2017).o Segundo dados do BNDES (2017), o Brasil ocupa a 54ª posição no *ranking* de *performance* em logística, tendo investido apenas 0,5% do PIB nesse setor, entre 1993 e 2015, um décimo dos investimentos da China em período semelhante (1992 a 2011). De modo direto, a disponibilidade de portos, rodovias e outras soluções modais aumentaria a eficiência do sistema e a competitividade dos

produtos fabricados no país. Indiretamente, o setor se beneficiaria em razão de uma extensa gama de produtos químicos a serem utilizados na construção civil e no saneamento básico, por exemplo (WONGTSCHOWSKI, 2011).

4.4 PRINCIPAIS EMPRESAS

A Tabela 3 apresenta 10 primeiras do *ranking* das 50 maiores empresas químicas no mundo em relação às vendas de 2016 em US$ milhões em ordem decrescente no *ranking*.

Tabela 3 - Top 10 empresas químicas globais em 2016 em relação às vendas (US$ milhões).

Ranking	**Empresa**	**Setor**	**Vendas 2016 (US$ milhões)**	**Mudança em relação a 2015**
1	BASF	Diversificado	60.654	-4,65%
2	Dow Chemical	Diversificado	48.158	-1,27%
3	Sinopec	Petroquímico	42.815	2,77%
4	SABIC	Petroquímico	30.986	-9,79%
5	Formosa Plastics	Petroquímico	27.141	-5,67%
6	ExxonMobil	Petroquímico	26.058	-7,38%
7	LyondellBasell	Petroquímico	24.624	-7,69%
8	Ineos Group Holdings	Petroquímico	23.530	-17,2%
9	Mitsubishi Chemical	Diversificado	23.358	-13,9%
10	DuPont	Diversificado	19.679	-4,93%

Fonte: Elaboração própria a partir de (TULLO, 2017).

Pode-se perceber que as empresas apresentaram quedas drásticas nas vendas entre 2015 e 2016. As 50 empresas somaram US$ 744,3 bilhões em vendas em 2016, apresentando no total queda de 4,4% em relação ao ano anterior. Dentre as empresas apresentadas na Tabela 3, a Sinopec, petroquímica chinesa, foi a única a apresentar saldo positivo de 2,77% em relação às vendas de 2015. Por outro lado, a Mitsubishi Chemical foi a que obteve maior queda no faturamento com 13,9% de saldo negativo em relação a 2015 (TULLO, 2017).

Vale destacar que a maioria das empresas apresentadas na Tabela 3 possui o *core business* voltado para o ramo petroquímico. Isto se deve ao fato de o setor oferecer os principais componentes básicos e intermediários para a conversão em produtos finais que

atingem diversos setores e, com isso, apresenta o forte domínio no mercado químico (Figura 21).

No Brasil, as principais empresas que atuam no setor químico no Brasil abrangem os setores agrícolas, construção civil, varejo, automotivo, higiene e limpeza e alimentício, como mostra a Figura 21. A Braskem, maior petroquímica das Américas e, por isso, dominante no mercado dos petroquímicos básicos, ocupa a 19ª posição no *ranking* das 50 maiores empresas químicas no mundo e apresentou um crescimento de 0,884% nas vendas em relação a 2015, gerando um lucro de 24% (TULLO, 2017).

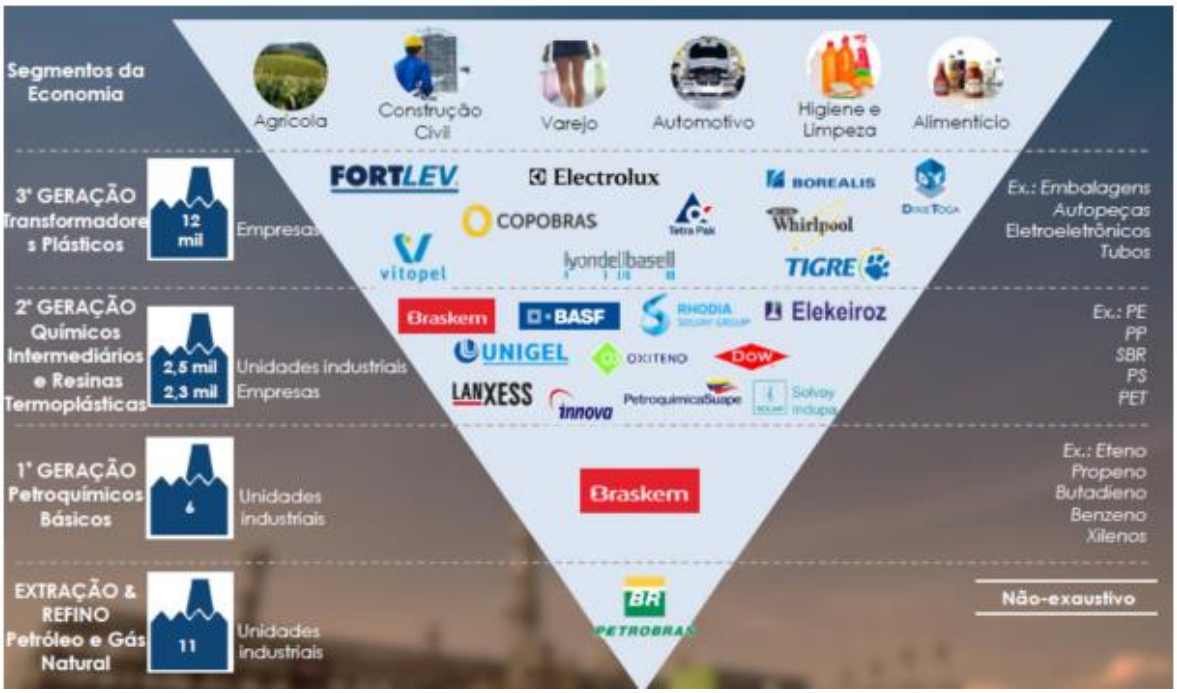

Figura 21. Principais empresas que atuam no setor químico no Brasil.
Fonte: De Marchi (2016).

Assim, a indústria química por ser um setor de base, abastece todo o parque de transformação de um país. No Brasil, representando 10,4% do PIB industrial, é vetor de desenvolvimento de tecnologia para várias cadeias produtivas, tendo a capacidade de melhorar a sustentabilidade de todas elas (FAIRBANKS, 2017). Com isso, a persistência do déficit na balança comercial de produtos químicos deve ser vista como uma oportunidade para aumentar a perspectiva de investimentos.

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa pode ser classificada, de acordo com o objetivo, como exploratória. De acordo com Zikmund (2000) *apud* Oliveira (2011), a pesquisa exploratória é realizada no estágio inicial de uma pesquisa mais ampla, em que se pretende obter maior familiaridade com o problema e gerar mais informações que possam ser utilizadas para estudos futuros. Para Gil (2002), com este tipo de pesquisa é possível obter o aprimoramento das ideias acerca do objeto de estudo de modo a torná-lo mais explícito ou constituir hipóteses.

Quanto à natureza, esta pesquisa apresenta uma abordagem qualitativa. De acordo com Silva e Menezes (2001), este tipo de abordagem se baseia na interpretação dos fenômenos, conferindo-lhes significado a partir de dados do ambiente natural. Além disso, não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas, é descritiva e o pesquisador, "instrumento-chave", analisa os dados indutivamente. Conforme Gil (1999) *apud* Oliveira (2011), este tipo de abordagem permite um melhor entendimento das questões em estudo e de suas relações.

Para a coleta dos dados obtidos nesta pesquisa, foi realizado um estudo exploratório com a pesquisa bibliográfica, que é baseada no levantamento em livros, artigos científicos e em dados de publicações em sites correlacionados ao tema, como definido por Silva e Menezes (2001), bem como com a pesquisa documental, que de acordo com Gil (2002), ocorre quando os materiais ainda não receberam tratamento analítico.

5.1 MÉTODO DE TRABALHO

Na busca de artigos científicos, foram utilizadas as bases do Portal CAPES, *Scopus*, *Science Direct* e Google Acadêmico. Como estratégia de busca foi utilizada como palavra-chave "*circular economy*", abordando os últimos 10 anos e *journals* como tipo de documento e todas as áreas de conhecimento.

Segundo Gil (2002), para confrontar o ponto de vista teórico com os dados da realidade, faz-se necessário utilizar procedimentos técnicos a fim de coletar e analisar os dados. Após a identificação da aplicação holística do modelo circular, por definição, optou-se como objeto de estudo avaliar a relação da Economia Circular com a Indústria Química, utilizando o método de estudo de casos múltiplos.

Yin (2001) *apud* Oliveira (2011) relata que o método de estudo de caso pode ser restrito a uma ou várias unidades (indivíduos, organizações, processos, programas, bairros, instituições, comunidades), sendo assim classificada como único ou múltiplo. Para o autor,

este método diz respeito à replicação de resultados similares e não à generalização para toda uma população, de modo semelhante ao método de experimentos. Segundo Boyd e Westfall (1987, p. 73) *apud* Oliveira (2011), o estudo de casos múltiplos permite identificar "fatores comuns a todos os casos no grupo escolhido; fatores não comuns a todos, mas apenas a alguns subgrupos e fatores únicos em caso específico". Para a coleta dos estudos de casos múltiplos relacionados à Indústria Química e a Economia Circular, foram utilizadas as fontes de dados destacadas na Figura 22, cujo período de coleta foi realizado de maio a novembro de 2017:

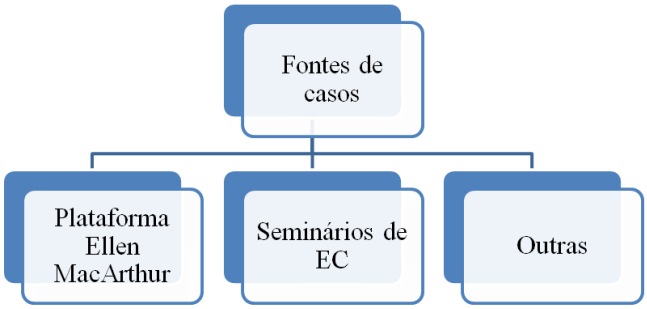

Figura 22. Fontes de dados utilizadas para a coleta dos estudos de casos relacionados à Indústria Química e a Economia Circular.
Fonte: Elaboração própria.

- Plataforma da Fundação Ellen MacArthur[9]: Os casos foram retirados das seções "Estudos de Caso", em que os passos estão descritos na Figura 23, "Parceiros Globais" e "CE 100 Brasil", cujos sites foram mapeados para a identificação de ações voltadas para a Economia Circular e relacionadas com a Indústria Química.
- Seminários participados em 2016 relacionados a este tema: Ação Ambiental 2016[10] promovido pela FIRJAN; Seminário Economia Circular e Sustentabilidade na Gestão de Resíduos Sólidos[11] (promovido pelo Museu do Amanhã em parceria com a Secretaria de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) e o C40 *Cities Climate Leadership Group*); e *Orange Talks* 2016[12] (promovido pela *Nuffic Neso Brazil*). Tais seminários permitiram a identificação de empresas e *startups*, inclusive no Brasil, que já realizam a economia circular e não estão descritas na plataforma.

[9] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies.
[10] Fonte: www.firjan.com.br/seminario-acao-ambiental-2016/seminario.htm
[11] Fonte: www.museudoamanha.org.br/pt-br/seminario-economia-circular
[12] Fonte: www.nesobrazil.org/Eventos/orange-talks-pensando-diferente-para-fazer-a-diferenca-1

- Dados secundários de publicações em sites correlacionados com a economia circular e em artigos encontrados na revisão bibliográfica.

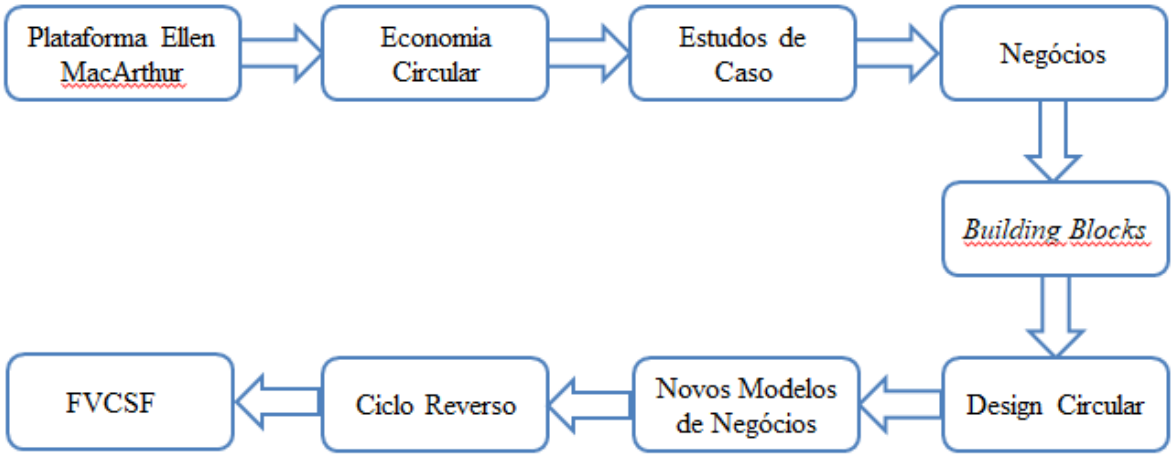

Figura 23. Etapas seguidas na Plataforma da Fundação Ellen MacArthur para a obtenção dos estudos de caso.
Fonte: Elaboração própria.
*FVCSD: Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis.

A Fundação classifica os casos em 4 tipos de *Building Blocks*[13]: *Design* Circular, Novos Modelos de Negócios, Ciclo Reverso e Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis (FVCSF). Os estudos de caso são relacionados ao *Design* Circular quando há mudanças nos materiais selecionados, nos componentes-padrão ou no desenho do produto de modo que ele possa ser remanufaturado, reutilizado ou reciclado, voltando à mesma ou outra cadeia produtiva. Os Novos Modelos de Negócios incluem as empresas que modificaram seus negócios tornando o consumidor como usuário e o produto como serviço ou inovaram alguma parte de modo que o seu negócio se torne circular. O Ciclo Reverso trata das ações na ou parte da cadeia produtiva que acarreta no reuso, remanufatura, reparo ou reciclagem. Já os FVCSF estão associados com a gestão pública, instituições educacionais e líderes de opinião pública por meio, por exemplo, de projetos colaborativos com empresas, políticas públicas, financiamento ou implementação de regras ambientais internacionais de modo que as ações sejam ao nível de cidades. Vale ressaltar que um mesmo caso pode fazer parte de mais de um *Building Blocks*.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de casos encontrados (total) e coletados na plataforma da Fundação Ellen MacArthur e nos seminários descritos anteriormente. Vale ressaltar que nos seminários cada apresentação foi contabilizada como um caso, pois cada

[13] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/building-blocks

empresa apresentou um *case*, sendo então coletados aqueles relacionados com a Indústria Química.

Tabela 4 - Quantidade total de casos encontrados e coletados por base de dados.

Fonte		**Nº de casos total**	**Nº de casos coletados**
Fundação Ellen MacArthur	*Design* Circular	11	5
	Novos Modelos de Negócios	27	5
	Ciclo Reverso	25	8
	Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis	16	9
	Não classificados[a]	12	7
	Parceiros Globais	8	4
	Total parcial	**99**	**38**
Seminário Firjan		13	5
Seminário Economia Circular e Sustentabilidade na Gestão de Resíduos Sólidos		12	2
Orange Talks 2016		13	1
Outras			18
Total[b]		**137**	**64**

Fonte: Elaboração Própria.
a. Estes casos ainda não foram classificados pela Fundação Ellen MacArthur de acordo com os *Building Blocks.*
b. Total superestimado devido à intersecção de mais de um B*uilding Block* em um mesmo caso.

Cada um dos casos foi analisado, qualitativamente, com o olhar voltado para a Indústria Química. Isto é, a empresa, o insumo, o produto e/ou o processo identificados nos estudos de caso que fazem parte desse segmento foram utilizados como critério de consideração para a pesquisa de relação da Economia Circular com a Indústria Química. Em seguida, cada um desse estudos de caso foi novamente analisado, qualitativamente, extraindo as informações contidas no texto relacionadas com a Indústria química, formando um banco de dados organizados em uma planilha. Devido à grande quantidade final de dados obtidos, que inviabilizou sua impressão neste documento, esse banco de dados se encontra parcialmente ilustrado no Apêndice A.

A partir disso, foi elaborada uma proposta de categorização dos estudos de caso selecionados, que se encontra definida no Quadro 6. As categorias “Ciclo da Economia Circular” e “*Building Block*” foram retiradas da plataforma Fundação Ellen MacArthur e as outras foram sendo denominadas pelo pesquisador conforme o estudo com o foco voltado para a Indústria Química.

Quadro 6 – Proposta de Categorização dos estudos de caso analisados.

	País-sede	País sede da empresa.
	País do caso	País onde o caso estudado foi implementado.
Fundação Ellen MacArthur	**Ciclo da Economia Circular**	Correspondente ao ciclo da economia circular em que o caso estudado se aplica. Biológico (B) (quando envolve bioprocessos e bioprodutos) e Tecnológico (T) (quando envolve o *design*, o reuso, a reprocessamento e a reciclagem de recursos finitos).
	Building Block	Classificação dos casos estudados de acordo com o modelo da Fundação Ellen MacArthur (*Design*, Ciclo Reverso, Novos Modelos de Negócios e Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis).
Modelo proposto	***Driver***	Palavras-chaves obtidas de acordo com os objetivos dos casos estudados. Detalhadas no Quadro 7.
	Processo	Quando há um ou mais processo (s) químico, físico ou bioquímico envolvido (s) no caso estudado.
	Insumo/Matéria-prima	Insumo ou matéria-prima utilizado (a) no caso estudado relacionado à indústria química.
	Produto químico	Produto químico obtido no caso estudado.
	Outro Produto Final	Outros produtos, não relacionados à indústria química, gerados pelo caso estudado.
	Setor a montante	Setor industrial a montante da indústria química que pode ser impactado pelo caso estudado.
	Setor a jusante	Setor industrial a jusante da indústria química que pode ser impactado pelo caso estudado.

Fonte: Elaboração Própria.

O Quadro 7 apresenta a definição correspondente a cada *driver* obtido por meio da análise qualitativa dos casos estudados e, com isso, tratam dos principais focos das empresas.

Quadro 7 -Conceituação dos *drivers* obtidos dos casos.

Driver	**Justificativa**
Biobased Industries	Quando o caso estudado envolve a bioeconomia (biotecnologias e bioprodutos).
Chemical Leasing	Quando o caso estudado envolve este modelo de serviço de um produto químico.
Compostagem	Quando o caso estudado envolve a compostagem do produto.
Design	Quando o caso estudado envolve o *design* de produto, tecnologia ou serviço voltado para a economia circular.
Economia colaborativa	Quando o caso estudado envolve um projeto colaborativo entre os *stakeholders* da cadeia e/ou outras organizações.
Logística Reversa	Quando o caso estudado envolve o retorno do produto para a cadeia de suprimentos de modo que tenha algum destino que não seja o aterro sanitário.
Produto como serviço	Quando no caso estudado o produto é negociado sob a forma de aluguel de acordo com o desempenho e, por isso, se torna um serviço.
Reciclagem	Quando o caso estudado envolve a reciclagem.
Reuso	Quando o caso estudado envolve o reuso.
Simbiose industrial	Quando o caso estudado envolve parques industriais.

Fonte: Elaboração Própria.

Para a análise dos setores industriais que podem ser impactados com o cenário de economia circular, a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE 2.0)[14] foi utilizada como base para a identificação dos mesmos e as categorias Insumo/Matéria-prima, Produto Químico e Outro Produto Final do Quadro 6, como critérios de decisão. Como referência dos setores que se relacionam a montante e a jusante com a indústria química, foi utilizada a base construída por Borschiver (2002) apresentada na Figura 11 no Capítulo 4.

Após a consulta das atividades produtivas praticadas pelas empresas responsáveis pelos casos e do perfil definido por cada uma nos respectivos sites, estas foram organizadas e agrupadas por setor para a identificação de sinergias e/ou convergências no cenário de economia circular, sendo obtidos os seguintes setores:

- Alimentos e Bebidas;
- Automotivo;
- Bens de Consumo;
- Biotecnologia;

[14] Fonte: www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/metodos-e-classificacoes/classificacoes-e-listas-estatisticas.html

- Eletroeletrônico;
- Embalagens;
- Energia;
- Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos;
- Materiais de Construção;
- Materiais Esportivos;
- Papel e Celulose;
- Produtos de Limpeza;
- Produtos Químicos de Uso Industrial;
- Têxtil; e
- Tratamento de Água e Esgoto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Lieder e Rashid (2016) reportaram que o número de publicações em Economia Circular quase triplicou entre 2010 e 2015 dobrou entre 2012 e 2015. A quantidade expressiva das publicações de origem chinesa é justificada pelos autores como consequência da implantação da economia circular como política nacional em 2009, quando então foram promulgados leis e regulamentações para facilitar a implementação de projetos circulares no país.

Pode-se observar na Figura 24 o aumento crescente de publicações sobre economia circular a partir de 2004. Dentre os países que se destacam, nessas publicações, China (40%), Reino Unido (9,5%), Itália (6,8%), Alemanha (5,1%), Holanda (5,1%) e Estados Unidos (4,6%), nesta ordem. O Brasil se encontra na 19º posição com 1,1% das publicações.

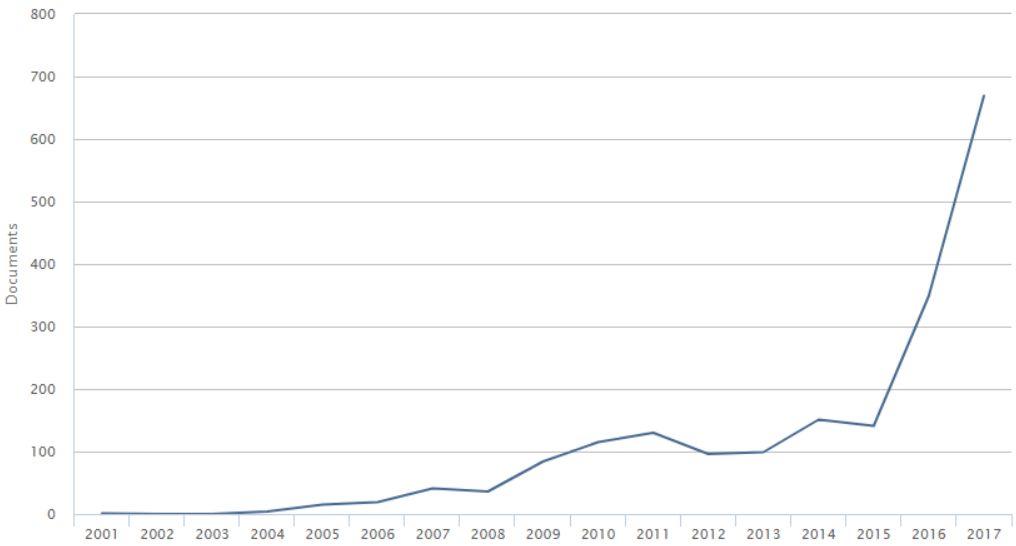

Figura 24. Histórico de publicações sobre economia circular no mundo[15].
Fonte: Scopus, 2016.

Nesse item serão apresentados 57 estudos de caso selecionados para esta pesquisa por 15 setores econômicos, identificados de acordo com as atividades das 43 empresas responsáveis pelas iniciativas, tais como: Alimentos; Biotecnologia; Energia; Materiais de Construção; Bens de Consumo; Produtos de Limpeza; Automotivo; Têxtil; Eletroeletrônico; Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos; Tratamento de Água e Esgoto; Embalagens; Papel e Celulose; Materiais Esportivos e Produtos Químicos de Uso Industrial, nesta ordem.

[15] Este gráfico foi gerado pela base Scopus, utilizando a palavra-chave "c*ircular economy"* (título, resumo e/ou palavra-chave), todos os tipos de documento e de todos os anos até 2017. Foram obtidos 2.051 documentos.

6.1 ESTUDOS DE CASO

6.1.1 ALIMENTOS

Neste item serão apresentados os casos relacionados às empresas Balbo Group, British Sugar, Toast Ale, Danone, The Plant Chicago e Extrair Óleos Naturais, cujas atividades no setor de alimentos possui relação com a indústria química.

- Balbo Group

A Balbo Group é uma organização brasileira voltada para a produção de cana-de-açúcar e seus derivados (álcool vegetal orgânico, açúcar e outros produtos orgânicos) e para a produção de polihidroxibutirato (PHB), um plástico biodegradável obtido a partir do açúcar da cana. A produção de PHB é coordenada pela Biocycle, uma *joint venture* entre a Usina Santo Antônio (BR), São Francisco Sugarmills (EUA) e a Usina da Pedra (BR).

Os métodos tradicionais de cultura da cana afetam a saúde do solo e sua resiliência a longo prazo devido à sua queima na etapa de pré-colheita. Com isso, as redes de cobertura vegetal (húmus e micro organismos) acabam sendo atingidos, reduzindo a produtividade. Conforme reportado no site da EMF, a companhia passou a adotar práticas de agricultura regenerativa em conjunto com inovações tecnológicas e implementou um novo modo de produção: *Ecosystem Revitalization Agriculture* (ERA). Nomeado assim pela própria companhia, tem como principal objetivo recuperar o capital natural e em larga escala.

	Atividade	Produto	Destino
A1	Colheita mecanizada	Cana orgânica	B1
A2	Vegetação natural		
A3	Rotação de cultura	Adubo verde	A5
A4	Reciclagem de efluentes	Fertilização	A1
A5	Canaviais em desenvolvimento	Cana orgânica	A1
B1	Descarregamento	Cana orgânica	B2
B2	Preparo de cana	Cana picada	B3
B3	Extração de caldo	Caldo de cana	B4
		Bagaço de cana	E1
B4	Tratamento de caldo	Caldo tratado	C1 D1
		Lodo	B5
B5	Filtração de lodo	Caldo filtrado	B4
		Torta de filtro	A4
C1	Evaporação do caldo	Xarope ou melado	C2
C2	Cozimento ou cristalização	Massa de açúcar	C3
C3	Centrifugação da massa	Açúcar cristal úmido	C4
		Melaço	D1
C4	Secagem do açúcar	Açúcar seco	C5
C5	Peneiramento	Açúcar cristal	Comercialização
D1	Dosagem do caldo e melaço	Caldo misto	D2
D2	Fermentação do caldo	Mosto fermentado	D3
D3	Recuperação da levedura	Vinho	D4
		Levedura	D2
			Ração animal
D4	Destilação	Alcool orgânico	D5
		Vinhaça	D6
D5	Tanque de álcool	Alcool orgânico	Comercialização
D6	Tanque de vinhaça	Vinhaça	A4
E1	Armazenamento de bagaço	Bagaço	E2
E2	Caldeira	Energia térmica	C1 C2 C4 D4
		Energia mecânica	B3 E3
		Cinzas	A4
E3	Turbo gerador	Energia elétrica	Comercialização

Figura 25. Fluxograma do sistema integrado de produção da Balbo Group.
Fonte: Elaborado a partir de dados em Native Alimentos (2018).

No novo modelo, ilustrado na Figura 25, a preocupação deixa de ser somente para a uma cultura e sim para todo o ecossistema envolvido. Foi criado o Programa de Fertilização Orgânica Integrada, em que pesticidas sintéticos foram substituídos por controle biológico que estimulam a resistência natural das culturas, reduzindo a dependência por fertilizantes e outros agentes perigosos ao sistema. Para evitar os problemas gerados pela compressão do solo, a companhia desenvolveu uma solução de baixa tecnologia, utilizando pneus de alta flutuação em que são parcialmente desinflados antes que os veículos sejam conduzidos para os campos. Além disso, as folhas que seriam eliminadas no corte da cana são devolvidas ao solo por meio de aplicação de correntes opostas de ar na maquinaria, mantendo as ervas daninhas para baixo, evitando a evaporação da água e, assim, restaurando os nutrientes. Outra ação ainda em desenvolvimento para a eliminação desta praga foi o robô protótipo de controle 100% autônomo de ervas daninhas.

Quanto ao sistema como um todo, algumas ações de reciclagem de coprodutos orgânicos foram tomadas para a valorização do fluxo de materiais. Por exemplo, a torta de filtro resultante do tratamento do caldo, a cinza das caldeiras e a vinhaça são recicladas para fertilização e o bagaço é alimentado diretamente em um forno, produzindo 200 toneladas de vapor por hora. Desse modo, 100% da energia necessária vêm das usinas termoelétricas que funcionam com o bagaço de cana-de-açúcar e a energia mecânica gerada pela caldeira é usada para produzir energia elétrica.

A fim de disseminar práticas e tecnologias de ERA, foi criada uma empresa de transferência de tecnologia, Agros Fortis, permitindo que os agricultores paguem para aplicar práticas e tecnologias de ERA em suas terras. Atualmente, a empresa já obteve um aumento de 20% na produtividade, produzindo 70 Kt de açúcar orgânico (34% do mercado mundial) e 55.000 m^3 de etanol orgânico ao ano para uma produção de quase 1,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

- British Sugar Plc

A British Sugar Plc faz parte da AB Sugar, que é de propriedade exclusiva do grupo de alimentos, ingredientes e varejo internacionais, *Associated British Foods Plc* (ABF). O *core business* da companhia é voltado para a produção de açúcar a partir de beterraba açucareira (ou beterraba branca), sendo líder neste setor nos mercados britânicos e irlandeses de alimentos e bebidas, produzindo até 1,4 milhão de toneladas de açúcar para 8 milhões de toneladas de beterraba açucareira por ano. Nessa abordagem de inovação, a companhia também tem investido na valorização de coprodutos, geração de energia e bioetanol, alimentação animal e outros (Figura 26).

A co-geração de energia, oferecida pelas caldeiras de carvão, óleo ou gás combustível, produzem vapor a alta pressão, que então impulsiona turbo compressores gerando eletricidade, num sistema de cogeração de energia chamado *Combined Heat and Power* (CHP), e o excesso de eletricidade é vendido para empresas de fornecimento de eletricidade. Neste mesmo sistema, o metano gerado a partir do biogás da polpa da beterraba é alimentado em uma planta combinada de calor e energia, gerando eletricidade "verde", bioetanol (o xarope de açúcar de beterraba extraído produz cerca de 55 mil toneladas de combustível renovável a cada ano) e o CO_2 liberado é vendido para a Air Liquide. As emissões excedentes, o calor e o espaço abundante de Wissington têm sido aproveitados para a produção de tomate.

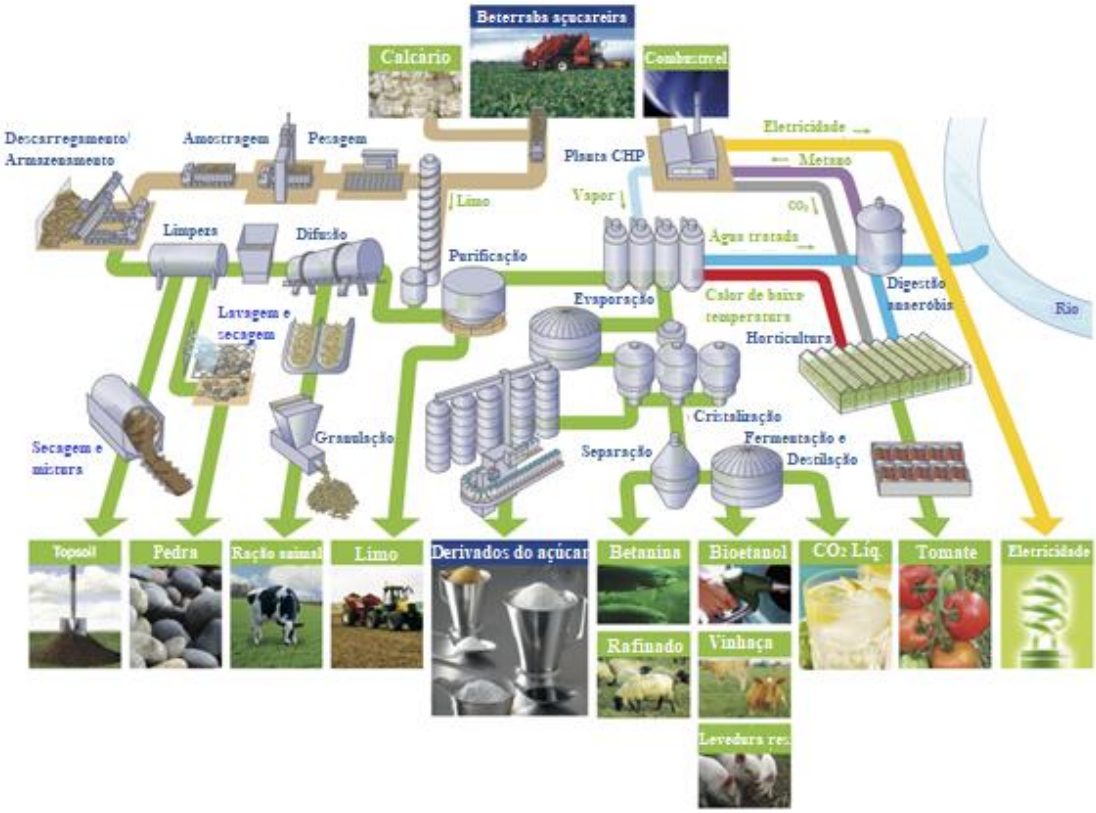

Figura 26. Sistema de produção da British Sugar.
Fonte: Adaptado de Fundação Ellen MacArthur[16] (2017).

Além disso, são obtidos ração animal (levedura usada na produção de etanol e betaína extraída da beterraba), 150.000 toneladas de sobra de solo, em que um terço é comercializado como Topsoil® e 5.000 toneladas de pedras e calcários comercializados como agregados para o solo. O "limo" usado para purificar o açúcar é vendido como LimeX® para a correção de pH de solo, em locais de campo e na produção de cobertura de cogumelos.

Por fim, em parceria com a GW Pharmaceuticals, a British Sugar está desenvolvendo um novo medicamento, chamado Epidiolex, para tratar formas raras e graves de epilepsia em crianças a partir da horticultura da família não psicoativa da planta *cannabis* cultivada no seu campo. A estimativa é que com a produção 40 mil crianças possam ser tratadas em todo o mundo.

- <u>Toast Ale</u>

A Toast Ale é uma *startup* britânica que produz cerveja artesanal (Graft Lager, Pale Ale e Session Ipa) a partir de pão que seria descartado de delicatessens, padarias e fabricantes

[16] Fonte: www.ellenmacathurfoundation.org/case-studies

de sanduíches. O pão coletado pode ser incorporado normalmente no processo de fabricação com o restante dos insumos (lúpulo, levedura e água), como mostrado na Figura 27, tendo já coletado 6000 Kg de pão que seriam descartados e produzido 56.000 L de cerveja.

Figura 27. Ilustração do processo de fabricação da Toast Ale.
Fonte: Ellen MacArthur Foundation[17] (2017).

No Reino Unido, 44% de todo o pão produzido é descartado e, com essa iniciativa, cerca de um terço de cevada maltada usada para a cerveja pode ser substituída. Com a pretensão de expandir seu negócio para a Islândia, África do Sul e os Estados Unidos, a *startup* tem compartilhado a base de sua receita da Pale Ale em colaboração com outras cervejarias, adaptando-as ao pão local disponível e às tradições de fabricação. Além disso, 100% do seu lucro é passado para a instituição de caridade ambiental, Feedback, engajada no fim do desperdício de alimentos.

- <u>Danone</u>

A Danone é líder global na área de alimentos e bebidas voltada para a produção de laticínios e derivados, águas, nutrição especializada e de estágio inicial de crescimento. Presente em mais de 130 países, atua ativamente nas três vertentes da sustentabilidade: econômica (negócios colaborativos), ambiental (programas voltados para o clima, água, embalagens e agricultura) e social (produtos mais saudáveis e projetos de inclusão social).

No contexto da Economia Circular, além de ter como estratégia a utilização de materiais produzidos a partir de fontes renováveis, a companhia busca o tratamento de resíduos como um novo recurso. Para isso, desenvolveu o Projeto Novo Ciclo, no qual tem como objetivo principal inserir embalagens recicladas, poli(tereftalato de etileno) reciclado (r-

[17] Fonte: www.ellenmacathurfoundation.org/case-studies

PET) e papelão, por exemplo, novamente à cadeia da companhia. Para isso, busca implementar programas de coleta seletiva nos municípios, o fortalecimento das cooperativas e a formação de uma rede para a venda conjunta de materiais recicláveis e integração à indústria de transformação.

No Brasil, em parceria com o Instituto Nenuca de Desenvolvimento Sustentável (INSEA) e o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR), este projeto busca também o desenvolvimento das cooperativas e a profissionalização dos catadores. Iniciado em 2012, já atua em 60 cidades do Sul de Minas, 70 cooperativas e realizou a inclusão de 827 catadores. Desde então, a coleta seletiva aumentou de 5% para 26% nos municípios participantes, a companhia já recuperou 40% do volume de embalagens colocadas no mercado e a renda média dos catadores teve um aumento de 2,5 vezes.

Além disso, foi estabelecida uma parceria com a Iniciativa Regional de Reciclagem (Brasil, México e Argentina) trazendo soluções para algumas cadeias de reciclagem como PET e PS. Esse projeto trabalha também com a mobilização dos consumidores para adoção de práticas de reciclagem por meio de mídias nos municípios em que estão presentes.

A Danone assumiu também o compromisso de desenvolver embalagens totalmente recicláveis, utilizar a menor quantidade possível de material e, até 2020, eliminar o uso de embalagens de papel proveniente de fontes não sustentáveis. Em conjunto com a *Bioplastic Feedstock Alliance* (BFA) e a fundação ambiental *World Wild Fund.* (WWF), busca implementar o uso de plásticos de base biológica.

Na França, a empresa criou o projeto *Terragr'Eau* em que produz biogás a partir de esterco bruto e água residual da produção de leite dos fazendeiros locais próximos à região de abastecimento para a produção da água mineral Evian®, cujo esquema está apresentado na Figura 28. Em parceria com a *Evian Country Community* (CCPE), 41 fazendeiros e a *Danone Ecosystem Fund*., foi verificado que a fertilização estava sendo feita em concentração que prejudica a qualidade da água e, por isso, foi instalada uma planta de digestão anaeróbia para comercializar o biofertilizante com a concentração adequada para os produtores de leite. Em torno de 36.000 t de resíduos agrícolas, 2.700 t de resíduos verdes e 1.000 t de resíduos de alimentos são convertidos em 1 milhão de m^3 de biogás por ano, o equivalente a 9200 MWh e suficiente para aquecer 900 casas. O biofertilizante, coproduto da metanização, é distribuído de forma equilibrada em mais de 65% da área agrícola, de modo que não representa um risco para os recursos hídricos e gerou uma economia de 60% em relação ao sintético antes aplicado.

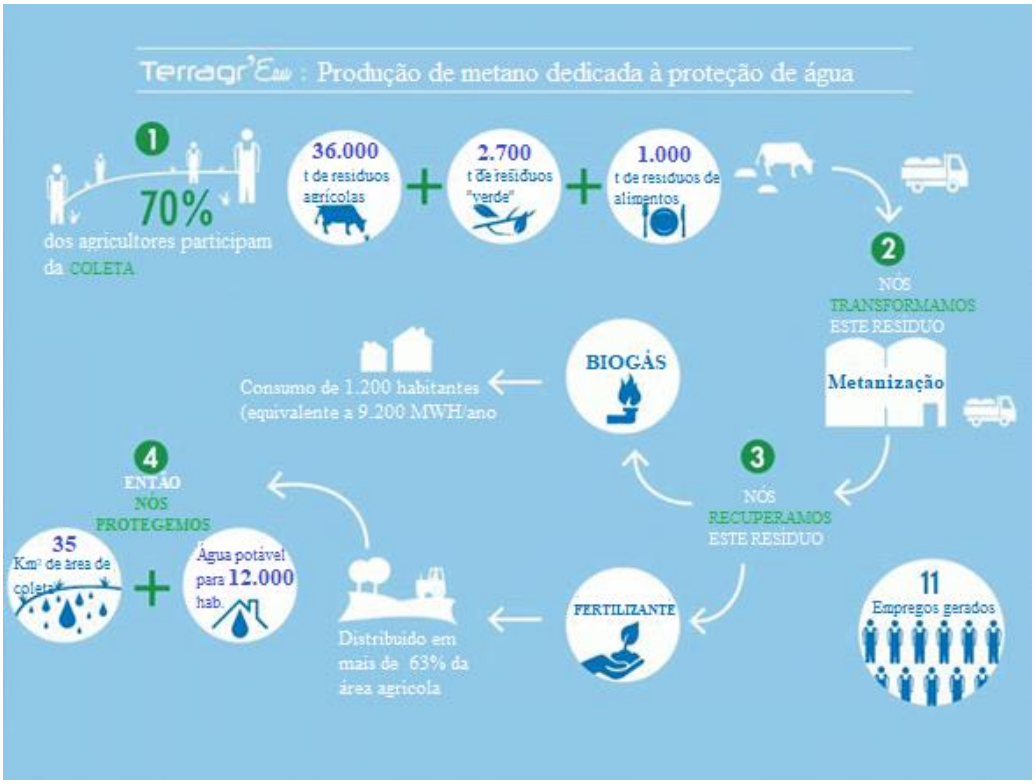

Figura 28. Esquema do projeto Terragr'Eau entre a Danone e agricultores locais.
Fonte: Modificado de Fundação Ellen MacArthur[18] (2017).

- <u>The Plant Chicago</u>

The Plant Chicago é uma organização não governamental criada em 2011 e operada pela Bubbly Dynamics, LLC, uma empresa social norte-americana destinada à incubação de pequenas empresas, voltadas para o desenvolvimento industrial-urbano sustentável.

A organização faz parte da comunidade colaborativa em construção, *The Plant*, inaugurada em 2002 e localizada em uma antiga fábrica de embalagem de carne em Chicago, cujo esquema está apresentado na Figura 29. As 19 empresas locais incubadas tem como objetivo formar um sistema de ciclo fechado em produção de alimentos, conservação de energia e reuso de materiais a partir de resíduos na região, ao mesmo tempo em que empodera os moradores locais. Nesse sentido, a The Plant Chicago, foi criada para capacitar pessoas e empresas em direção a práticas circulares por meio da pesquisa e projetos comunitários e educacionais. Além das visitas abertas ao público em geral, que demonstram as tecnologias desenvolvidas, a organização se associou a quatro escolas públicas da região e fornecem programas de educação científica ao longo do ano letivo.

[18] Fonte: www.ellenmacathurfoundation.org/case-studies

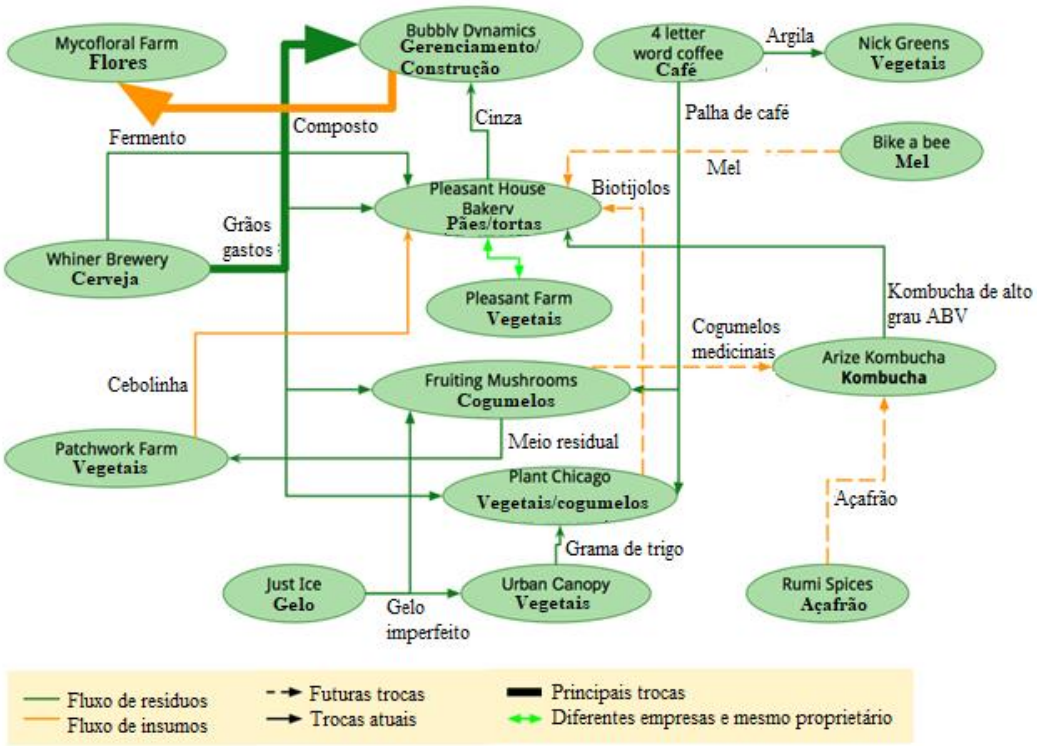

Figura 29. Diagrama conceitual da comunidade The Plant com todos os processos integrados.
Fonte: Modificado de Fundação Ellen MacArthur [19](2018).

Dentre as empresas estão cervejarias, fazendas *indoor* e *outdoor*, padaria, um distribuidor de queijo, um torrador de café e outros produtores e distribuidores de alimentos, podendo-se destacar o cultivo aquapônico, de cogumelos e a fabricação de kombucha. Na aquaponia, aquicultura e hidropônica em conjunto, os grãos gastos da cervejaria Whiner Brewery, que são usados como meio de cultivo de cogumelos, também alimentam os peixes criados, cujos resíduos em nitrogênio são filtrados por biomateriais e fertilizam as plantas cultivadas. Segundo reportagem da GreenBiz[20], a empresa Arize Kombucha distribui mais de 500 litros de chá fermentado por mês para supermercados de Chicago e a Fruiting Mushrooms produz 500 quilos de cogumelos de ostra por semana.

Conforme reportado pelo estudo da Fundação Ellen MacArthur, a cada mês são produzidos 18 toneladas de materiais, em que 40% consistem de produtos finais e 60% de coprodutos. Tais dados evidenciam o potencial do reuso de materiais e resíduos alimentícios para a geração de valor ao mesmo tempo em que proporciona aos moradores melhorar qualidade de vida. A próxima etapa da planta é alimentar o digestor anaeróbio com resíduos

[19] Fonte: www.ellenmacathurfoundation.org/case-studies
[20] Fonte: www.greenbiz.com/article/how-chicagos-quirkiest-companies-sprouted-circular-economy

de indústrias de alimentos locais para a produção de biogás, desviando mais de 10 mil toneladas de resíduos alimentares dos aterros sanitários a cada ano, enquanto poderá abastecer energia elétrica suficiente para mais de 250 casas, reduzindo a demanda de gás natural.

O estudo da Fundação Ellen MacArthur reporta que cerca de um terço das calorias alimentares produzidas no mundo são desperdiçadas e, nos Estados Unidos, estima-se que até 20% dos materiais de aterro constituem em volume de resíduos alimentares.

- Extrair Óleos Naturais

A Extrair Óleos Naturais é uma empresa brasileira, localizada em Campos dos Goytacazes (RJ), que faz parte do Grupo Fruta Rica. Em parceria com indústrias de sucos e polpas de frutas dos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia, a microempresa realiza a aquisição de semente (resíduo) e extrai os óleos do maracujá, conforme esquema mostrado na Figura 30, ou a transforma em outros produtos de valor agregado, como a própria semente desidratada ou em farelos[21].

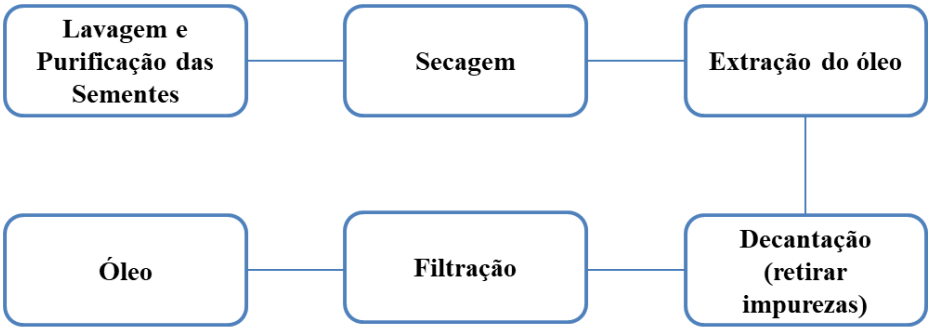

Figura 30. Etapas do processo de extração do óleo de maracujá pela Extrair Óleos Naturais.
Fonte: Elaborado a partir de dados Extrair Óleos Naturais[21] (2014).

Em 2015, a Embrapa Agroindústria de Alimentos e a Universidade Estadual do Norte Fluminense firmaram um contrato de transferência de tecnologia do processo de reaproveitamento de resíduos de indústrias de sucos de frutas com a companhia. O projeto APL Maracujá é resultado da patente gerada pelo processo que obtém o óleo purificado, a torta desengordurada e arilo desidratado da fruta. Como o objetivo é ampliar valor na cadeia produtiva, a assinatura do contrato gerará *royalties* a partir da comercialização dos produtos obtidos, desenvolvendo também a economia local.

[21] Fonte: www.extrair.com.br

6.1.1.1 Análise Pontual do Setor de Alimentos

O Quadro 8 apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Alimentos exposto. Pode-se verificar empresas de diferentes países, destacando-se a presença brasileira da Extrair Óleos Naturais e da Danone. Ainda que o *core business* dessas empresas que já iniciaram práticas circulares neste setor seja diferenciado, percebe-se uma sinergia entre elas quanto à atuação no ciclo biológico e no ciclo reverso com o reuso e a reciclagem de resíduos de processo ou de subprodutos das respectivas cadeias produtivas.

Quadro 8. Casos de empresas pertencentes ao setor de alimentos.

	Balbo Group	**British Sugar Plc**	**Toast Ale**	**Danone**		**The Plant Chicago**	**Extrair Óleos Naturais**
País-sede	Brasil	Reino Unido	Reino Unido	França		Estados Unidos	Brasil
País do caso	Brasil	Reino Unido	Reino Unido	Brasil México Argentina	França	Estados Unidos	Brasil
Ciclo	B	B/T	B	T	B	B/T	B
"*Building block*"	Novos modelos de negócios Ciclo reverso	Novos modelos de negócios Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo Reverso Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis	*Design* Ciclo reverso Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis	Novos modelos de negócio Ciclo Reverso Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis
Driver	Reúso Reciclagem *Biobased industry*	Simbiose Industrial	Reciclagem *Biobased industry* Economia Colaborativa	Reciclagem	Simbiose Industrial	*Biobased industry* Simbiose Industrial	Reciclagem Simbiose industrial
Processo	Controle biológico Polimerização	Digestão anaeróbia Fermentação	Fermentação	Reciclagem mecânica	Digestão anaeróbia (metanização)	Digestão anaeróbia	ND
Insumo/ Matéria-prima	Resíduos e coprodutos de processo Cana-de-açúcar	Resíduos agrícolas Levedura	Pão excedente de venda e produção	Resíduo de embalagens (PET*, PS* e papelão)	Esterco de boi e água residual de produção de leite	Resíduo de alimentos	Resíduo do suco de maracujá
Produto Químico	Fertilizante orgânico PHB*	Bioetanol Biogás (metano) CO_2 (bioetanol)	Cerveja	r-PET* r-PS*	Biogás Biofertilizante	Biogás	Óleos
Outro Produto Final	Energia termoelétrica e elétrica "verde"	Energia (eletricidade e calor) Ração animal Calcário Solo vegetal Horticultura Medicamento	ND*	ND*	N/A	Alimentos	Outros coprodutos de valor agregado
Setor à montante	Agrícola Petroquímico	Agrícola Energia Mineração	Agrícola	Petroquímico	Agrícola Energia Petroquímico	Energia	Alimentos Agricultura
Setor à jusante	Transformados plásticos	Farmacêutico	Alimentos e Bebidas	Transformados plásticos	N/A*	Alimentos	Farmacêutica

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico. PHB: Polihidroxibutirato. PET: Politereftalato de etileno. PS: Poliestireno. r-PET: PET reciclado. r-PS: Poliestireno reciclado.

Tal cenário é identificado no uso de fontes renováveis para gerar energia limpa, combustíveis “verdes” e outros coprodutos de valor agregado, no caso da Balbo Group e da British Sugar. Além disso, a comercialização de agregados pode influenciar o setor de mineração. Além disso, a substituição da cevada maltada pelo pão não utilizado, no caso da Toast Ale, que pode impactar o setor agrícola por implicar na redução da demanda deste insumo a longo prazo e o setor de alimentos e bebidas relacionado à produção de cerveja artesanal ou, inclusive, de cerveja industrial (no caso de uma parceria em larga escala).

Além disso, outro fator de suma importância para o desenvolvimento desses casos foi a colaboração entre as empresas e outros *stakeholders* das respectivas cadeias produtivas como, por exemplo, a estrutura voltada para o reuso e projetos colaborativos entre as empresas e a comunidade local na The Plant Chicago. Ações nesse sentido ampliaram o leque de oportunidades e, por conseguinte, potencializou a geração de valor ao acumular as respectivas *expertises* e a obtenção de novos modelos de negócios.

Vale destacar a agricultura regenerativa, a produção de tomate e do fármaco, a cogeração de energia com o sistema CHP e a integração da cadeia produtiva das indústrias de sucos e polpas de frutas ao agregar valor ao resíduo do maracujá para aplicações do óleo, da torta desengordurada e da semente desidratada. Outros diversos tipos de produtos foram obtidos a partir de recursos secundários: fertilizante orgânico, bioplásticos (PHB) e plásticos recicláveis (r-PET, PS).

Considerando a participação em torno de 25% da Indústria de Alimentos e Bebidas na Indústria de Transformação em 2016 (ABIA, 2016), os produtos que podem ser gerados direta ou indiretamente, por sua vez, desde *commodities* a produtos de química fina atingem economicamente outros setores, mostrando o potencial que a implementação da economia circular pode proporcionar. Desse modo, os segmentos agrícola, petroquímico e energia (a montante) podem ser mais impactados, principalmente, pelas práticas de agricultura regenerativa, a recirculação de resinas recicladas na cadeia como insumo e com os biocombustíveis, respectivamente. Essas resinas e o uso em maior escala de bioplásticos e materiais recicláveis, por sua vez, podem também influenciar o setor de transformados plásticos (a jusante).

6.1.2 BIOTECNOLOGIA

Neste item serão apresentados os casos relacionados às empresas Novozymes A/S, Novo Nordisk, Anoxkaldnes AB e Ecovative Design, cujas atividades estão associadas à biotecnologia.

- Novozymes A/S e Novo Nordisk A/S

A Novozymes A/S, que faz parte do grupo Novo Holdings A/S juntamente com a Novo Nordisk A/S e a NNIT[22], é líder mundial em bioinovação, cujos negócios estão relacionados à biotecnologia com a produção de enzimas, micro organismos e biopolímeros[23]. A Novo Nordisk A/S, é uma multinacional dinamarquesa, líder mundial no tratamento do diabetes, bem como outras doenças crônicas como a hemofilia, os distúrbios do crescimento e a obesidade[22], sendo também pertencente ao setor farmacêutico.

As companhias fazem parte do parque industrial de Kalundborg (DK), mostrado na Figura 31, reconhecido pelo caso bem-sucedido de simbiose industrial, em que companhias públicas e privadas compram e vendem materiais e resíduos de uma para a outra para serem usados como insumo, formando um ciclo fechado de produção[24]. Estabelecido desde 1972, o parque apresenta atualmente a simbiose entre o município e mais 8 principais empresas (Novo Nordisk, Novozymes, DONG Energy, RGS90, Statoil, Gyproc, Kalundborg Supply e Argo). Além de outros benefícios, 3 milhões m^3 de água são economizados e 70% de soja que seriam utilizados em ração suína são evitados pelo reciclo de 150 Kt de levedura residual no parque[24].

A Novozymes e a Novo Nordisk possuem sua própria planta de esgoto e biogás no parque industrial, a Novozymes Wastewater & Biogas, para a produção de eletricidade, calor e fertilizante a partir de seus resíduos. Nesta, a biomassa e água de processo residuais de ambas as companhias são misturadas com cálcio e transformados em NovoGro 30, um fertilizante de alto valor agregado, que é vendido aos agricultores. Os resíduos de levedura e etanol da produção de insulina e água residual de processo são usados como insumo para produção de biogás, que alimenta um motor e gerador, produzindo eletricidade para a rede. Por conseguinte, o calor residual deste processo é reaproveitado para o parque e uma pequena

[22] Fonte: www.novoholdings.dk/about/holdings/
[23] Fonte: www.novozymes.com/pt-BR/la-pt
[24] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies

parte da água de processo é enviada para a planta de microalgas do município de Kalundborg. Ainda em fase de testes, as microalgas limpam a água e capturam CO_2[25].

Além das trocas já mencionadas com a Novozymes, a Novo Nordisk recebe vapor da Dong Energy para aquecer condensado quente (90ºC) da produção à vapor quente (200ºC) novamente ou utiliza este condensado para pré-aquecer água fresca para a produção local de vapor, requerendo menos energia[28].

A produção de ração animal a partir da levedura pode impactar os setores de alimentos e agropecuário ao fornecer matéria-prima barata para tal aplicação. Além da elevada representatividade do setor de alimentos já mencionada, este tipo de simbiose industrial no Brasil apresenta forte potencial, considerando que no país a agropecuária é responsável por cerca de 20% do PIB[26].

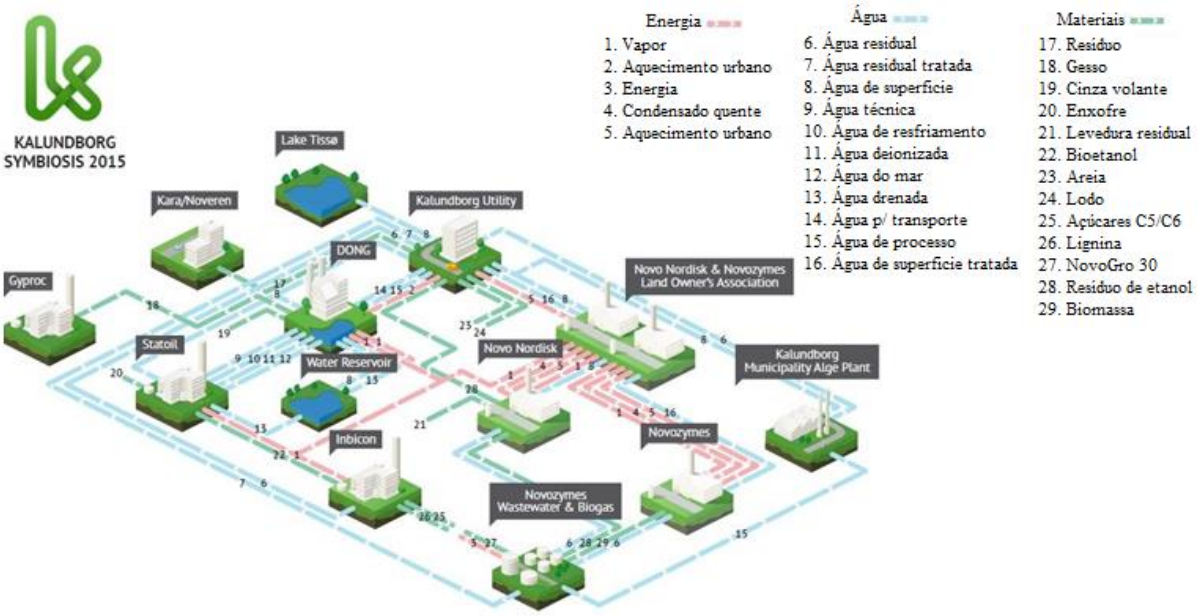

Figura 31. Parque Industrial de Kalungborg (DK).
Fonte: Symbiosis[27] (2017).

- <u>Anoxkaldnes AB</u>

A AnoxKaldnes AB, subsidiária da Veolia, possui seu portfólio voltado para a produção de biogás, biopolímeros e tratamento biológico de água residual baseado na

[25] Fonte: www.symbiosis.dk
[26] Fonte: www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/agropecuaria/agropecuaria
[27] Fonte: www.symbiosis.dk

tecnologia *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)[28] ou Reator de leito móvel com biofilme, em que os micro organismos que crescem nas superfícies de um suporte plástico e são mantidos em suspensão no reator de tratamento.

No contexto da economia circular está operando uma planta piloto para a produção biotecnológica e recuperação de polihidroxialcanoatos (PHA) por bactéria a partir de água residual de estações de tratamento na Bélgica, Holanda e Dinamarca. A estimativa é a ampliação de escala para 5000 t PHA/ ano para tornar a planta comercialmente viável em detrimento a capacidades já reportadas de 10.000-15.000 t de bioplásticos por ano, conforme depoimento do vice-presidente executivo da Veolia Water Technologies AB, Jacob Bruus, para a *Circulate News* (EGERTON, 2015). Por possuir propriedades semelhantes ao polipropileno, este bioplástico pode substituí-lo em algumas aplicações (embalagens, produtos agroindustriais e serviços), além de ser também biodegradável.

- Ecovative Design

A empresa norte-americana, Ecovative Design, é líder no desenvolvimento de materiais a partir de micélio de cogumelos para a produção de embalagens, painéis para móveis e construção e outros bens de consumo. No contexto da economia circular, a proposta da empresa é a fabricação de materiais projetados de alta performance e totalmente compostáveis obtidos a partir de resíduos agrícolas e micélios de cogumelos, cuja propriedade adesiva pode substituir formaldeído ou outros intermediários derivados do petróleo.

A MycoBoard™ é uma linha de madeiras para uso como mobília, fabricadas a partir de linho, canola, cânhamo, madeira macia e de lei. Além serem de feitas de fonte renovável e biodegradáveis, as madeiras apresentam proteção acústica e maior resistência ao fogo. A MycoFoam™ é outra linha de produtos fabricados para a substituição de plásticos expandidos (polietileno e poliestireno) com aplicação para embalagens, painéis de isolamento acústico, bóias e jangadas (Figura 32).

[28] Fonte: www.technomaps.veoliawatertechnologies.com/mbbr/en/

Figura 32. Mushroom® Packaging para embalar de vinho.
Fonte: Ecovative Design[29] (2017).

Os resíduos agrícolas são limpos e inoculados com o tecido de cogumelo, cujo crescimento ocorre em 5-7 dias sem necessidade de luz ou água, digerindo o subproduto agrícola e vinculando-se ao formato necessário. No final do processo, o material passa por um processo de desidratação e tratamento térmico para interromper o crescimento e garantir a ausência de esporos ou agentes alergênicos.

Desde a concepção, em 2010, empresas como Dell, Steelcase (fornecedora mundial de mobiliário de escritório) e Stanhope-seta (fabrica equipamentos de teste de petróleo e instrumentos de controle de qualidade) já utilizam as embalagens de proteção Mushroom® Packaging para a entrega de seus produtos.

A companhia ainda comercializa o kit "*Grow-It-Yourself*" (GIY) para preparo destes materiais em menor escala, podendo ser utilizado por pessoa física, estudantes ou cientistas e ser moldado de acordo com a preferência do público.

6.1.2.1 Análise Pontual do Setor de Biotecnologia

O Quadro 9, apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Biotecnologia, caracterizado por ser transversal e heterogêneo devido à utilização de diferentes ramos da ciência para diversos campos de aplicação (BICS, 2013), tendo em torno de 139 setores distintos que utilizam a biotecnologia em seus produtos ou serviços (ABDI.; CGEE., 2010). Quando a biotecnologia é tratada como um setor deve-se às atividades comerciais geradas a partir da aplicação tecnológica da sua definição como ciência, isto é, a aplicação em sistemas ou processos biológicos e organismos vivos para o desenvolvimento em pesquisa, produtos e serviços (FUNDAÇÃO BIOMINAS, 2007 *apud* ABDI; CGEE, 2010; BICS, 2013).

[29] Fonte: www.ecovativedesign.com

Quadro 9 - Casos de empresas pertencentes à área de Biotecnologia.

	Novozymes A/S e Novo Nordisk	**Anoxkaldnes AB**	**Ecovative Design**
País-sede	Dinamarca	Suécia	EUA
País do caso	Dinamarca	Bélgica, Holanda e Dinamarca	EUA
Ciclo	B T	B	B
"*Building block*"	Ciclo Reverso	Ciclo Reverso	*Design* Ciclo Reverso
Driver	Simbiose Industrial *Biobased industry*	*Biobased industry*	*Biobased industry*
Processo Químico	N/A*	Tratamento de água residual	Fermentação
Insumo/ Matéria-prima	Levedura residual Água residual Vapor e condensado quente	Água residual	Resíduos agrícolas Micélios de cogumelos
Produto Químico	Fertilizante Biogás	PHA*	N/A
Outro Produto Final	Ração animal Eletricidade e calor	N/A	Madeira projetada Embalagem Painéis Produtos marítimos
Setor à montante	Agropecuária Energia Petroquímico	Petroquímico	Agrícola
Setor à jusante	Alimentos	Transformados plásticos	Madeira Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico. PHA: Polihidroxialcanoato.

Do mesmo modo que no setor anterior, podem-se perceber diferentes origens entre as empresas encontradas para este setor, havendo sinergia das ações circulares no ciclo biológico e no ciclo reverso. Isto se deve ao reaproveitamento de resíduos de processo e insumos de origem biológica para síntese de bioprodutos, como é o caso da planta Novozymes Wastewater & Biogas no parque industrial de Kalundborg (DK). Já o reuso das utilidades industriais mencionadas acima podem chegar a não influenciar algum setor devido às suas aplicações de curto ciclo. Assim, a comercialização desses resíduos para a indústria de fertilizantes influencia de certa forma o setor petroquímico, uma vez que reduz a dependência pelos insumos já comumente utilizados. Além disso, o setor energético pode ser influenciado pela produção de biogás e eletricidade ainda que para autossuficiência do parque industrial.

Vale destacar a geração de valor conferida pela conversão de água residual de estação de tratamento em PHA e de micélios de cogumelos em embalagens, painéis e madeiras. A substituição dos materiais de origem sintética por estes bioprodutos é pauta de grandes discussões dada a enorme poluição causada pelos plásticos em contrapartida à decomposição

parcial dos materiais que contém apenas uma proporção de plásticos biodegradáveis, acumulando grandes quantidades de microplásticos nos ambientes terrestre e marinho (KLEMCHUK, 1990 *apud* MAGRINI *et al.*, 2012).

Nesse sentido, o desenvolvimento das respectivas tecnologias em maior escala de modo a tornar a substituição efetiva apresenta forte potencial para resolver um dos maiores problemas ambiental. Desse modo, considerando os casos aqui analisados, não foi possível traçar um perfil de convergência devido à variedade de produtos e insumos, tendo, assim, os setores de energia, petroquímico e agrícola, a montante, e de madeira e transformados plásticos, a jusante, que podem ser mais impactados pelas respectivas práticas circulares.

6.1.3 ENERGIA

Neste item serão apresentados os casos relacionados às empresas Orsted, Inbicon, Statoil, Argo, Brocklesby Ltd., Methanum, e Linköping Biogas Plant, que possuem atividades relacionadas ao setor de energia.

- <u>Orsted</u>

A Orsted (anteriormente DONG Energy) possui suas atividades voltadas na exploração, produção e distribuição de energia eólica, bioenergia e termoelétrica. A companhia dinamarquesa é líder no desenvolvimento e construção de energia eólica *offshore*, tendo obtido capacidade de 6 TWH em 2016. Até 2020, assumiu o compromisso de expandir essa capacidade para 7,45 GWH e suas unidades em toda a Europa, na Dinamarca, Alemanha, Reino Unido e Países Baixos[30].

Em 2007, a companhia iniciou a produção de energia a partir de resíduos de silvicultura e de agricultura (pellets de madeira, por exemplo), reduzindo o uso de carvão em 73%, comprometendo-se a substituí-lo em todas as suas centrais elétricas por biomassa sustentável e as emissões de carbono em 93% até 2023. Além disso, também irá reutilizar resíduos de Novo Nordisk e Novozymes em uma nova planta de biogás, que está programada para iniciar por volta de abril de 2018. Segundo a companhia, esta usina terá uma capacidade de produção de 8 milhões de m^3 de gás natural por ano, abastecendo 5.000 famílias aproximadamente[30].

[30] Fonte: www.orsted.com/en

No parque de Kalundborg (DK), como mostrado anteriormente na Figura 31, pratica a simbiose industrial com a Gyproc, ao fornecer gás de combustão como insumo para a produção de gesso. Além disso, a companhia realiza trocas de: i) cinza volante resultante dos seus processos para uma empresa de cimento (não detalhada) para recuperar níquel e vanádio; ii) calor para a piscicultora e iii) vapor para a Novo Nordisk.

- Inbicon

A Inbicon, subsidiária da Orsted, atua na produção de etanol, bioetanol de 2ª geração e em soluções tecnológicas a partir de biomassa lignocelulósica. Também situada no parque de Kalundborg, compra vapor da Dong Energy, Statoil e Novo Nordisk & Novozymes Waste Water and Biogas. Além disso, a Statoil é um de seus clientes de bioetanol no parque como mostrado anteriormente na Figura 31.

- Statoil

A Statoil, um dos principais *players* do setor de energia, atua em 36 países, dentre eles o Brasil, na exploração e produção de petróleo e gás natural. Desde 2012, tem investido em energias renováveis por meio de planta de energia eólica no Reino Unido e projetos de captura e estocagem de carbono[31].

No parque industrial de Kalundborg (DK), o enxofre resultante do seu processo de dessulfurização é vendido para indústria de fertilizante, na qual o utiliza para a produção de adubo líquido. Vale destacar que a Statoil é a única empresa que atua na área de refino a realizar isto no mundo. Além disso, a água de resfriamento, água técnica e gás são vendidos para a Dong Energy e, desta, compra água do mar, vapor e água deionizada.

- Argo (Kara/Noveren)

A Argo (anteriormente Kara/Noveren) é uma empresa dinamarquesa na área de recursos renováveis e meio ambiente, cujo *core business* é o processamento de resíduos tanto para a população quanto para empresas e governos[32]. No parque industrial de Kalundborg é

[31] Fonte: www.statoil.com/
[32] Fonte: www.argo.dk/

responsável pelo tratamento de resíduos do parque industrial e geração de energia a partir destes que não são reciclados ("*waste-to-energy*"), como mostrado anteriormente na Figura 31.

- Brocklesby Ltd.

A Brocklesby Ltd. é uma empresa especializada na coleta e conversão de resíduos gordurosos animais e vegetais em produtos de valor agregado. Para a produção de biocombustíveis, criou a *joint-venture* Greenergy, em que reutiliza óleo de cozinha usado e resíduos gordurosos de alimentos com alto teor de gordura para a produção de biodiesel. A glicerina e os resíduos de destilados provenientes da produção, por exemplo, são convertidos em outros produtos. Além disso, oferece o serviço de geração de energia a partir de água residual[33].

Por meio da colaboração com o poder público do Reino Unido e Irlanda e fabricantes de alimentos, a companhia, que operava somente em escala de restaurantes, passou também a operar com resíduos de fábricas de alimentos A planta de processamento de resíduos de alimentos, por exemplo, trabalha com 300 toneladas por semana e funciona como fonte de P&D para novas tecnologias. Com isso, desde porções de manteiga de 10 gramas individuais até a carga de tanque de 25 toneladas de óleo, a companhia consegue obter margem e gerar valor a partir destes resíduos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017a).

- Methanum

A Methanum é uma empresa brasileira, localizada em Minas Gerais, que desenvolve tecnologias voltadas para a geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos e efluentes industriais[34].

No âmbito dos resíduos sólidos urbanos, um projeto entre a companhia, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Prefeitura do Rio de Janeiro promete instalar a primeira tecnologia de biometanização a partir de RSU na América Latina denominada tMethar®, em que serão instalados Túneis de Metanização de Resíduos Orgânicos. Situada no Rio de Janeiro (Usina

[33] Fonte: www.brocklesby.org/
[34] Fonte: www.methanum.com

do Caju), a planta foi projetada para operar com capacidade em torno de 50 t/dia e produção de 4.500 Nm^3/dia de biogás, 150 kW de energia e 1.500 Nm^3/dia de biometano, aproximadamente (COLTURATO, 2016).

O projeto ainda promete que a planta, atuando com o modelo de geração distribuída[35], será modular e escalonável, porém a sua instalação prevista para o início de março de 2017 ainda não ocorreu. Além desta tecnologia, a Plataforma de Metanização Resíduos Orgânicos (pMETHAR®) se encontra em fase demonstração na UFMG com capacidade de até 10 t/dia[40].

- Linköping Biogas Plant

A planta de produção de Biogás Linköping, situada na cidade de mesmo nome na Suécia e operada pela Svensk Biogas, é resultado da cooperação entre a prefeitura, o abatedouro local Swedish Meats AB e a associação de agricultores Lantbrukets Ekonomi AB (IEA BIOENERGY, 2005).

Seguindo o modelo *waste-to-energy*, a planta instalada desde 1997 utiliza resíduos agrícolas, de alimentos (resíduos de gorduras e vegetais, por exemplo), resíduos de matadouro (sangue e água de processo, por exemplo), juntamente com estrume de fazendas locais como matéria-prima para a codigestão anaeróbia (IEA BIOENERGY, 2005; PAN et al., 2014). Atualmente, a planta opera em larga escala com capacidade de tratamento de 100.000 t/ano de resíduo e produção de biogás (97% metano) em 4,7 milhões Nm^3/ano, correspondendo a quase 5,5 milhões de litros de diesel. Além disso, o digestato é armazenado para ser utilizado como biofertilizante pelos agricultores, tendo produção anual de 52.000 toneladas (IEA BIOENERGY, 2005).

O biogás é usado em 64 ônibus e uma série de veículos pesados e leves. Desde 2002, existem ônibus de biogás na frota de transporte urbano e as emissões de CO_2 e NOx foram reduzidas em mais de 9 mil toneladas e 1,2 toneladas por ano (IEA BIOENERGY, 2005; PAN et al., 2014).

[35] Geração Distribuída: Geradores de pequeno porte que podem ser alimentados com combustível renovável ou de fonte finita e localizam-se próximos aos centros de consumo. Tem como vantagens o baixo impacto ambiental, a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada, a diversificação da matriz energética e investimentos nos sistemas elétricos de transmissão e distribuição mais espaçados. Tem como desvantagens o aumento da complexidade de operação da rede, a dificuldade de cobrança, a eventual incidência de tributos e a possível alteração dos modos de operação, controle e proteção das redes distribuidoras (ANEEL, 2016).

6.1.3.1 Análise Pontual do Setor de Energia

A partir da análise do Quadro 10, que apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Energia, pode-se perceber que as empresas cujas atividades pertencem ao setor energético, convergem suas ações no ciclo biológico e no ciclo reverso da economia circular. Com exceção da Statoil e da Argo, cujos casos tratam do reuso de utilidades do parque industrial, pertencendo ao ciclo técnico, em sua maioria é possível notar o modelo de negócio w*aste-to-energy* com o uso de resíduos orgânicos para a conversão em energia e biocombustíveis, principalmente o biogás.

Quadro 10 - Casos de empresas pertencentes ao setor de energia.

	Orsted	**Inbicon**	**Statoil**	**Argo**	**Brocklesby Ltd.**	**Methanum**	**Linköping biogas plant**
País-sede	Dinamarca	Dinamarca	Noruega	Dinamarca	Reino Unido	Brasil	Suécia
País do caso	Dinamarca	Dinamarca	Dinamarca	Dinamarca	Reino Unido	Brasil	Suécia
Ciclo	B T	B T	T	B	B	B	B
"*Building block*"	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Ciclo Reverso	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Ciclo Reverso	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis	Ciclo Reverso Novos Modelos de Negócio Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis
Driver	Simbiose Industrial *Waste-to-energy*	Simbiose Industrial *Waste-to-energy*	Reúso Simbiose Industrial	Simbiose Industrial *Biobased industry* *Waste-to-energy*	*Biobased industry* Reciclagem	*Biobased industry* *Waste-to-energy*	*Biobased industries* *Waste-to-energy*
Processo Químico	N/A*	N/A	N/A	ND*	Transesterificação Reúso de água	ND	Digestão anaeróbia
Insumo/Matéria-prima	Cinza volante Gás de combustão Calor Vapor Resíduos da silvicultura e agricultura	Vapor Biomassa lignocelulósica	Enxofre Água de processos Energia (gás e vapor)	Resíduos do parque industrial	Óleo de cozinha usado Resíduos gordurosos Glicerina Água residual	RSU*	Resíduos agrícolas, de alimentos e de matadouros
Produto Químico	Biogás	Biogás	N/A	ND	Biocombustível	Biogás (biometano)	Biogás (biometano) Biofertilizante
Outro Produto Final	Gesso Recuperação de níquel e vanádio Energia	N/A	N/A	Energia	Energia	ND	N/A
Setor à montante	Extração mineral Energia	Energia	Petroquímico	Energia	Energia	Energia	Energia Petroquímico
Setor à jusante	Construção civil	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaboração própria.

*ND: Não disponível. N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico. RSU: Resíduos Sólidos Urbanos.

A Orsted, por também trocar insumos, como cinza volante para a recuperação de níquel, vanádio e outros minérios e gás de combustão para a produção de gesso, pode impactar o setor de extração mineral e construção civil, respectivamente. A troca de calor e vapor contribui para a autossuficiência do parque, porém não necessariamente chegam a impactar algum setor. No caso da Statoil, a transformação de enxofre residual em adubo pode impactar o setor petroquímico pelo fornecimento de fonte alternativa de obtenção de insumo para a indústria de fertilizantes.

Vale destacar os casos que envolvem projeto colaborativo e órgãos de fomento, como a Cicla Brasil, Methanum e Linköping Biogas Plant, pertencentes ao *building block* de agentes facilitadores e condições favoráveis ao sistema, que demonstram a importância deste tipo e, principalmente do setor público, para a implantação de fontes alternativas de energia em escala, beneficiando a diversificação da matriz energética. No Brasil, a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás) considera que o potencial nacional chega a 20 bilhões de m^3/ano nos setores sucroalcooleiro e na produção de alimentos e 3 bilhões m^3/ano no setor de saneamento básico, resíduos sólidos e esgotos doméstico. Além disso, há estimativas de aumento o potencial energético a partir de biomassa de 210 milhões de Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP) em 2013, para cerca de 460 milhões de TEP em 2050 (CIBIOGÁS, 2013).

Dessa forma, no contexto da economia circular, o setor de energia pode ser influenciado pelos biocombustíveis citados e derivados da biomassa pela substituição por estas fontes alternativas em larga escala. À jusante da indústria química, não foi obtido uma convergência, tendo identificado apenas o setor de construção civil com a produção de gesso a partir de gás de combustão pela Orsted ao fornecer uma fonte de matéria-prima mais barata.

6.1.4 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Neste item serão apresentados os casos selecionados, cujas empresas Gyproc e o Grupo Tarkett possuem atividades associadas à área de materiais de construção.

- <u>Gyproc</u>

A companhia Gyproc, integrante do caso de simbiose industrial de Kalungborg descrito anteriormente, faz parte do grupo global Saint-Gobain e tem o *core business* voltado

para materiais de construção de ambientes internos, cujos produtos são baseados em gesso e aço 100% recicláveis.

No parque industrial, a companhia compra gás da Statoil e gás de combustão da Dong Energy como insumo para a produção de gesso (Figuras 33). Por envolver a reciclagem de material de fonte finita (gases), este caso pertence ao ciclo tecnológico da economia circular, em que o setor de extração mineral pode ser impactado pela substituição da extração de gipsita, matéria-prima para a produção de gesso.

Figura 33. Ilustração da simbiose industrial entre a Dong Energy e Gyproc.
Fonte: symbiosis.dk (2017).

- <u>Tarkett</u>

O Grupo Tarkett é líder global em produção de pisos, cujos materiais variam entre vinílicos, borracha, laminados, madeira, além de superfícies esportivas. Com produção anual de 470 milhões de m² em pisos e revestimentos, tem como principal estratégia de negócios a circularidade de seus produtos, apresentando 7 centros de reciclagem em todo o mundo[36]. A companhia recebe resíduos de pisos de canteiros de obras ou de instalações em diferentes países para reciclar juntamente com resíduos de produção e fabricar um novo piso, resultando em mais de 77 mil toneladas de reciclagem por ano.

Tendo 80% da matéria-prima utilizada com certificação *Cradle to Cradle*®, a empresa busca, desde o *design* de seus produtos, aplicar materiais de origem renovável, reciclado ou reciclável, atuando tanto no ciclo biológico quanto no ciclo técnico, reduzindo ou eliminando o uso de materiais virgens em suas operações e a liberação de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) em baixas quantidades. Segundo o estudo da Ellen Macarthur Foundation (2017), na fábrica em Jacareí (SP), houve produção de pisos vinílicos com 65% de PVC reciclado (pós-consumo e pós-industrial), equivalendo a aproximadamente 100 toneladas por ano; todos os

[36] Fonte: www.tarkett.com.br

ftalatos, amplamente usados como plastificantes, foram substituídos por bioplastificantes derivados de óleos e álcoois vegetais e toda a sucata gerada no processo de fabricação é reciclada internamente. Além disso, a Tarkett se comprometeu a lançar no país um programa de coleta de pisos pós-instalação e pós-consumo, inicialmente para grandes clientes na região sul e assumindo os custos de transporte.

Em nível global, a companhia apresenta 92% dos pisos em m^2 com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, já foram coletados 9.900 toneladas de pisos pós-instalação e pós-consumo e 57% das unidades produtivas implementaram ciclos fechados de água ou não usam água em seus processos.

5.1.4.1 Análise Pontual do Setor de Materiais de Construção

O Quadro 11 apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Materiais de Construção.

Quadro 11 - Casos de empresas pertencentes ao setor de Materiais de Construção.

	Gyproc	**Grupo Tarkett**
País-sede	Dinamarca	França
País do caso	Dinamarca	Brasil
Ciclo	T	B T
Building block	Ciclo reverso	*Design* Novos modelos de negócio Ciclo reverso
Driver	Simbiose Industrial	Biobased industry Logística reversa
Processo Químico	ND*	ND
Insumo/Matéria-prima	Gás Gás de combustão (SO_2)	PVC* (pós-consumo e pós-industrial) Bioplastificantes
Produto Químico	ND	PVC reciclado
Outro Produto Final	Gesso	N/A*
Setor à montante	Extração mineral	Petroquímico
Setor à jusante	Construção civil	Construção Civil Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.

*ND: Não disponível. N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico. PVC: Policloreto de vinila.

Devido à própria natureza de fontes sintéticas dos materiais utilizados pelo setor de construção, o ciclo técnico da economia circular predominou nas ações circulares das empresas aqui apresentadas. Devido à destinação final do gesso no caso da Gyproc e Dong

Energy, o setor de construção civil podes ser influenciado pela entrada deste no mercado com o custo reduzido. Ainda que ambos os casos possuam suas particularidades e geração de valor, vale destacar o Grupo Tarkett que tem utilizado a circularidade como principal estratégia dos seus negócios, atuando em ambos os ciclos e em três dos quatro tipos de *building blocks* da economia circular. O retorno do PVC para a cadeia produtiva pode evitar o impacto que seria causado pelo seu despejo inadequado. Além disso, os ftalatos são alvos de grande atenção por apresentarem grande resistência à degradação, sendo altamente poluentes e, mais ainda, pelo cancerígeno ao sistema endócrino e, com isso, a sua substituição pelos bioplastificantes pode ser uma solução efetiva (ABDEL DAIEM *et al.*, 2012). Assim, tem-se que podem ser impactados a montante da indústria química, os setores de extração mineral e petroquímico, e a jusante, o setor de construção civil e o de transformados plásticos.

6.1.5 BENS DE CONSUMO

Neste item serão apresentados os casos das empresas, Unilever e Coca-Cola Enterprises, cujas atividades se relacionam com o setor de Bens de Consumo.

- <u>Unilever</u>

A Unilever é um dos grandes *players* do setor de Bens de Consumo, tendo mais de 400 marcas que abrangem nutrição, higiene e limpeza e cuidados pessoais. Desde 2010, passou a implementar o Plano de Vida Sustentável da Unilever (*Unilever Sustainable Living Plan*) em seus negócios, cujos planos de ação envolvem saúde e bem-estar, redução de impactos ambientais e melhores condições de trabalho[37].

A nível organizacional, a Unilever começou a implementar os conceitos da Economia Circular em 2014 já desde o início da cadeia, lançando as diretrizes *Design for Recyclability* por meio da embalagem modular, *design* para desmontagem e remontagem, maior uso de refis, reciclagem e uso de resíduos pós-consumo reciclados. A partir de então outras ações passaram a ser praticadas e facilitadas pela parceria com a Fundação Ellen MacArthur, como oficinas internas de treinamento sobre economia circular, cobrindo várias funções e categorias, curso gerencial sobre liderança neste tema com o apoio da Escola de

[37] Fonte: www.unilever.com

Administração da Universidade de Bradford e documento eletrônico explicativo para funcionários de todos os níveis.

Desenvolveu o projeto REFLEX (2014-2016) em colaboração com Axion Recycling, Amcor, Interflex, Dow, Nestlé, Tomra and Suez. O objetivo geral foi entender e abordar as barreiras técnicas para reciclagem mecânica de embalagens flexíveis no fluxo de resíduos pós-consumo. Para isso, foi obtido um conjunto de diretrizes de *design* que poderiam ser usadas pelos designers de embalagens para tomar decisões informadas sobre a escolha de materiais no que diz respeito à reciclabilidade. Uma análise de caso de negócios mostrou que, com o investimento, dois novos centros de reciclagem personalizados poderiam gerenciar as embalagens plásticas flexíveis do Reino Unido.

Em 2015, começou a utilizar 25% de r-PET na fabricação de embalagens de condicionador em alguns mercados europeus, incluindo o Reino Unido e a Holanda. Reduziu o uso de plástico nas embalagens em 15% por meio da tecnologia de moldagem MuCell™. No ano seguinte, assumiu o compromisso de reduzir à metade os resíduos gerados pelos seus produtos até 2020 e de aumentar em 25% o uso de plástico, como o polietileno de alta densidade (PEAD) e r-PET nas embalagens até 2025. Com isso, já foram utilizados cerca de 3860 t de plástico reciclado, as garrafas da linha TRESemmé já contém 25% de material reciclado, as garrafas de molho de salada Knorr na África do Sul contêm 30% de r-PET, além de outras garrafas que substituem PET com 40% de r-PET na Argentina e na África do Sul, incorporando 25% de polietileno de alta densidade reciclado (r-PEAD) nas garrafas Lux Body Wash.

Além disso, também tem o compromisso de realizar a medição de pegada ecológica nas suas embalagens e resíduos. Em 2016, conseguiu reduzir em 28% em relação a 2010 da pegada ecológica devido a melhorias na reciclagem e reuso das embalagens, eliminando as marcas cujas embalagens não foram amplamente recicladas e reduzindo o volume de materiais usados nas mesmas. Em janeiro de 2017, assumiu o compromisso de redesenhar as embalagens de plásticos para serem totalmente reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis até 2025.

Como se pode perceber no Quadro 12, a companhia tem investido nos seus projetos fortemente em reciclagem de plástico pós-uso, resíduos domésticos inorgânicos e de efluentes, adotando este novo modelo em vários países.

Quanto à reciclagem de plástico pós-uso tem atuado:

- Na Indonésia com um projeto voltado para a operação de uma planta piloto de combustíveis a partir de resíduos de embalagens de refis, utilizando uma tecnologia adaptada da pirólise (não detalhada), com início programado para 2017.
- No Marrocos, trabalha com o programa de incentivo à reciclagem pelos consumidores por meio da: i) sensibilização (campanha educacional multicanal - TV, internet, promoções em lojas de varejos); ii) Pontos de coleta voluntária, em que eles recebem uma taça de chá marroquino tradicional a cada 12 sachês usados; e iii) Reciclagem: os sacos coletados são enviados mensalmente para uma fábrica de cimento em Marrocos e reciclados para energia.
- Na Austrália e Nova Zelândia a Unilever se associou desde 2015 ao RED Group, uma iniciativa australiana de reciclagem em circuito fechado. O programa REDcycle ajuda os consumidores a reciclar plásticos macios, como embalagens de sorvete que tipicamente são consideradas difíceis de reciclar, fornecendo caixas de coleta de REDcycle dedicadas em supermercados líderes. A embalagem é, então, transformada em novos produtos, como mobiliário de exterior para escolas. Em 2016, através dos esforços de todos os parceiros da REDcycle, a iniciativa desviou mais de 77 milhões de peças de plástico do aterro sanitário.
- No Brasil, em parceria com a *Consumer Goods Forum*, Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) e Pão de Açúcar, a companhia instalou pontos de coleta voluntária de embalagens usadas no supermercado. Trabalha também conjunto com cooperativas na classificação de materiais. Em 2016, foram apoiadas 141 estações de reciclagem em 42 cidades e 45 cooperativas que geram renda (direta e indiretamente) para mais de 5.800 pessoas. Esta iniciativa coletou mais de 100 mil toneladas de material desde o início do programa há 15 anos.
- Na China, com o Programa Meta ZWL (*Zero Waste non-harzardous to Landfill*), a companhia tem reciclado resíduos de embalagens plásticas em uniformes para os funcionários na fábrica de Henfei.
- Na cidade de Nairobi (Quênia), os resíduos de plástico são comprimidos em folhas de telhas onduladas e recipientes químicos em recipientes de lixo para banheiros públicos.

Quanto aos resíduos domésticos inorgânicos, a Unilever:

- Criou o Programa do Banco Comunitário de Resíduos, em 2009, capacitando as comunidades para gerenciar seus resíduos domésticos. Por meio da Unilever Indonésia

Foundation, comunidades em 18 cidades desenvolveram um sistema onde podem coletar resíduos inorgânicos e vendê-lo com base no seu valor. O dinheiro recebido é salvo no banco de resíduos da comunidade e pode ser cobrado ao longo do tempo. O sistema funciona como um banco regular, exceto que os resíduos são depositados em vez do dinheiro. Em 2016, 1.630 bancos de resíduos comunitários com 73.228 membros coletaram 4.363 toneladas de resíduos de embalagens, no valor de 6.4 bilhões de IDR.

Por último, o reciclo de efluentes tem sido trabalhado:

- Em Mangalore (Índia), em que a fábrica usa os resíduos orgânicos produzidos para fertilizar hortas que cultivam alimentos para a cantina. Em parceria com o fabricante de cimento Lafarge Holcim e seu fornecedor de serviços de gerenciamento de resíduos Geocycle, os resíduos são pré-tratados e utilizados como combustível alternativo e matéria-prima em seus fornos de cimento. A cinza também é usada, sendo totalmente incorporada no clínquer, não deixando resíduos.
- Na fábrica Knorr em Mendoza (Argentina), se reaproveita efluente rico em nutrientes com solo solto agitado dos agricultores locais que produzem vegetais usados na fábrica, produzindo condicionante orgânico de solo, que será utilizado pelos mesmos agricultores. Desta forma, foram reduzidos desta fábrica 430 toneladas de resíduos.
- A fábrica de Agarapathana (Sri Lanka) tem utilizado resíduos de chá como combustível nas caldeiras.
- No Egito, foi lançado um programa que capacita os funcionários com deficiência para ganhar renda extra, reciclando resíduos das linhas de produção.

- <u>Coca-cola</u>

A Coca-Cola Enterprises (CCE) é um dos maiores líderes globais no setor de bens de consumo, englobando ao todo 54 marcas como, por exemplo, Coca-Cola, Fanta, Sprite, Nestea, Powerade, entre outras. Investiu € 13 milhões e criou dois centros de reprocessamento e reciclagem de garrafas PET: "Reciclagem Continuum", na Grã-Bretanha, por meio da *joint-venture* ECO Plastics e "Infineo", na França, por meio da *joint venture* APPE.

Além dos processos convencionais de reciclagem mecânica, utiliza também a policondensação para a purificação dos grânulos produzidos na etapa de extrusão e, então, seguem para a injeção. Os grânulos pré-formados são vendidos para customização pelas *joint*

ventures. A companhia também trabalha com o *design* voltado para o reprocessamento e recuperação dos materiais mais de modo mais facilitado e um centro de educação ambiental nas duas instalações com visitas escolares a fim de ensinar os benefícios da reciclagem e nos produtos que podem ser obtidos.

Tem como objetivo a redução de 25% do material usado até 2020 para usar mais conteúdo renovável, como PET de base vegetal, em embalagens e para melhorar a reciclabilidade geral de seus pacotes. Desde 2012, o centro "Continuum" já produziu 25 mil toneladas de r-PET por ano, incluindo 25% deste nas garrafas comercializadas na Holanda e economizou cerca de 33.500 toneladas de CO_2 por ano (equivalente a mais de 15.715 carros fora de circulação). A instalação também reciclou cerca de 15 milhões de garrafas coletadas nos Jogos Olímpicos e Paralímpicos do mesmo ano, fechando o ciclo como novas garrafas em seis semanas.

Operando desde 2013, o centro "Infineo" recebeu investimento de € 8,7 milhões em parceria com recicladora de plásticos APPE. Diferente do anterior, este centro é voltado para a reciclagem não somente de plástico, bem como de papel, papelão, vidro, aço e alumínio. De acordo com um estudo realizado pela CCE, apenas 50% das garrafas de plástico na França são recicladas e apenas 49% dos jovens com menos de 35 anos se consideram recicladoras ativas[38]. Nesse sentido, possui um centro físico e uma plataforma on-line dedicados à educação da Economia Circular de embalagens, recebendo mais de 5.000 alunos por ano de escolas e universidades. Além disso, 32% das garrafas de plástico da CCE na França contêm PET reciclado, proveniente deste centro.

A Coca-Cola Brasil tem concentrado seus investimentos na logística reversa das embalagens e criou o programa Coletivo Reciclagem em 2012 (COCA-COLA BRASIL, 2016).

Para a companhia, as cooperativas de catadores exercem um importante papel neste modelo como um elo no retorno destes materiais à cadeia produtiva ao realizar a triagem dos resíduos coletados e revenderem para as indústrias recicladoras (COCA-COLA BRASIL, 2017). Entretanto, muitas destas cooperativas operam em condições insalubres e, por isso, este programa firmou parceria com 304 unidades no país, representando mais de 6.631 catadores membros de cooperativas de reciclagem envolvidos e 19 estados, tendo como objetivo melhorar a eficiência, aumentar a renda e melhorar a qualidade de vida dos catadores (COCA-COLA BRASIL, 2016).

---

[38] Fonte: www.cokecce.com

As cooperativas foram classificadas em nível básico (sem infraestrutura e licenças de operação), intermediário (com infraestrutura e sem licenças de operação) e avançado (com infraestrutura e licenças de operação). Por ciclos de 6 meses de capacitação, é aplicado com uma metodologia modular, na qual é realizado um diagnóstico individualizado da cooperativa para em seguida serem estabelecidos metas e planos de ação (VOJVODIC, 2016). Ao final de cada ciclo a evolução das cooperativas são avaliadas por meio de indicadores de performance e os resultados são compensados por novos equipamentos, reforma das instalações ou outras necessidades (COCA-COLA BRASIL, 2016).

No último ciclo de avaliação, 93% das cooperativas alcançaram as metas, tendo um crescimento de 10% nos indicadores de performance e de 30% no volume recuperado e produtividade (COCA-COLA BRASIL, 2017). Entretanto, um dos grandes desafios tem sido a profissionalização das cooperativas não somente na venda de materiais como também na prestação de serviços, o que irá torná-las sustentáveis financeiramente (VOJVODIC, 2016).

No início de 2018, a companhia anunciou a meta de recolher 100% das embalagens que dispõe no mercado até 2030, investindo no *redesign* das embalagens (garrafas recicláveis, conteúdo de reciclados e retornáveis), na coleta e em parcerias globais como a Ellen MacArthur Foundation, com a iniciativa *New Plastics Economy*, The Ocean Conservancy/Trash Free Seas Alliance e World Wildlife Fund (*The Cascading Materials Vision and Bioplastic Feedstock Alliance*), além de parcerias regionais como a Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT) (COCA-COLA BRASIL, 2018; THE COCA-COLA COMPANY, 2018).

6.1.5.1 Análise Pontual do Setor de Bens de Consumo

Os Quadros 12 e 13 apresentam as propostas de categorização dos casos descritos do setor de Bens de Consumo. Pode-se observar que tanto a Unilever, como a Coca-Cola tem atuado, principalmente, no ciclo técnico e reverso da economia circular com o reuso e a reciclagem, sendo que a útlima também investe no *redesign* das embalagens de modo que possa tornar a cadeia circular. Apesar de serem empresas que diferem no *core business*, a convergência das ações concentradas no retorno das embalagens de seus produtos finais aponta o setor petroquímico e de transformados plásticos como mais impactados. Vale destacar a planta piloto de combustíveis a partir de resíduos de embalagens de refis da Unilever, que em larga escala poderá impactar o setor energético ao reduzir a dependência por fontes fósseis diretamente.

Quadro 12 - Casos da Unilever relacionados com a economia circular.

	Unilever						
País-sede	Reino Unido						
País do caso	Indonésia	Indonésia	Marrocos	Austrália e Nova Zelândia	Brasil	China Índia Sri Lanka Argentina	Quênia
Ciclo	T	T	T	T	T	T B	T
"*Building block*"	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso
Driver	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	Reciclagem	Redução Reúso Reciclagem Recuperação	Reúso Reciclagem Simbiose industrial
Processo Químico	Pirólise	N/A*	ND*	N/A	N/A	N/A	N/A
Insumo/Matéria-prima	Resíduo de Plástico	Resíduos domésticos inorgânicos	Resíduo de saco plástico	Resíduo de Plástico	Resíduo de Plástico	Resíduos de Plásticos Efluentes Resíduos de chá	Resíduos de Plásticos
Produto Químico	Combustível	N/A	N/A	N/A	N/A	Fertilizante Condicionante orgânico de solo	N/A
Outro Produto Final	N/A	Renda para a comunidade	Energia	ND*	N/A	Tecido Energia	Telhas Lixeiras
Setor à montante	Energia	N/A	Energia Petroquímico	Petroquímico	Petroquímico	Agrícola Petroquímico	Petroquímico
Setor à jusante	Transformados plásticos	N/A	Transformados plásticos	Transformados plásticos	Transformados plásticos	Têxtil	Materiais Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico.

Quadro 13 - Casos da Coca-Cola Enterprises relacionados com a economia circular.

	Coca-Cola Enterprises		**Coca-cola Brasil**
País	Estados Unidos		Estados Unidos
País do caso	Grã-Bretanha	França	Brasil
Ciclo	T	T	T
"*Building block*"	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso Novos modelos de negócio
Driver	Reciclagem	Reciclagem	Logística reversa Economia Colaborativa
Processo Químico	Policondensação	Policondensação	ND*
Insumo/Matéria-prima	Embalagens plásticas	Embalagens plásticas	Garrafas PET
Produto Químico	N/A*	N/A	r-PET
Outro Produto Final	N/A	N/A	N/A
Setor à montante	Petroquímico	Petroquímico	Petroquímico
Setor à jusante	Transformados plásticos	Transformados plásticos	Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*N/A: Não se aplica. ND: Não disponível. T: Tecnológico.

É fato inegável a emergência de ações de modo sistêmico. Conforme reportado pela Fundação Ellen Macarthur (2016) no relatório "*The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics*", pode haver mais plásticos que peixes no mar até 2050, caso o fluxo de materiais continue crescendo na mesma proporção, representando uma perda de anual de US$ 120 bilhões em material de embalagem plástica. Apesar de serem aplicados em um ciclo menor, os exemplos mostrados pela aplicação de embalagem em tecido, de resíduos orgânicos em fertilizante e chá e de efluente em condicionante de solo da Unilever ainda mantêm valor, podendo impactar os setores têxtil, petroquímico, energia e agricultura, respectivamente, considerando tais casos no cenário circular.

6.1.6 PRODUTOS DE HIGIENE E LIMPEZA

Neste item serão apresentados os casos relacionados às empresas Splosh, Ecolab e Safechem Umwelt Service GmbH, que pertencem ao setor de Produtos de Higiene e Limpeza.

- <u>Splosh</u>

A Splosh é uma empresa de pequeno porte especializada na produção de produtos de limpeza concentrados para uso doméstico. O seu diferencial está na comercialização de um kit

inicial de embalagens diferentes e seus respectivos refis, em que o cliente pode diluir o conteúdo e reutilizá-las (Figura 34). O sistema de compra é on-line por meio de site e aplicativo para celular.

Figura 34. Ilustração de um dos kits de refis comercializados pela Splosh.
Fonte: splosh.com

Além da concentração do princípio ativo, que reduz desperdícios, o plástico constituinte da garrafa foi projetado para ser durável, utilizando o álcool polivinílico (PVOH) e o conteúdo líquido construído para retornar ao ciclo biológico de forma sustentável. Uma vez que somente o refil passa a ser comprado pelo cliente, a reutilização de uma garrafa por 20 vezes, já reduz em 95% a quantidade de resíduo de plástico desperdiçado, conforme reportado pela Fundação Ellen MacArthur.

- <u>Ecolab</u>

A Ecolab é líder mundial no uso de tecnologias limpas e a minimização de desperdício no tratamento de água, higiene e energia[39]. Nesse sentido, o primeiro caso dessa empresa trata de um detergente para pisos com enzimas específicas, não necessitando de enxágue e, por isso, economiza água, tempo e mão-de-obra (Figura 35). Segundo dados da companhia, os custos com esta última chegam a 49% de um serviço de limpeza comercial (FREITAS, 2016).

O segundo caso trata do detergente *Pot & Pan*, em que a concentração do princípio ativo levou à substituição da embalagem de galão por refil em *bag* (Figura 35), que segundo a companhia, reduziu em 70% o descarte de plástico[39]. No terceiro, tem-se o produto químico e o respectivo *dispenser Antimicrobial Fruit and Vegetable Treatment* (AFVT) desenvolvidos para sanitização de frutas e vegetais, cujo *design* permite o uso da concentração necessária

[39]Fonte: pt-br.ecolab.com

que garante sua eficiência[39]. Nesse sentido, chega a economizar, em média, 100 mil L de água para 200 Kg de vegetais em 360 horas de trabalho no processo[39].

Figura 35. À esquerda, detergente com enzima que descarta o enxágue. À direita, detergente superconcentrado em bag.
Fonte: Adaptado de Freitas (2016).

O último caso trata do modelo de negócio *chemical leasing*, já citado anteriormente. Em parceria com uma empresa da área de alimentos na Sérvia, a Ecolab realizou o serviço de lubrificação de máquinas usadas na produção, substituindo o uso de compostos perigosos, reduzindo o consumo de produtos químicos em 7,4 t e economizando de 6,5 milhões de L de água por ano, sendo a unidade de pagamento em função do número de horas trabalhadas. Em 2012, ganhou o prêmio *Global Chemical Leasing Award* por estes resultados (MOSER; JAKL, 2015).

- <u>Safechem Umwelt Service GmbH</u>

A Safechem, subsidiária da Dow Chemical, é uma empresa dinamarquesa voltada para o fornecimento de soluções relacionadas ao uso sustentável de solventes para limpeza a seco e limpeza de metais de alta qualidade[40].

Este caso também trata do serviço de c*hemical leasing*, em que por meio da parceria com a PERO AG formou a *joint venture* PERO Innovative Services GmbH (fornecedora de equipamentos de alto desempenho para limpeza em diversos campos da indústria). Desse modo, realizou o serviço de limpeza de peças metálicas produzidas pela empresa austríaca Automobiltechnik Blau. Por consequência, de 2005 a 2007, reduziu o consumo de solvente em 71%, o uso de peças em excesso em 66% e de energia pela metade e negociou o preço por número de partes limpas (MOSER; JAKL, 2015). A Figura 36 ilustra o esquema deste tipo de serviço realizado pela companhia.

[40] Fonte: www.safechem.de/

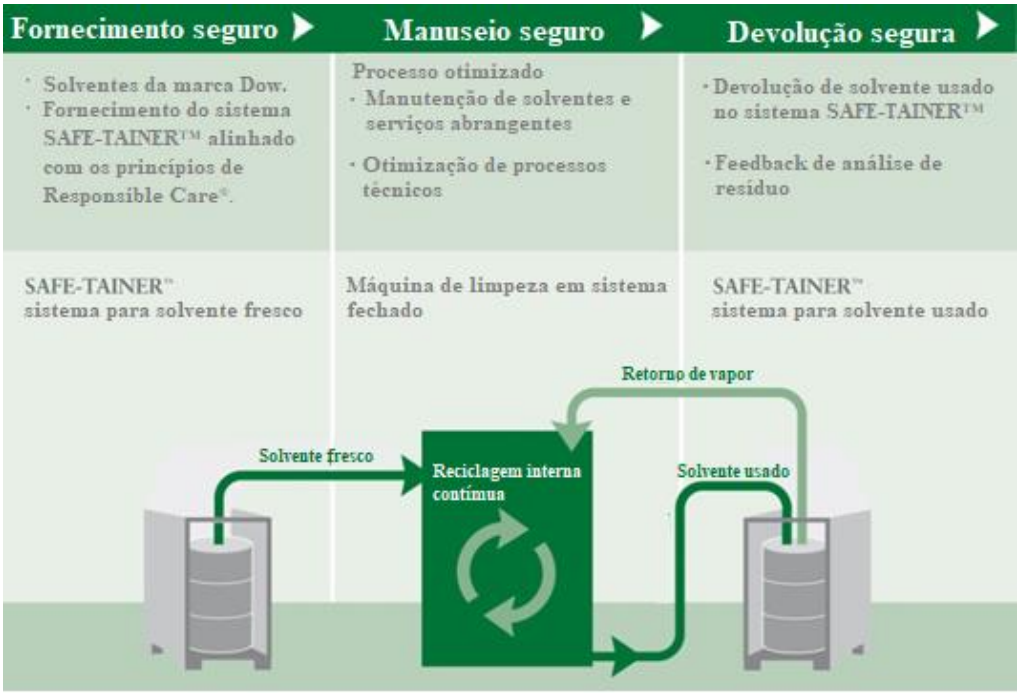

Figura 36. Esquema representativo de Chemical Leasing praticado pela Safechem.
Fonte: Safechem[41].

6.1.6.1 Análise Pontual do Setor de Higiene e Limpeza

O Quadro 14 apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Higiene e Limpeza. Pode-se perceber que os casos aqui descritos se encontram focados no ciclo técnico da economia circular, visto que a maioria obtida trata de compostos químicos sintéticos, como o detergente, o lubrificante e o solvente.

No caso apresentado pela Splosh, um novo modo de comercialização baseado no desempenho do produto é influenciado pelo *design* com o kit e os refis. Vale observar que a companhia não menciona se possui um sistema de coleta dessas embalagens (garrafa e refil) para a reciclagem.

A Ecolab se destaca pelos casos apresentados se enquadrarem tanto no ciclo biológico quanto no técnico da economia circular com o uso da enzima e na redução de componentes químicos, respectivamente. É interessante notar que neste caso o próprio setor químico pode ser impactado com o desenvolvimento desses novos produtos concentrados mais eficientes.

[41] Fonte: safechem.md-consulting.de/safechem/eu/en/solutions/surfacecleaning/products/complease.html

Quadro 14 - Casos de empresas pertencentes ao setor de Higiene e Limpeza.

	Splosh	**Ecolab**				**Safechem Umwelt Service GmbH**
País-sede	Inglaterra e País de Gales	EUA				Alemanha
País do caso	Inglaterra e País de Gales	ND			Sérvia	Áustria
Ciclo	T	B	T	T	T	T
Building block	Ciclo reverso Novos modelos de negócios	*Design* Novos modelos de negócios	Novos modelos de negócios	*Design* Novos modelos de negócios	Novos modelos de negócios	Novos modelos de negócios
Driver	Produto como serviço	*Biobased industry Chemical leasing*	*Chemical leasing*	N/A	*Chemical leasing*	*Chemical leasing*
Processo Químico	Concentração do princípio ativo	Concentração do princípio ativo	Concentração do princípio ativo	ND	ND	ND
Insumo/Matéria-prima	ND*	Enzima	ND	ND	Lubrificante	Solvente
Produto Químico	Detergente biológico concentrado	Detergente à base de enzima	Detergente superconcentrado	Sanitizador sem cloro	N/A	ND
Outro Produto Final	N/A*	N/A	Refil	*Dispenser*	N/A	N/A
Setor à montante	N/A	N/A	N/A	N/A	Abastecimento de água	Energia
Setor à jusante	Transformados plásticos	Serviços Transformados plásticos	Serviços Transformados plásticos	Serviços	N/A	Automotivo

Fonte: Elaboração própria.
*N/A: Não se aplica. ND: Não disponível. B: Biológico. T: Tecnológico.

Assim, vale destacar a convergência do modelo de negócio c*hemical leasing* ou produto como serviço, que tende a modificar o modo de comercializar dos produtos químicos influenciando o setor de serviços com a ampliação deste modelo. O uso destes compostos químicos e inovações incrementais com a concentração do princípio ativo de detergentes e uso de enzimas para fins de economia em gastos com água, energia e insumos pode impactar o setor de abastecimento de água a montante da indústria química. Por fim, a redução de embalagens ocasionada pela concentração do princípio ativo pode afetar o setor de transformados plásticos a jusante da cadeia produtiva.

6.1.7 AUTOMOTIVO

A Renault Group é uma das multinacionais líderes na fabricação e montagem de automóveis. Em 2016, vendeu mais de 3 milhões de veículos dentre os 125 países componentes de seu mercado. No contexto da economia circular, a companhia tem focado na

remanufatura de peças de motor, baterias elétricas e a reciclagem de matérias-primas de curto ciclo no setor[42].

Conforme publicado no estudo de caso da Fundação Ellen MacArthur[42], A Renault, em parceria com as empresas Indra, Synova and Duesmann, criou uma plataforma experimental para a reciclagem de veículos em fim de vida ou *End-of-life Vehicles* (ELV), denominada CAR REcycling 95% (ICARRE 95), apoiada pelo EU LIFE *Program*. Tal denominação é devido à exigência europeia de reutilização de 95% dos ELV's (85% por reuso e reciclagem e 10% por geração de energia). Neste estão incluídas matérias-primas como aço, cobre, têxteis e plásticos, mantendo-os o máximo possível na indústria automobilística local.

Atualmente, 36% da massa total de um veículo Renault produzido na Europa é feito de materiais reciclados e 85% de um ELV é reciclável. No modelo Renault Espace, por exemplo, 20% dos plásticos presentes são de materiais reciclados, e, ainda assim, a eficiência da logística reversa destes materiais se apresenta desafiante para garantir a sua competitividade frente aos materiais virgens.

Pode-se observar que as ações circulares da Renault têm contemplado os quatro *building blocks* da economia circular, com expectativas de expansão da reciclagem de ELV's para o Brasil e Índia. Isto porque os dois mercados juntos possuem uma produção de veículos de mais de 750.000 unidades, porém exige um fornecimento de mais de 200 mil toneladas de plástico reciclado para equiparar ao uso de 20% de plástico reciclado na Europa.

- *Design*: Os veículos são projetados confirme materiais e montagem que permitam a remanufatura e reciclagem futura.
- Novos modelos de negócio: Esquema de desconto, bônus ou depósito B2B para componentes remanufaturados se o retorno for garantido.
- Ciclo reverso: Coleta de materiais para reciclagem interna e externamente à companhia.
- Agentes Facilitadores ao Sistema: Avanços na tecnologia de classificação de material, abordagem colaborativa em toda a indústria do setor e desenvolvimento de habilidades em reciclagem de ciclo curto, patrocinando temas de pesquisa, força de trabalho e promovendo o tema na educação.

[42] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies

Interessante pontuar a forte colaboração entre os *stakeholders* da companhia, que tem facilitado o sucesso da implementação do modelo circular. A colaboração com a Indra (empresa de reciclagem de automóveis), a Filature du Parc (fabricante de roupas) e a Adient (empresa de assentos de automóveis) permitiu a criação de um material que pode ser usado no estofamento de assentos de carro utilizando fibras recuperadas dos cintos de segurança. Para a reciclagem dos metais fez parceria com as empresas Duesmann & Hensel Recycling. A Figura 37 mostra o esquema colaborativo entre estas parcerias mencionadas.

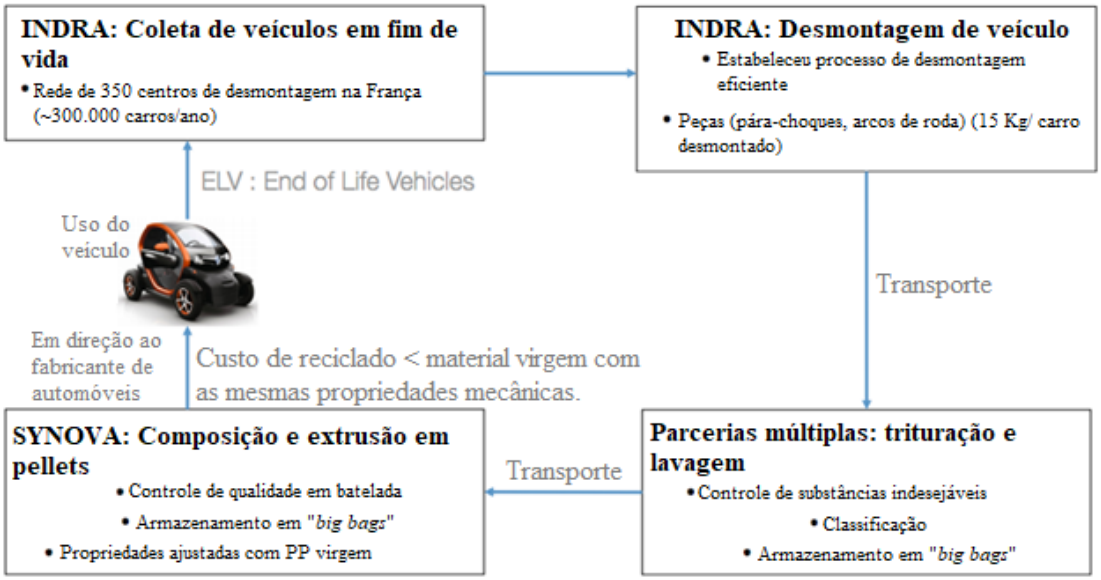

Figura 37. Esquema de colaboração entre as parcerias para o projeto ICARRE 95.
Fonte: Adaptado de Fundação Ellen MacArthur[43] (2017).

6.1.7.1 Análise Pontual do Setor Automotivo

O Quadro 15 apresenta a proposta de categorização do caso da Renault Group, multinacional pertencente ao setor automotivo. Esse setor se enquadra no ciclo técnico da economia circular, por envolver materiais de fontes finitas como o plástico, borracha, metais e têxteis. Apesar deste setor ser representado somente pela Renault Group, vale ressaltar a sua atuação de modo sistêmico ao incluir todos os *building blocks* nos seus projetos, indo de encontro aos preceitos da economia circular de gerar e manter o valor da cadeia desde a concepção do produto.

[43] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org

Quadro 15 - Caso da Renault Group, pertencente ao setor automotivo.

	Renault Group
País-sede	França
País do caso	França
Ciclo	T
"*Building block*"	*Design* Novos modelos de negócios Ciclo reverso Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis
Driver	Logística reversa
Processo Químico	ND*
Insumo/Matéria-prima	Polipropileno (ou outros plásticos) Espumas e tecidos Metais (cobre, ferro fundido, alumínio e metais preciosos - platina, ródio e paládio)
Produto Químico	N/A*
Outro Produto Final	Peças recicladas
Setor a montante	Metalúrgico Petroquímica
Setor a jusante	Têxtil Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*N/A: Não se aplica. *ND: Não disponível. T: Tecnológico.

A logística reversa dos materiais sintéticos utilizados no automóvel, cujos efeitos ambientais são alarmantes, é de suma importância para este setor que tem apresentado uma taxa de geração de sucata em 7% ao ano e 84 milhões de veículos em fim de vida no mundo (LI *et al.*, 2016). Este mesmo estudo reporta que a reciclagem de metais de ELV's pode diminuir a quantidade de recursos consumidos construindo carros novos, pode-se economizar 68-83% da energia necessária para fabricar um novo motor para cada motor remanufaturado e diminuir as emissões de dióxido de carbono em 73-87%.

Apesar do ciclo de reciclagem praticada pela Renault ser fechada no setor automotivo, a remanufatura e reciclagem destes materiais projetada para outras empresas deste setor, pode impactar neste caso os setores metalúrgico e petroquímico com o retorno de seus componentes na cadeia de valor e os setores têxtil e de transformados plásticos com oferta das resinas recicladas para o produto final.

6.1.8 TÊXTIL

Neste item serão apresentados os casos referentes às empresas Aquafil Group, Desso Group, Niaga, Mohawk, H&M e Interface, cujas atividades pertencem ao setor têxtil.

- Aquafil Group

A Aquafil Group é um dos principais *players* na produção de fios de Poliamida 6 para carpetes e vestuários. Nesse sentido, desenvolveu um sistema despolimerização de resíduo de poliamida 6 em fios de nailon novamente, sua purificação e repolimerização sem perda de qualidade, formando o produto Econyl® Caprolactama. São utilizados tanto os resíduos pré-consumo a partir de resíduo de plástico industrial, descarte de fios e retalhos (recolhidos em parceria com a companhia Speedo), quanto os pós-consumo a partir de redes de pesca, tecidos rígidos, roupas no final do seu ciclo de vida ou outros componentes de plástico.

Para a construção da planta de despolimerização, que fica na Eslovênia, foram gastos € 25 milhões por 4 anos. O desafio para a companhia foi encontrar matéria-prima confiável e, para isso, tem utilizado três programas para facilitar a logística reversa destes materiais.

O *Econyl Reclaiming Program* permite que os clientes devolvam seus produtos de fim de uso, sendo aplicado nos EUA, Egito, Grécia, Paquistão, Tailândia e Noruega e Turquia. O *The Healthy Seas* é uma iniciativa com mergulhadores voluntários para a recuperação de redes de pesca abandonadas ou perdidas no fundo dos mares na Bélgica, Holanda, Itália, Grécia e Croácia para obter ao final fios novos para tecido (Figura 38).

Figura 38. Esquema ilustrativo das etapas de coleta de redes de pesca, reciclagem e fios novos para tecido ao final.
Fonte: Elaboração própria a partir de Fundação Ellen MacArthur (2018) e Econyl[44] (2018).

[44] Fonte: www.ellenmacarthurfoundation.org e www.econyl.com

- Desso Group

A empresa italiana Desso Group apresenta como *core business* o desenvolvimento e a comercialização de carpetes e gramado artificial, utilizando o conceito *Cradle to Cradle®*, isto é, tais produtos são projetados para serem moduláveis e se manterem no ciclo após o uso. Apesar de ser pequena, tem como clientes grandes companhias como, por exemplo, AkzoNobel, KPMG, PWC, Deloitte, Allianz, entre outras[45].

Além da sua expertise já fazer parte do contexto da economia circular, o caso apresentado pela Fundação Ellen MacArthur trata de carpetes recicláveis feitos a partir de coprodutos de milho e fios de bambu e o uso de hidrelétrica como fonte única de energia. Além disso, a companhia está implementando a logística reversa na cadeia de seus produtos e a servitização destes como novos modelos de negócio, no qual o uso e o desempenho são comercializados em vez do produto em si.

- Niaga e Mohawk

A Niaga ("*Again"* quando lido de trás para frente), subsidiária da DSM, é especializada no *redesign* de produtos, em especial o carpete que, segundo a companhia, está entre os cinco principais contribuintes para o aterro ou incineração em países europeus e norte-americanos e mais de 95% de todos os tapetes são queimados ou aterrados após o uso no mundo (NIAGA, 2016). A Mokawk é uma empresa de produtos de revestimentos, sendo líder mundial em pisos, e que também investe no *design* voltado para a manutenção do ciclo de vida, utilizando matérias-primas recicladas e renováveis (MOHAWK FLOORING COMPANY, 2018).

As companhias se uniram para fazer um carpete totalmente reciclável, denominado Air.O, utilizando a tecnologia Niaga®*Carpet Manufacturing Technology*, cujos materiais podem ser recuperados após o uso e transformados em novos carpetes ou outros materiais. Os carpetes comuns possuem uma variedade complexa de produtos químicos, incluindo látex e PVC, dificultando a recuperação dos materiais no final do uso. Nesta tecnologia, o carpete pode ser feito de somente poliéster puro ou a combinação deste com poliamida (PA6 e PA66), poli(tereftalato de trimetileno) (PTT), polipropileno (PP) ou lã, utilizando um adesivo reversível, Niaga® Adhesive, entre as camadas, facilitando a reciclagem (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017c).

[45] Fonte: www.desso.co.uk/

Os benefícios são a redução do consumo de água e energia na produção, do tempo de instalação em 25% (em comparação com o tapete tradicional) e das emissões COV's.

- H&M

O Grupo H&M, um dos parceiros globais da Ellen MacArthur Foundation, é líder mundial em moda contendo oito marcas independentes como, por exemplo, H&M, COS, Monki e ARKET (H&M, 2018).

No contexto da economia circular, tem como objetivo a substituição gradual do algodão e fibras de origem fóssil por fontes recicladas como o poliéster, lã, denimite (jeans e algodão recuperados e selados com resina), vidro e outros plásticos até 2030. Além disso, tem procurado fontes de fibras naturais como, por exemplo, o Lyocell, fibra artificial produzida a partir de celulose. Além desta, linho, cânhamo, seda orgânica e borracha natural também são utilizados e regularizados pela *Forest Stewardship Council*™ (FSC), uma organização sem fins lucrativos, que protege e apóia milhões de hectares de floresta ao redor do mundo (H&M, 2016a).

Além disso, lançou em 2013 um programa de logística reversa no qual instalou pontos de coleta voluntária de roupas usadas independente da marca ou condição nas suas lojas em todo o mundo, sendo coletadas e classificadas pelo seu parceiro I: CO (companhia de coleta e reciclagem de roupas e calçados em mais de 60 países). Desde então, já recolheu 55 mil toneladas de roupas, em que aquelas classificadas para reuso são doadas para a Fundação H&M e são divididas entre projetos sociais e projetos de reciclagem (H&M, 2016b).

Em dezembro de 2017, o grupo H&M foi selecionado como finalista do primeiro prêmio de economia circular, *The Circulars*, na categoria *The Accenture Strategy Award for Circular Economy Multinational*. Este prêmio foi organizado pelo Fórum Econômico Mundial e Fórum de Jovens Líderes Globais, em que tem como objetivo oferecer reconhecimento a indivíduos e organizações em todo o mundo que estão possuem iniciativas circulares (H&M, 2017).

- Interface

A Interface®, empresa norte-americana *joint venture* entre a companhia britânica Carpets International Plc. (CI) e um grupo americano de investidores, é especializada na

produção de carpetes moduláveis e sustentáveis para empresas e para residências (INTERFACE, 2016).

Iniciou em 2013 em colaboração com a Zoological Society of London (ZSL) e a Aquafil, um empreendimento nas Filipinas denominado Net-Works, no qual as redes de pesca que seriam descartadas pelos pescadores são recicladas e as fibras de náilon resultantes são utilizadas na fabricação de novos carpetes modulares (LUZ *et al.*, 2017). Além disso, o adesivo entre as fibras do carpete e betume é feito de amido acetilado que, por ação de uma solução alcalina, pode ser separado e as fibras do carpete podem ser recicladas (Figura 39) (CLARK et al., 2016). A ZSL é organização britânica de cunho científico e educacional para a conservação de animais e seus habitats, havendo a inclusão social de pescadores, redução do uso de materiais virgens e preservação da vida marinha.

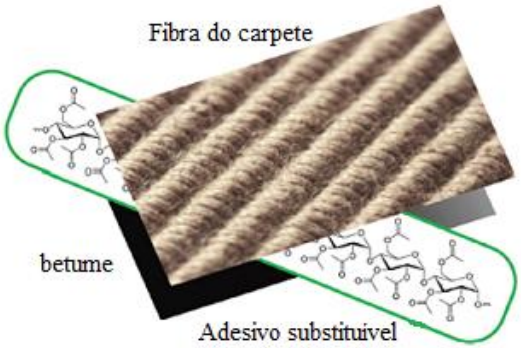

Figura 39. Esquema representativo das camadas intercambiáveis do carpete da Interface.
Fonte: Adaptado de Clark et. al. (2016).

Este projeto sustenta o programa Missão Zero que tem objetivo eliminar qualquer impacto negativo causado pela companhia até 2020. Para isso, a empresa realiza a logística reversa por meio da coleta e recuperação de carpetes usados e da parceria com fornecedores de fios de náilon, reduzindo o uso deste material virgem e aumentando o conteúdo de reciclado (LUZ *et al.*, 2017).

6.1.8.1 Análise Pontual do Setor Têxtil

A partir de uma análise qualitativa do Quadro 16, apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor Têxtil, pode-se perceber uma convergência das ações circulares no ciclo técnico e no ciclo reverso da economia circular com a reciclagem de fibras sintéticas das redes de pesca e uso de resinas recicladas nesse setor, como o poliéster e a poliamida. Vale destacar também as ações no ciclo biológico pela Desso Group, H&M e

Interface ao utilizar fontes renováveis, como coprodutos de milho, celulose e amido acetilado, cujos produtos podem ser reutilizados ou reciclados, mantendo o ciclo reverso.

Quadro 16 - Casos da empresas pertencentes ao setor têxtil.

	Aquafil Group	**Desso Group**	**Niaga e Mohawk**	**H&M**	**Interface**
País-sede	Itália	Reino Unido	Estados Unidos		Estados Unidos
País do caso	Itália	Reino Unido	Estados Unidos		Filipinas
Ciclo	T	B T	T	B T	B T
"*Building block*"	*Design* Ciclo Reverso	*Design* Novos modelos de negócios Ciclo Reverso	*Design* Ciclo reverso	Ciclo Reverso Novos modelos de negócio Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis	*Design* Novos modelos de negócio Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis
Driver	*Design*	Produto como serviço Logística reversa	Reciclagem	*Biobased industry* Logística reversa	*Biobased industry* *Design* Economia colaborativa Logística reversa
Processo Químico	Despolimerização (Reciclagem Química)	ND*	ND	N/A	Acetilação de amido
Insumo/Matéria-prima	Resíduo de poliamida 6	Coprodutos de milho e fios de bambu	Poliéster Poliamida, polipropileno ou lã	Fibras recicladas Fibras naturais	Amido acetilado Fibras de rede de pesca
Produto Químico	Poliamida 6 Nailon	N/A*	N/A	N/A	Fibras de nailon recicladas
Outro Produto Final	Carpete Vestuário	Carpete Gramado artificial	Carpete	N/A	Carpete modulável
Setor à montante	Petroquímico	Petroquímico	Petroquímica	Agricultura	Petroquímico
Setor à jusante	Têxtil Transformados plásticos	Têxtil Serviços	Têxtil	Têxtil Transformados plásticos	Têxtil Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico.

É importante ressaltar que os casos apresentados neste setor abrangeram todos os *building blocks* da economia circular. O *design* foi representado pelos carpetes modulares do grupo Aquafil e da Interface, cujas camadas já são projetadas para serem reparadas isoladamente, facilitando a reciclagem e reduzindo o dispêndio de matérias-primas virgens. No caso da Aquafil, já foram evitados a extração de 70 mil barris de petróleo, a emissão de 57 mil toneladas de CO_2 eq. e 1,012 milhão de GJ na demanda de energia primária para cada 10.000 toneladas de Econyl® produzidos, podendo-se inferir que os setores petroquímicos e de transformados plásticos podem ser impactados pela entrada da resina reciclada de poliamida 6 em larga escala no cenário circular.

O produto como serviço, a logística reversa e a economia colaborativa foram os modelos de negócio utilizados pela Desso Group e a Interface para o fechamento da cadeia produtiva. Os projetos sociais colaborativos realizados pela H&M e a Interface, que se enquadram em Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis, mostram a importância da ação conjunta entre as esferas do poder a fim de integrar o tripé da sustentabilidade.

Nesse sentido, o retorno das fibras e resinas recicladas pode impactar o setor petroquímico, a montante. Os setores, têxtil e de transformados plásticos a jusante, podem ser impactados pela entrada destes produtos alternativos na cadeia produtiva. Por fim, os novos modelos de negócios, que acarretam em vantagens competitivas para a companhia, podem vir a influenciar o setor de serviços com a tendência de servitização dos produtos (SPRING; ARAUJO, 2016).

6.1.9 ELETROELETRÔNICO

Nesse item serão apresentados os casos obtidos pelas empresas Nat.Genius e Sinctronics, cujas atividades pertencem ao setor de Eletroeletrônicos.

- Nat.Genius (EMBRACO)

O Nat.Genius é uma unidade de negócio de inovação da Embraco, multinacional fabricante de compressores herméticos para refrigeração (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b). Sendo considerado uma das referências neste tipo de operação no Brasil pela Fundação Ellen MacArthur, o centro também atua na Europa e na América do Norte (EMBRACO, 2017).

Por meio da logística reversa, o programa realiza a coleta de itens de linha branca (compressores de refrigeração e motores elétricos), linha verde (eletroeletrônicos), linha marrom (televisor e aparelhos de áudio) e linha azul (secador de cabelo, batedeira, liquidificador) para desmontagem, remanufatura e reciclagem (EMBRACO, 2017). Trabalhando com fabricantes e coletores de sucata no mercado informal, realiza a gestão de sucata industrial, isto é, mapeia os resíduos gerados no processo produtivo da empresa, como plásticos de engenharia, chapas de aço, ligas ferrosas, e ligas especiais (materiais não

ferrosos), reforma e recondiciona em novos materiais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

Com capacidade de operação em 2 milhões de toneladas por ano, entre 2015 e 2016, o Nat.Genius reciclou 5.656 toneladas de aço (equivalente à fabricação de 4.200 automóveis), 144 toneladas de alumínio (equivalente à fabricação de 10,5 milhões de latas), 1.104 toneladas de plástico (equivalente à 70 milhões de canetas) e 615 toneladas de cobre, o suficiente para dar uma volta completa na Terra, dentre outros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; EMBRACO, 2017).

- Sinctronics

O Sinctronics™ é o primeiro centro de TI verde no Brasil e uma unidade de negócio independente da Flextronics (fabricante global de produtos eletrônicos), localizado em São Paulo e administrado pela empresa em 2012 (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

O empreendimento realiza a coleta de resíduos eletroeletrônicos de empresas e consumidor final e transforma em novos materiais, atuando de modo sistêmico com a logística reversa ao operar instalações de reciclagem, investir em pesquisa e desenvolvimento e na cadeia de fornecimento inversa. Os resíduos que podem ser celulares, cartuchos, impressoras, após serem coletados dos 400 pontos distribuídos em todos os estados brasileiros, são desmontados, descaracterizados e separados no centro de inovação de acordo com suas propriedades (tipo de plástico, cor, metal, fios) (SINCTRONICS, 2017). O plástico é triturado, derretido e granulado para a injeção e origem de novas peças, como por exemplo, um filamento plástico para impressão 3D desenvolvido com resina de reciclada em 2017. Os outros materiais são encaminhados para centros de reciclagem parceiros (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; SINCTRONICS™, 2016, 2017).

Além disso, em parceria com a HP, criou uma resina contendo 94% de plástico branco reciclado e até 6% de pigmentos e aditivos para atingir a pureza de 96% exigida pela HP, mantendo a capacidade de ser colorido de acordo com o cliente. O nível médio de material reciclado nos produtos da HP Brasil situa-se atualmente em 8%, e o objetivo para 2017 é aumentar isso para 20% como parte da estratégia de economia circular da empresa (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016b).

Além da HP, o Sinctronics™ atende às necessidades de ciclo reverso e remanufatura de diversas outras empresas do setor eletrônico no Brasil, como por exemplo, Toshiba, Gerdau,

Cielo, Receita Federal e Lenovo. Em 2016, 206 mil cartuchos foram reciclados contra 17 mil em 2015 (SINCTRONICS, 2017). Com isso, 97% do material recuperado volta à cadeia de suprimentos, reduzindo os custos dos clientes em até 30% e acelerando o tempo de coleta em 50% (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016b).

6.1.9.1 Análise Pontual do Setor de Eletroeletrônicos

Devido ao próprio setor de eletroeletrônicos utilizar materiais sintéticos, é natural, a priori, que o ciclo das ações circulares esteja no técnico como mostrado pelo Quadro 17, que apresenta a proposta de categorização dos casos descritos para esse setor. Vale destacar a presença brasileira em ambos os casos na reciclagem e logística reversa dos resíduos do setor, que consequentemente remetem aos building blocks ciclo reverso e novos modelos de negócio para o fechamento da cadeia.

Quadro 17 - Casos pertencentes ao setor de Eletroeletrônicos.

	Nat.Genius (EMBRACO)	**Sinctronics**
País-sede	Brasil	Brasil
País do caso	Brasil	Brasil
Ciclo	T	T
"*Building block*"	Ciclo reverso Novos modelos de negócios	Ciclo Reverso Novos modelos de negócios Fatores viabilizadores e condições sistêmicas favoráveis
Driver	Logística reversa	Logística reversa
Processo Químico	ND*	ND
Insumo/Matéria-prima	Itens de linha branca Eletroeletrônicos	Resíduos eletrônicos
Produto Químico	Plástico de engenharia Metais Aço	Metais Plásticos Resinas recicladas (94% de plástico branco)
Outro Produto Final	Estatores e rotores reciclados	ND
Setor à montante	Metalúrgico Petroquímica	Metalúrgico Petroquímico
Setor à jusante	Eletroeletrônico Transformados plásticos	Eletroeletrônicos Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. T: Tecnológico.

Além disso, a parceria da HP com a Sinctronics, por exemplo, e de outros *players* como clientes é de suma importância para a transição para a economia circular, uma vez que são responsáveis por grandes volumes despejados no meio ambiente, além de servirem de

base para o incremento de agentes transformadores. Os produtos eletroeletrônicos correspondem a uma das principais classes de produtos exigidos pela PNRS (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) que devem ser de responsabilidade do produtor. A implementação da logística reversa e as parcerias constituem de fortes instrumentos para o cumprimento da legislação.

Assim, resinas recicladas presentes nos resíduos eletroeletrônicos, o plástico desenvolvido pela Sinctronics e os metais (que compõem em grande proporção) podem impactar o setor petroquímico e metalúrgico a montante devido à redução no uso das matérias-primas virgens que seriam utilizadas para a síntese de novos produtos, como por exemplo, o filamento plástico para impressão 3D desenvolvido com resina de reciclada. Por conseguinte, o setor de transformados plásticos e o próprio setor em análise, a jusante, podem ser impactados pela entrada destes materiais na cadeia produtiva.

6.1.10 HIGIENE PESSOAL, PERFUMARIA E COSMÉTICOS

A Natura é uma multinacional brasileira, reconhecida internacionalmente no mercado de cosméticos. Em 2014, recebeu o certificado B Corp, conferido pela organização de movimento global B Lab para as empresas que direcionam seus negócios para a união do tripé da sustentabilidade: economia, meio ambiente e social (NATURA, 2016).

Partindo do princípio de gerar valor ao longo de toda a cadeia, o principal modelo de negócio inclusivo e regenerativo da companhia é o Programa Amazônia, o qual utiliza ativos da biodiversidade em seus produtos (produtos de origem vegetal), ao mesmo tempo em que busca empoderar as comunidades locais. Iniciado em 2011, o programa utiliza o conceito "Floresta em Pé", em que utiliza um ativo da floresta em extinção para desenvolver cadeias produtivas sustentáveis nas comunidades, gerando emprego e mantendo a vegetação local de modo a continuar gerando mais produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; NATURA, 2016).

A linha de produtos Ekos Ucuuba, por exemplo, é feita a partir de frutos da árvore de Ucuuba, que está ameaçada de extinção devido ao corte extensivo pela indústria madeireira. Com o programa, apenas os frutos passaram a ser utilizados em vez do corte total da árvore, triplicando o lucro para as comunidades em relação ao gerado pelo corte da madeira, beneficiando 15 comunidades compreendendo, isto é, cerca de 600 famílias (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

Com isso, a Natura já obteve mais de 80% das fórmulas de origem renovável, cerca de 2 mil famílias da região amazônica e a conservação de 256 mil hectares de floresta em pé, evitando a degradação da terra e a extinção de espécies (NATURA, 2016).

A empresa pretende adquirir 30% de todas as suas matérias-primas com este programa e gerar R$ 1 bilhão em faturamento na região até 2020 (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

Vale ressaltar outras ações em sustentabilidade da companhia, por exemplo, nas suas embalagens, contendo 50% de materiais reciclados, como o PET e vidro, ou material renovável não celulósico. O álcool contido nos perfumes é orgânico e fornecido pela Native (Grupo Balbo), cuja cana é obtida sem queimadas e seu modo de cultivo busca regenerar a Mata Atlântica (NATURA, 2016), como mencionado no estudo de caso no item 3.1 (setor de Alimentos e Bebidas). Em 2016, concluiu um programa piloto de logística reversa na Região Metropolitana de São Paulo para a coleta de resíduos pós-consumo em parceria com cooperativas de catadores, consultoras Natura e a indústria de reciclagem. A meta da companhia é alcançar 50% de logística reversa nos seus produtos até 2020 (NATURA, 2016).

Outra estratégia adotada pela companhia é o modelo de inovação aberta e colaborativa, em que realiza projetos em parceria com *startups*, instituições de pesquisa, organizações privadas, universidades, laboratórios, entre outros. Em 2016, o programa Inova Talentos do Instituto Euvaldo Lodi, ligado à Confederação Nacional da Indústria (IEL/CNI), 33 bolsistas, orientados por tutores da Natura, ajudaram a reduzir o tempo previsto de entrega de 16 projetos prioritários e o início de 7 novas iniciativas. O trabalho gerou quatro dos sete prêmios do reconhecimento estadual do programa (NATURA, 2016).

6.1.10.1 Análise Pontual do Setor de Cosméticos

O Quadro 18 apresenta a proposta de categorização a partir do estudo de caso da Natura, que tem atuado tanto em modelos de negócio que valorizem ativos da biodiversidade quanto no retorno de materiais reciclados para a cadeia produtiva e, por isso, pode-se classificá-la em ambos os ciclos da economia circular. Partindo do exemplo da linha de produtos Ekos Ucuuba, os setores de extração vegetal e madeireiro, a montante da indústria química, podem ser impactados pela introdução de técnicas produtivas para a manutenção da floresta em pé e pelo combate à devastação ambiental e social recorrente na região.

Quadro 18 - Caso da Natura, pertencente ao setor de Cosméticos.

	Natura
País-sede	Brasil
País do caso	Brasil
Ciclo	B T
Building block	Ciclo Reverso Novos modelos de negócio
Driver	*Biobased industry* Logística Reversa Economia Colaborativa
Processo Químico	N/A
Insumo/Matéria-prima	Matérias-primas de origem vegetal Materiais reciclados
Produto Químico	Cosméticos variados
Outro Produto Final	Embalagens recicladas
Setor à montante	Extração vegetal e mineral Petroquímico
Setor à jusante	Madeireiro Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico.

Segundo o estudo setorial do BNDES (2015), o Brasil é líder mundial em produtividade florestal, que representa cerca de 1,2% do PIB e gera em torno de 4,4 milhões de postos de trabalho (diretos, indiretos e efeito-renda). Apesar disso, o desmatamento na Amazônia voltou a aumentar, majoritariamente, nos estados do Amazonas (54%), Pará (41%) e Rondônia (35%), sendo 2016 o segundo ano consecutivo de crescimento da taxa (BNDES, 2017).

Por conseguinte, tais ações podem impactar a jusante o segmento de cosméticos, isto é, a própria indústria química com o uso de matérias-primas de origem vegetal em maior escala. Considerando que o Brasil é o terceiro maior consumidor de cosméticos (Euromonitor International, 2012 *apud* BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014), ações nesta direção podem potencializar o uso desse tipo de insumo e, consequentemente, alavancar economias locais como praticado pela Natura. Já a introdução de materiais reciclados como o PET e vidro nas embalagens podem impactar os setores petroquímico e de extração mineral, respectivamente, pelo retorno destes na cadeia produtiva.

6.1.11 TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO

Neste item serão apresentados os casos relacionados à Estação de Tratamento de Águas Residuais de Back River, Nalco Water e Action Tratamento de Resíduo, cujas atividades envolvem o tratamento de água residual e esgoto.

- Back River Wastewater Treatment Plant

A Estação de Tratamento de Águas Residuais de Back River ou *Back River Wastewater Treatment Plant* (BRWWTP), é operada pela prefeitura da cidade Baltimore (EUA). A planta de tratamento terciário tem capacidade para tratar até 400 milhões de galões por dia de águas residuais. Após o tratamento, cerca de 40% do efluente final é desviado para a Severstal Corporation para fins industriais (BALTIMORE CITY, 2017).

Conforme reportado por Pan *et al.*, (2014), este caso trata *waste-to-energy*, onde os bio-sólidos obtidos na estação são convertidos em biogás (por exemplo, metano) em instalações de cogeração para gerar energia (capacidade de 3150 KW) e calor (5500 lbs/h vapor), melhorando assim a autossuficiência energética da planta, que pode ser superior a 55%. A instalação desse sistema CHP e outras melhorias nesta estação de tratamento reduziram as emissões de CO_2 em 12,9 milhões de libras e de NOx em 7,7 milhões gramas.

- Nalco Water

A multinacional Nalco Water, que faz parte da empresa Ecolab, possui *core business* voltado para o tratamento de água e processos e seu uso otimizado para diversas indústrias como alimentos, automotiva, papel, mineração e de petróleo e gás, utilizando produtos químicos e tecnologias no âmbito da sustentabilidade[46].

Moser *et al.*, (2015) reportaram o fornecimento o serviço de tratamento de água residual pela Nalco na Ecopetrol, uma empresa do setor de Petróleo e Gás na Colômbia, utilizando o modelo de negócio *chemical leasing*. Antes de implementar este modelo, a planta de Castilla gastava 15,14 barris de produtos químicos para o tratamento de 352 kbbls (kilo barril) de óleo e água. Após o modelo, a planta passou a utilizar 14,88 barris de produtos químicos para o tratamento de 434 kbbl de óleo e água, isto é, mais petróleo e água são tratados com menos produtos químicos. A unidade de pagamento era galões/kg de produtos

[46] Fonte: www.pt-br.ecolab.com/nalco-water.

químicos usados em cada campo, passando a ser USD/Kg de barril de óleo com a qualidade especificada (JAKL, 2011).

Entre 2008 e 2009, houve redução de 20% dos custos totais, equivalente a economia financeira de US$ 2,5 milhões para a Ecopetrol e US$ 414 para a Nalco. A redução no consumo de produtos químico foi de 20%, equivalente a 120 toneladas por ano e remoção de 99% de óleo e sólidos suspensos na água residual (DECKER; REINHARD, 2015). Tal prática rendeu o prêmio *Gold* no *Global Chemical Leasing Award* em 2010 (MOSER *et al.*, 2015).

- Action Tratamento de Resíduos

A Action Tratamento de Resíduo é uma Estação de Tratamento de Efluentes do Grupo ActionShop, na qual é uma empresa brasileira de coleta, tratamento e destinação adequada de efluentes industriais e esgotamento sanitário, além de serviços de locação, limpeza e higienização de banheiros químicos. Localizada no Rio de Janeiro, a companhia atende as indústrias do petróleo, naval, siderúrgica, obras de infraestrutura urbana e eventos[47].

Em 2017, a empresa foi vencedora do Prêmio FIRJAN de Ação Ambiental na categoria de Gestão de Águas e Efluentes com o projeto Fruteiras Irrigadas com Água de Reuso. A Estação de Tratamento de Efluentes, inaugurada em 2015 em Cachoeiras de Macacu, permite que a água de reuso seja utilizada na agricultura em substituição à água e fertilizante para agricultores de pomares locais. Dessa forma, são reaproveitados os nutrientes contidos nos efluentes coletados, o consumo de água de mananciais é reduzido, além de fortalecera agricultura local. O sistema por lagoas de aeração, ilustrado na Figura 40, confere eficiência ao tratamento e economia estimada de R$ 118 mil reais/ano com fertilizantes químicos e mais de 9 milhões de litros de água/ano com irrigação (FIRJAN, 2017a).

Figura 40. Esquema ilustrativo do sistema de irrigação de pomares próximos às lagoas de aeração da Action Tratamento de Efluentes.
Fonte: Elaborado a partir de Actionshop[47] (2018).

[47] Fonte: www.actionshop.com.br/

6.1.11.1 Análise Pontual do Setor de Tratamento de Água e Esgoto

O Quadro 19 apresenta a proposta de categorização dos casos descritos para o setor de Tratamento de Água e Esgoto.

Quadro 19 - Casos pertencentes ao setor de Tratamento de Água e Esgoto.

	Back River Wastewater Treatment Plant	**Nalco Water**	**Action Tratamento de Resíduos**
País-sede	EUA	EUA	Brasil
País do caso	EUA	Colômbia	Brasil
Ciclo	B	T	B
"*Building block*"	Ciclo Reverso Novos modelos de negócios	Novos modelos de negócios	Ciclo reverso
Driver	*Biobased industry* *Waste-to-energy* Reuso Tratamento de Efluentes	*Chemical leasing*	Reuso Tratamento de Efluentes
Processo Químico	ND	ND	ND
Insumo/Matéria-prima	Efluente	Água residual	Efluente
Produto Químico	Biogás (metano)	N/A	Fertilizante
Outro Produto Final	Energia	N/A	Água tratada
Setor a montante	Abastecimento de água Energia	Abastecimento de água Energia	Abastecimento de água Petroquímico
Setor a jusante	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico.

O reuso de água e efluentes em estações de tratamento de água e de esgoto constitui um instrumento em consonância com os princípios da economia circular, uma vez que essa água que seria despejada no meio ambiente pode ser gerar valor na conversão de componentes então presentes.

Nesse sentido, os casos aqui apresentados remetem ao ciclo biológico e ciclo reverso, principalmente, com a obtenção de biogás e biofertilizante por processos biotecnológicos a partir de água residual e efluente como no caso da Estação de Tratamento de Back River e da Action Tratamento de Resíduos. Vale ressaltar o uso do modelo de negócio c*hemical leasing* novamente, praticado aqui pela Nalco, que demonstra forte tendência para os próximos anos no setor químico e que poderá contribuir com a economia circular na redução de insumos e na eliminação de compostos tóxicos.

Assim, os setores a montante de abastecimento de água, de energia e o petroquímico podem ser impactados com a implementação em larga escala da obtenção dos bioprodutos anteriormente mencionados a partir de água residual. No caso da Nalco que aplicou o *chemical leasing* no tratamento de água residual em uma empresa do setor petrolífero e, por

isso, utilizando compostos químicos não tóxicos, pode-se inferir que este setor e a própria indústria química podem ser impactados no cenário da economia circular.

6.1.12 EMBALAGENS

A CBPAK® é uma microempresa brasileira, voltada para a pesquisa, desenvolvimento, industrialização e comercialização de embalagens descartáveis, biodegradáveis e compostáveis, utilizando a fécula de mandioca como fonte de matéria-prima renovável[48]. Fundada em 2002, possui capacidade de aproximadamente 2 milhões de peças por mês (SOUZA, 2016).

As embalagens, que podem ser copos, bandejas, tubetes e espuma de amido de mandioca, assumem a propriedade de serem térmicas e rígidas (SOUZA, 2016). Em 2016, com o apoio do Edital de Inovação para a Indústria, os tubetes desenvolvidos estão sendo utilizados como suporte para o crescimento de sementes no plantio de mudas, cujo armazenamento em embalagens de plástico gera grandes volumes de resíduos pós-consumo (FIRJAN, 2017b) (Figura 41).

Figura 41. Tubetes compostáveis feitos de amido de mandioca.
Fonte: FIRJAN (2017b).

Segundo o estudo da Fundação Ellen MacArthur, o filme impermeável que alinha os recipientes é não tóxico e fornecido pela BASF. Para fechar o ciclo, a CBPAK firmou parceria com empresas de compostagem, as quais coletam as embalagens pós-uso dos seus clientes. Além disso, 1 milhão de copos CBPAK compostados regeneram 100 m^3 de solo, o processo é 12 vezes menos intensivo no uso de água em comparação aos copos de papelão e

[48] Fonte: ellenmacarthurfoundation.org/case-studies

62 vezes menos do que em copos de plástico e o copo sequestra 4g de carbono, enquanto que o mesmo de plástico libera 17g de carbono, aproximadamente.

Grandes empresas no Brasil, como a Google e a Statoil, atentas quanto à redução dos seus impactos gerados, são exemplos de seus clientes que mostram forte tendência de mudança de comportamento por parte de grandes organizações.

6.1.12.1 Análise Pontual do Setor de Embalagens

O Quadro 20 apresenta a proposta de categorização do caso descrito da empresa CBPAK®.

Quadro 20 - Caso pertencente ao setor de Embalagens.

	CBPAK
País-sede	Brasil
País do caso	Brasil
Ciclo	B
"*Building block*"	*Design* Ciclo Reverso
Driver	*Biobased industry* Compostagem
Processo Químico	ND*
Insumo/Matéria-prima	Biomassa de mandioca
Produto Químico	ND
Outro Produto Final	Copo térmico biodegradável e compostável
Setor à montante	Petroquímico
Setor à jusante	Transformados plásticos

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. B: Biológico.

A circularidade das embalagens e, principalmente, as descartáveis é um dos grandes desafios da economia circular dado o seu rápido consumo, seus materiais constituintes de baixa taxa de degradação e presença constante nos resíduos sólidos urbanos. Nesse sentido, a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) elaboraram diretrizes para a promoção da embalagem na transição para a economia circular no Brasil. Dentre elas, o projeto da embalagem voltado para a reciclagem, a produção mais limpa, técnicas de revalorização, sistemas retornáveis e a logística reversa, podem estimular o desenvolvimento de novos modelos de negócio e alavancar os mercados de reciclados e de novos materiais (KARASKI *et al.*, 2016).

Assim, considerando o cenário de economia circular, as embalagens obtidas de fontes alternativas podem impactar o setor petroquímico quanto à substituição dos insumos de fonte

finita e o setor de transformados plásticos pela introdução deste tipo de produto no mesmo mercado que as embalagens convencionais.

6.1.13 PAPEL E CELULOSE

Neste item serão apresentados os casos relacionados às empresas Chung Hwa Pulp Corporation e Cheng-Loong Corp, cujas atividades pertencem ao setor de Papel e Celulose.

- Chung Hwa Pulp Corporation

A Chung Hwa Pulp Corporation foi adquirida pelo grupo Yuen Foong Yu Group em 2012 para integrar os negócios no setor de madeira, papel e celulose[49]. Atuando em Taiwan e na China, também está envolvida na produção de papelão e fertilizantes, bem como papel especial para uso em indústrias de embalagens de alimentos, vestuário, *design* de interiores e transporte (BLOOMBERG, 2018).

No cenário da economia circular, a companhia também está investindo no modelo de negócio "*waste-to-energy*", em que seus resíduos industriais (condensado quente, calor residual, hidrogênio (H_2), dióxido de carbono (CO_2), lodo orgânico e inorgânico, resíduos de biomassa e água de tratamento secundário) têm sido convertidos em geração de calor, biogás (DME e metanol) e eletricidade por meio de seus processos integrados na planta CHP em Taiwan, servindo como um centro integrado de distribuição de energia para várias indústrias locais, como mostrado na Figura 42 (PAN et al., 2014). Além disso, o dióxido de carbono (CO_2) gerado na fábrica também é transportado para a horticultura e/ou para indústrias químicas locais. Estas ações contribuíram para a redução das emissões de CO_2 (0,9 t/t resíduo) e produção de celulose (0,55 t/t resíduo) e de fertilizante orgânico (0,33 t/t resíduo) (PAN et al., 2014).

[49] Fonte: www.yfy.com/en/invest_company_16.html>.

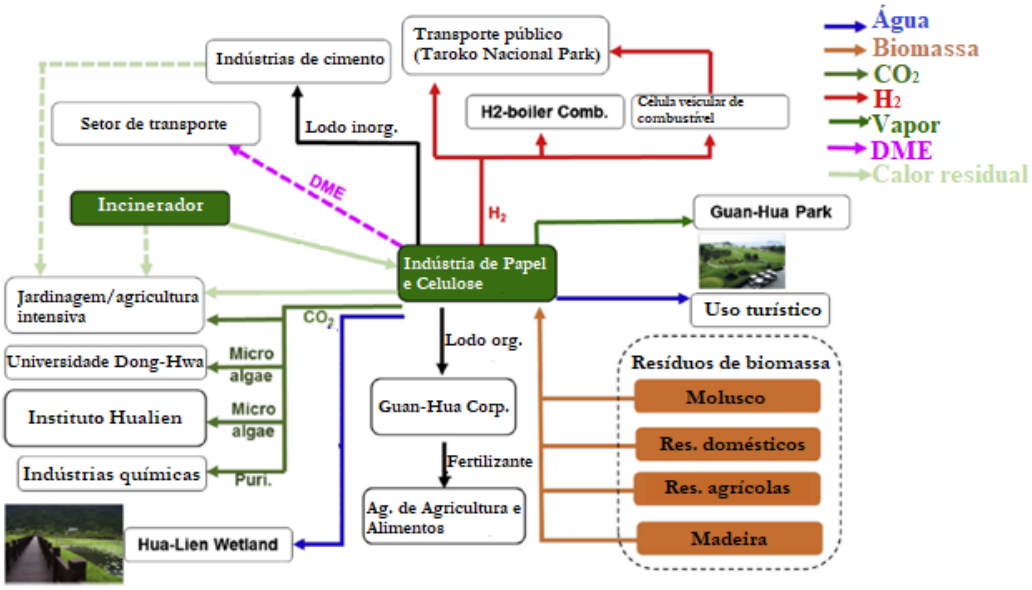

Figura 42. Centro integrado de distribuição de energia oferecido pela Chung Hwa Pulp Corporation em Taiwan. Fonte: Adaptado de Pan et al. (2014).

- <u>Cheng-Loong Corp</u>

A Cheng-Loong Corp., especializada em fabricação de papel e seus derivados, está comprometida com a sustentabilidade, tendo principal estratégia o uso de papel recuperado como principal insumo, sendo a maior empresa em Taiwan por isto[50].

Esta companhia também tem atuado com o modelo *waste-to-energy*. Os tipos de energia e materiais fornecidos incluem eletricidade, utilidades (vapor, condensado quente) e resíduos de materiais. A companhia possui três equipamentos sob o sistema de cogeração de energia CHP, isto é, duas caldeiras a carvão e uma caldeira usando energia de biomassa residual, reduzindo o consumo de carvão em 23.600 toneladas por ano e, por consequência, a emissão de CO_2 em 23.400 toneladas por ano (PAN et al., 2014). Como produto, é obtido um tipo de combustível derivado de resíduos (CDR), também denominado *refuse-derived fuel* (RDF), que pode ser queimado no sistema CHP com capacidade de 24 mil toneladas por ano.

Nesse sentido, a companhia apresenta a integração de recursos e energia como uma das diretrizes para o alcance do desenvolvimento sustentável. O quadro 21 apresenta os principais resultados obtidos em 2015 nesta direção, bem como objetivos futuros.

[50]Fonte: www.clc.com.tw

Quadro 21. Principais resultados alcançados da integração de recursos e energia Cheng-Loong Corp.

	Realizações	Alvo
Recuperação de Papel e Reciclagem	Até 94% do total de 1,58 milhões de toneladas de papel foram recuperados para reduzir quase 9,36 milhões de toneladas de CO_2eq.	Aumentar a taxa de recuperação.
Energia alternativa	A taxa de uso de energia alternativa foi de até 10,76%, como a energia eólica e a energia solar. Redução do consumo de carvão em quase 69 mil toneladas.	Aumentar a taxa de uso de energia alternativa para 15%.
Resíduos como recursos	Até 70% de resíduos foram transformados em recursos. Promovendo RDF-7 (gaseificação) e gaseificação de lodo para transformar resíduos em combustível para reduzir impactos ambientais.	Rumo à emissão zero de resíduos.
Emissões de Gases de Efeito Estufa	A intensidade de emissão de gases de efeito estufa foi de 1,47 milhões de toneladas de CO_2eq, 4,3% em relação a 2014 e 9,4% em relação a 2005.	Redução gradual das emissões de gases de efeito estufa.
Gerenciamento de água	O consumo total de água foi de até 17.646.000 m^3 por unidade de produção de papel, 10% em relação a 2014.	Redução contínua do consumo de água.

Fonte: Cheng-Loong Corp. (2018).

6.1.13.1 Análise Pontual do Setor de Papel e Celulose

A partir do Quadro 22, apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Papel e Celulose, é possível notar que as empresas da indústria analisadas desse setor estão atuando tanto no ciclo biológico quanto no ciclo técnico da economia circular. Tal afirmação se dá pelo reuso de utilidades (vapor, calor residual), resíduos sólidos urbanos e a biomassa do processamento de papel e celulose, utilizando processos térmicos e

biotecnológicos, no sistema CHP para geração de energia (térmica e elétrica) e biocombustíveis, como o biogás e o CDR.

Quadro 22 - Casos pertencentes ao setor de Papel de Celulose.

	Chung Hwa Pulp Corporation	**Cheng-Loong Corp**
País-sede	Taiwan	Taiwan
País do caso	Taiwan	Taiwan
Ciclo	B T	B T
"*Building block*"	Novos modelos de negócio Ciclo Reverso	Novos modelos de negócio Ciclo Reverso
Driver	*Biobased industries* *Waste-to-energy* Simbiose industrial	*Biobased industries* *Waste-to-energy*
Processo Químico	ND	ND
Insumo/Matéria-prima	Resíduo do processamento de papel e celulose	Resíduo do processamento de papel e celulose
Produto Químico	Biogás (DME/metanol)	Biogás (H_2, gás de síntese e metano) Combustível derivado de rejeito (RDF)
Outro Produto Final	Energia térmica Eletricidade	Energia (CHP)
Setor à montante	Energia	Energia
Setor à jusante	N/A	N/A

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico. DME: dimetil éter.

Assim, pode-se inferir a partir destes insumos e produtos mencionados que o setor de energia (a montante) e a própria indústria química podem ser impactados pela implantação destes casos no modelo circular neste setor.

6.1.14 MATERIAIS ESPORTIVOS

Neste item serão os casos obtidos pelas empresas Adidas Group e Nike, cujas atividades pertencem ao setor de Materiais Esportivos.

- <u>Adidas Group</u>

A multinacional Adidas Group é reconhecida mundialmente por seus produtos no setor esportivo, há mais de 100 anos no mercado, desde vestuários a calçados, tendo

produzido em 2016 mais de 850 milhões de unidades de produtos equivalentes a € 19 bilhões em vendas[51].

Em direção à economia circular a companhia tem investido na produção em ciclo fechado. Lançou o programa piloto *Make Every Thread Count* e instalou pontos de coleta voluntária de produtos antigos de consumidores em lojas de Nova York, Los Angeles, Paris e Londres, cujos itens coletados são adquiridos pela empresa especializada I: CO, onde são classificados, reciclados em matérias-primas secundárias para novos produtos em diversas indústrias. Uma pequena porção de produtos (menos de 10%) não pode ser reciclada e, portanto, é enviada para eliminação. No Brasil, o programa no mesmo sentido, denominado "Footprint Sustentável", os clientes que doam seus sapatos antigos recebem desconto na compra de um novo par de sapatos[51].

Além da logística reversa, os produtos têm sido fabricados com materiais reciclados, como o poliéster e a borracha, e de fontes renováveis como o algodão orgânico (*Better Cotton Initiative*), ácido polilático (PLA), Tencel® (fibra composta pela polpa da madeira) e lã retirada sem ferir os animais, para a produção de vestuário e couro. O suporte de calcanhar Framaprene® ECO, ilustrado na Figura 43 por exemplo, é feito de poliestireno reciclado de embalagens, desviando de aterros 1.500 toneladas deste resíduo por ano. Em parceria com a organização *Parley for the Oceans* em 2015, que recolhe redes de pesca e as transforma em fibras de tecido, passou a reutilizar este material para a fabricação de produtos[51].

A empresa também está buscando substituir o uso de perfluorcarbono (PFC's) em roupas e sapatos impermeáveis e, futuramente, de quase todos os produtos, utilizando uma nova tecnologia chamada *DryDye*, que permite colorir materiais sem usar água e reduzir o uso de produtos químicos em cerca de 50%, consumindo 50% menos energia[51].

Nesta tecnologia, o corante é injetado no tecido usando CO_2 comprimido, que ao final é gaseificado, de modo que o corante se condensa e se separa do gás. Assim, o CO_2 limpo pode ser reciclado e bombeado de volta para o vaso de tingimento. Já foram aplicados em quatro milhões de metros de tecido *DryDye* produzido até o final de 2014 e 100 milhões de litros de água economizados[51].

[51]Fonte: www.adidas-group.com

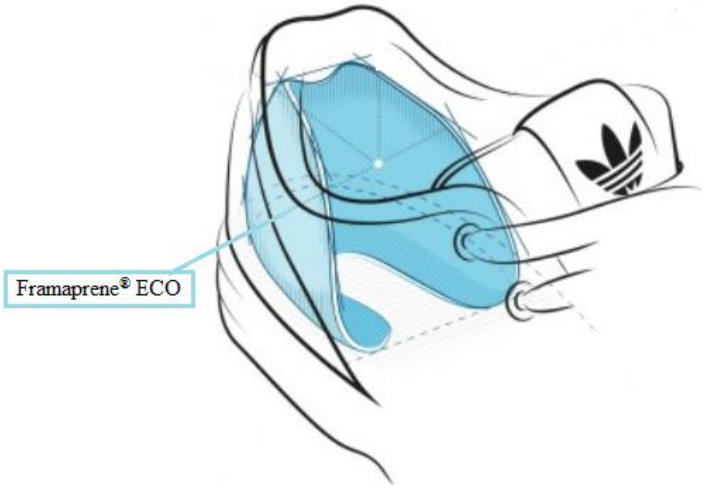

Figura 43. Suporte de calcanhar Framaprene® ECO da Adidas feito de poliestireno reciclado.
Fonte: Adaptado de Adidas (2017).

- Nike

A Nike, outra multinacional também reconhecida mundialmente no mercado de produtos esportivos, realiza há mais de uma década iniciativas de sustentabilidade, como o reciclo de seus sapatos e uso de poliéster reciclado nos seus produtos, sendo atualmente líder mundial no uso deste na indústria de vestuários com conteúdo de 39% nas suas roupas. Desde então, tem investido em tecnologias de fabricação e *design* mais sustentáveis, focados na minimização de desperdícios de materiais, energia, água e uso de componentes químicos não tóxicos (NIKE, 2015).

Com isso, a companhia tem atuado com duas estratégias que direcionam para a sustentabilidade. Atuando no início da cadeia, está a tecnologia NIKE Flyknit, que por meio do *design* inteligente, já reduziu em 60% o desperdício em materiais e o uso de algodão orgânico certificado pela *Better Cotton Initiative*, que impulsiona a eficiência energética e a eficiência da água, em mais de 26% deste material utilizado pela companhia, sendo uma das cinco maiores empresas usuárias deste algodão no mundo. Para fechar a cadeia, implementou o programa Nike Grid que consiste de uma paleta de plásticos recicláveis premium (borracha, espuma e fibras, por exemplo), já utilizada em 71% dos produtos da marca, desde calçados, roupas e acessórios (NIKE, 2015).

6.1.14.1 Análise Pontual do Setor de Materiais Esportivos

O Quadro 23 apresenta a proposta de categorização dos casos descritos do setor de Materiais Esportivos.

Quadro 23 - Casos pertencentes ao setor de Materiais Esportivos.

	Adidas Group	**Nike**
País-sede	Alemanha	EUA
País do caso	ND	ND
Ciclo	B T	T
"*Building block*"	*Design* Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	*Design* Ciclo Reverso Novos Modelos de Negócio
Driver	Logística Reversa	Reciclagem
Processo Químico	ND	ND
Insumo/Matéria-prima	Poliéster e borracha reciclados, algodão orgânico, PLA, tencel e lã sustentável	Poliéster, borracha, espuma e fibras reciclados Algodão orgânico
Produto Químico	N/A	N/A
Outro Produto Final	Produtos esportivos diversos	Produtos esportivos diversos
Setor à montante	Petroquímico Energia Abastecimento de água	Petroquímico
Setor à jusante	Têxtil	Têxtil

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. B: Biológico. T: Tecnológico.

Devido ao reciclo de materiais de fontes sintéticas como, por exemplo, o poliéster e fibras, tais casos se enquadram no ciclo técnico da economia circular e no ciclo reverso. A Adidas Group também pode ser incluída no ciclo biológico por utilizar materiais de fontes renováveis como o PLA e o Tencel®. A implementação da logística reversa e de tecnologias que reduzem o consumo de insumos, como água, energia e materiais, atuam como novos modelos de negócios, que podem vir a impactar os setores de abastecimento de água, energia e petroquímico, a montante. Dada a aplicação dos produtos finais nos vestuários e calçados, o setor têxtil pode ser impactado pela entrada no mercado das resinas recicladas e de tecidos mais inovadores.

6.1.15 PRODUTOS QUÍMICOS DE USO INDUSTRIAL

A Huntsman Corporation é uma multinacional produtora de produtos químicos de uso industrial para vários setores, abrangendo, principalmente, os grupos dos poliuretanos, materiais avançados, produtos de desempenho e de efeitos têxteis[52].

Em 2010, realizou o serviço de tingimento de peças têxteis para três fábricas da empresa IKEA na Índia, utilizando o modelo de negócio *chemical leasing*. Conforme reportado por Moser e Jakl (2015), foram obtidos uma economia anual de 2 milhões de kWh em energia, 78 t em corantes e 75 milhões de litros de água durante o contrato.

6.1.15.1 Análise Pontual do Setor de Produtos Químicos de Uso Industrial

O Quadro 24 apresenta a proposta de categorização do caso descrito do setor de produtos químicos de uso industrial.

Quadro 24 - Caso pertencente a Huntsman, empresa produtora de produtos químicos de uso industrial.

	Huntsman
País-sede	EUA
País do caso	Índia
Ciclo	T
"*Building block*"	Novos modelos de negócios
Driver	*Chemical leasing*
Processo Químico	ND
Insumo/Matéria-prima	Tinta
Produto Químico	N/A
Outro Produto Final	N/A
Setor à montante	N/A
Setor à jusante	Têxtil Serviços

Fonte: Elaboração própria.
*ND: Não disponível. *N/A: Não se aplica. T: Tecnológico.

Este caso se enquadra no ciclo técnico da economia circular, ao tratar do uso de tinta no tingimento de peças têxteis (componentes sintéticos). O modelo de negócio *chemical leasing* foi novamente utilizado, neste caso, na otimização do uso de tinta e, consequentemente, gerando economias em insumos. Isto, por sua vez, pode impactar, devido ao produto e setor aplicado, respectivamente, os setores químico e têxtil a jusante, pois não foi mencionado se é feita alguma modificação na composição da tinta utilizada e, por isso, não

[52]Fonte: www.huntsman.com

foi possível identificar nas referências consultadas os setores a montante que poderiam ser influenciados.

6.2 CENÁRIO TOTAL DOS ESTUDOS DE CASO

O Quadro 25 apresenta o cenário total das sinergias de cada setor e categoria da relação entre a economia circular e a indústria química. Os resultados foram obtidos a partir de uma análise qualitativa dos estudos de caso anteriormente discutidos, em que foram extraídos os termos mais incidentes nos quadro de 8 a 24 elaborados. Essas sinergias também podem servir de base para a implantação da economia circular no Brasil.

Em relação à origem das empresas responsáveis pelos estudos de caso, foi identificada participação de empresas com sede, principalmente, nos Estados Unidos, Brasil, Reino Unido e Dinamarca com 26%, 19%, 16% e 14% em relação ao total de 43 empresas, respectivamente. É interessante notar uma variedade dos locais onde as iniciativas foram aplicadas e não necessariamente ocorreram nos países-sede, não sendo muitas vezes possível identificar na descrição do caso. Por exemplo, nos casos da Adidas e Nike, que por serem grandes *players* no segmento esportivo, acabam por aplicar as ações em nível global. Contudo, pode-se destacar presença, em relação ao total de 57 estudos de caso, do Brasil com 21%, seguido da Dinamarca com 14%, do Reino Unido com 12% e dos Estados Unidos com 11%.

Além disso, pode-se observar que há predominância das ações no ciclo técnico da economia circular com participação de 74% dos estudos de caso, ao envolver a gestão dos recursos finitos por meio do reuso, da remanufatura e da reciclagem. Isto denota que no primeiro momento as empresas estão atuando no final da cadeia com o uso, por exemplo, de resíduos de resinas e fibras (30%) e eletroeletrônicos (4%), bem como esses materiais reciclados (11%) na cadeia produtiva. Isto também é devido ao fato de as matérias-primas predominantes no modelo atual de produção serem provenientes de recursos finitos, como os poliésteres, metais, borrachas, entre outros.

Quadro 25 - Cenário total – Resumo dos estudos de caso selecionados.

Setor	Alimentos	Biotecnologia	Energia	Bens de consumo	Materiais de construção	Produtos de Limpeza	Automotivo	Têxtil	Eletroeletrônico	Cosméticos, perfumaria e higiene pessoal	Tratamento de água e esgoto	Embalagens	Papel e Celulose	Materiais esportivos	Produto Químicos de Uso Industrial
País-sede	Brasil Reino Unido	Dinamarca Suécia Estados Unidos	Dinamarca	Reino Unido Estados Unidos	Dinamarca França	Inglaterra e País de Gales Estados Unidos Alemanha	França	Itália Reino Unido Estados Unidos	Brasil	Brasil	Estados Unidos Brasil	Brasil	Taiwan	Alemanha Estados Unidos	Estados Unidos
País(es) do caso	Brasil Reino Unido	Bélgica Holanda Dinamarca Estados Unidos	Dinamarca	Variados	Dinamarca Brasil	Inglaterra e País de Gales Sérvia Áustria	França	Itália Reino Unido Estados Unidos Filipinas	Brasil	Brasil	Estados Unidos Colômbia Brasil	Brasil	Taiwan	ND	Índia
Ciclo	B T	B	B T	T	T	T	T	B T	T	B T	B T	B	B T	T	T
Building Block	Design Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio Ag. Facil. Cond. Fav. Sistema	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Ciclo reverso	Novos Modelos de Negócio	Design Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio Ag. Facil. Cond. Fav. Sistema	Design Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Ciclo reverso Novos modelos de negócio	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Design Ciclo Reverso	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Design Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Novos Modelos de Negócio
Driver	Reuso Reciclagem *Biobased Industry* Simbiose industrial	*Biobased Industry*	*Biobased Industry* Simbiose industrial Reciclagem	Reciclagem		*Chemical leasing*	Logística reversa Reciclagem	Economia colaborativa Logística reversa Reciclagem	Logística reversa Reciclagem	Biobased industry Logística reversa Reciclagem Economia Colaborativa	Reuso Tratamento de Efluentes	Biobased industry Compostagem	*Biobased industries* *Waste-to-energy*	Reciclagem	*Chemical leasing*
Processo	Digestão anaeróbia		Transesterificação	ND	ND	Conc. Princ. Ativo	ND		ND	N/A	ND	ND	ND	ND	ND
Insumo/MP	Resíduos orgânicos e coprodutos de processo	Resíduos orgânicos e coprodutos de processo	Resíduos orgânicos e coprodutos de processo	Resíduos orgânicos e de resinas	Resíduos de resina		Resíduos de resinas, espumas, tecidos e metais	Resíduos de fibras e resinas	Resíduos eletroeletrônicos	Matérias-primas de origem vegetal Materiais reciclados	Efluente	Biomassa de mandioca	Resíduo do processamento de papel e celulose	Poliéster, borracha, espuma e fibras reciclados Algodão orgânico	Tinta
Produto químico	Biogás Biofertilizante		Biogás e outros biocombustíveis	Resinas recicladas		Inovação em detergente	ND	Fibras recicladas	Plástico Metais	Cosméticos variados		ND	Biogás	N/A	N/A
Outros produtos	Energia secundária		Energia secundária				Peças recicladas	Carpetes		Embalagens recicladas		Embalagem compostável	Energia secundária	Produtos esportivos diversoss	N/A
Setor a montante	Agrícola Energia Petroquímico	Petroquímico	Energia	Petroquímico	Extração mineral Petroquímico	Abastecimento de água Energia	Metalúrgico Petroquímico	Petroquímico	Metalúrgico Petroquímico	Extração vegetal e mineral Madeireiro Petroquímico	Abastecimento de água	Petroquímico	Energia	Petroquímico	N/A
Setor a jusante	Alimentos e bebidas Farmacêutico Transformados plásticos	Transformados plásticos		Transformados plásticos	Construção civil	Serviços Transformados plásticos	Têxtil Transformados plásticos	Têxtil	Eletroeletrônico Transformados plásticos	Transformados plásticos	Petróleo e Gás	Transformados plásticos		Têxtil	Têxtil Serviços

*Onde há espaços em branco, os resultados foram muitos distintos e, por isso, não foi possível obter uma convergência.
Fonte: Elaboração própria.

Entretanto, nota-se a presença bastante expressiva das ações no ciclo biológico com participação de 53% dos estudos de caso, indicando forte tendência de crescimento do uso de matérias-primas renováveis e biomassa (11%) para a conversão de resíduos ou coprodutos em bioprodutos, como os biocombustíveis, por meio de processos biotecnológicos. Vale ressaltar que as participações de ambos os ciclos da Economia Circular ultrapassam 100% em virtude das suas ocorrências simultâneas nos casos estudados. É importante destacar, nesse ciclo, as iniciativas nos setores de Alimentos e Bebidas, Energia, Tratamento de Água e Esgoto e de Papel e Celulose que apresentam em sua maioria a conversão de seus respectivos resíduos em biogás e, por isso, o *driver Biobased Industry*, que corresponde a essas atividades industriais, é tão presente. Além disso, neste ciclo também estiveram presentes os casos obtidos pelas empresas dos setores, têxtil e de embalagens, cujo perfil atua em geral no ciclo técnico, agregando valor às ações circulares que buscam regenerar os componentes da biosfera.

Dentre os *building blocks* da economia circular, é possível perceber o domínio das ações no Ciclo Reverso (88%), seguido de Novos Modelos de Negócios (49%), poucas ações em *Design* (21%) e baixa participação de Fatores Viabilizadores e Condições Sistêmicas Favoráveis (14%). Tal fato pode ser explicado por ser mais conveniente, neste primeiro momento de mudanças em direção à economia circular, investir em iniciativas no final da cadeia de valor, fechando o ciclo produtivo. Para a indústria química, em particular, o *Design* ainda se apresenta como um grande desafio no longo prazo, pois remete à geração de componentes químicos que facilitem a remanufatura e a reciclagem sem a perda da funcionalidade, mantendo a eficiência do produto (vide caso do amido acetilado pela Interface). Como já dito anteriormente, o envolvimento de políticas públicas e projetos colaborativos ainda apresentam resistência, visto que é necessária uma mudança de paradigmas nos modelos de produção e consumo.

Quanto aos *drivers* da economia circular observou-se predominância da Reciclagem (33%) e de *Biobased Industries* (32%), seguido da Simbiose Industrial (23%) e Logística Reversa (18%), em consonância com as evidências destacadas anteriormente no Ciclo Reverso e no ciclo biológico. Vale ressaltar o uso de ambos os primeiros *drivers* nos setores de Alimentos e Energia associados à conversão de resíduos orgânicos e coprodutos de processos (39%) em biocombustíveis e biofertilizantes e, no de Cosméticos, com o uso de matéria-prima de origem vegetal e reciclagem de embalagens. Quando visto isoladamente, o *driver Biobased Industry* também esteve presente nos setores de Biotecnologia, Embalagens

(associado à compostagem) e de Papel e Celulose (associado à *waste-to-energy*) para fins respectivos a estes setores a partir de resíduos orgânicos e biomassa.

A Simbiose Industrial exerce um importante papel para o funcionamento da Economia Circular devido à integração do fluxo de processos entre empresas situadas ou não em um mesmo local, como ocorre no parque industrial de Kalundborg (DK), podendo destacar os estudos de casos dos setores de Alimentos, Biotecnologia, Energia e de Papel e Celulose. A Logística Reversa, na qual inclui por definição a reciclagem, pode ser observada no setor automotivo, têxtil, de eletroeletrônicos e de materiais esportivos, destacando-se como um novo modelo de negócio em expansão.

Entretanto, não foi possível discriminar de modo detalhado os processos químicos e/ou físicos envolvidos nos 57 estudos de caso analisados, pois tais dados não são na maioria das vezes fornecidos nas referências consultadas. De modo geral, foi verificada a presença da digestão anaeróbia (7%) e fermentação (4%) no setor de Alimentos e Bebidas, o uso da transesterificação (2%) para a obtenção de biodiesel no setor de Energia e a concentração de princípio ativo (5%) no setor de Produtos de Limpeza.

Por outro lado, percebe-se grande variância de produtos químicos gerados pelas iniciativas nos estudos de caso, podendo-se destacar a obtenção de biocombustíveis (25%), resinas recicladas (14%) e biofertilizante (9%). Entre os biocombustíveis, além do biodiesel a partir de óleo de fritura, o biogás predomina, tendo sido obtido de diversos tipos de matérias-primas como, por exemplo, de resíduos orgânicos agrícola e de alimentos.

Pode-se notar também a variedade de outros produtos não químicos obtidos dos estudos de caso, destacando-se a produção de energia térmica ou elétrica (18%) que foi obtida pelo sistema de cogeração de energia também denominado CHP ou pela a conversão de resíduos de utilidades como, por exemplo, vapor condensado e gás de combustão para melhorar a autossuficiência da planta. Este sistema teve presença expressiva nos setores de Alimentos e Bebidas, Energia e Papel e Celulose nos estudos de caso analisados.

Por fim, pode-se perceber a diversidade de setores que podem impactar tanto a montante quanto a jusante da indústria química (Figura 44). Vale destacar a participação nos estudos de caso dos setores petroquímico (53%) e energético (30%), a montante, que tendem a ser mais influenciados principalmente pelo uso de resíduos de plástico, fibras, resinas como insumos e a obtenção de energia (térmica e elétrica) e biocombustíveis. A jusante observa-se o predomínio dos Transformados Plásticos (47%) e Têxtil (18%), que podem ser impactados pelo retorno destes materiais reciclados para a cadeia produtiva ou a competição com os

biomateriais, como, por exemplo, o PHA produzido pela Balbo Group e o Lyocell (fibra artificial produzida a partir de celulose) utilizado pela H&M.

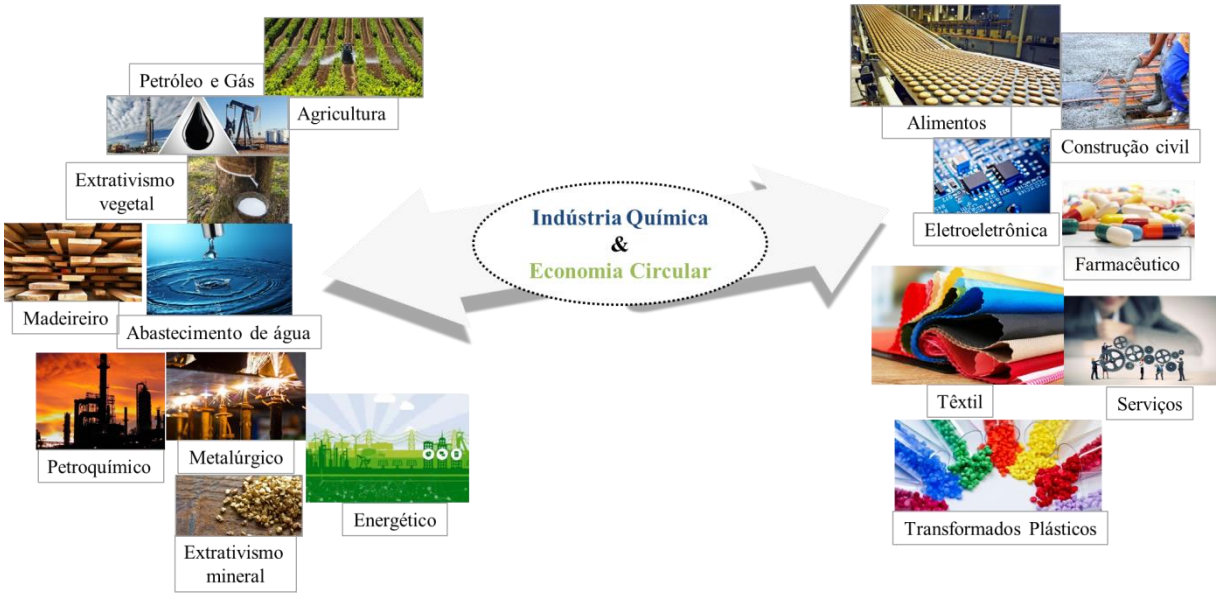

Figura 44. Setores a montante e a jusante da indústria química que tendem a ser mais impactados com a economia circular.
Fonte: Elaboração própria.

Conforme discutido no Capítulo 4, a indústria química brasileira apresentou crescimento significativo desde 2002. Entretanto o que ainda é alarmante para as empresas químicas é a estagnação da balança comercial, sendo um dos principais desafios para o país alcançar o saldo positivo na balança com a substituição das importações ou com o aumento das exportações.

O principal objetivo elaborado pela ABIQUIM desde 2010 é "posicionar a indústria química entre as cinco maiores do mundo até 2020, tornando o Brasil superavitário em produtos químicos e líder mundial em produtos derivados da biomassa e/ou química verde" (ABIQUIM; CNI, 2012). Este objetivo, em consonância com a proposta da economia circular no ciclo biológico, pode diversificar a indústria química brasileira e reverter o quadro deficitário no qual o país se encontra.

Vários segmentos químicos oferecem oportunidade para que as empresas brasileiras desempenhem um papel maior no mercado global e aqueles em que o Brasil já é competitivo podem prosperar com novos investimentos em novas tecnologias, como o de cosméticos e produtos de higiene pessoal, defensivos agrícolas, aditivos alimentícios para animais e químicos para Exploração e Produção de Petróleo (E&P) (MAS *et al.*, 2016; BAIN &

COMPANY; GAS ENERGY, 2014). A Bain & Company e a Gas Energy estimaram que essas oportunidades podem corresponder entre US$ 33 bilhões e US$ 47 bilhões em 2030 e reduzir o déficit comercial entre US$ 22 bilhões e US$ 38 bilhões por ano (MAS *et al.*, 2016).

O mercado de produtos químicos produzidos a partir de fontes renováveis poderá representar até 10% da indústria química brasileira até 2020, desde que haja investimento em torno de US$ 20 bilhões em novas tecnologias, produtos e processos (MAS *et al.*, 2016). O mesmo estudo realizado pela Bain & Company e Gas Energy mostrou que investimentos em rotas tecnológicas alternativas a partir de fontes renováveis podem contribuir com US$ 15 bilhões a US$ 35 bilhões no faturamento para a indústria em 2030, impactando positivamente a balança comercial brasileira (BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014). Além disso, estima-se que os defensivos agrícolas poderão impactar positivamente em US$ 17,5 bilhões a balança comercial de 2030, caso haja investimentos em petroquímicos de US$ 25 bilhões (BAIN & COMPANY; GAS ENERGY, 2014).

Tal cenário de estagnação pode ser revertido com uma indústria local capaz de obter os insumos de maneira rápida e econômica. Conforme visto no capítulo 4, o setor petroquímico apresenta-se como mais impactado ou beneficiado com a implantação das ações circulares pela indústria química e/ou dos setores dos quais é inter-relacionada. Os estudos de caso apresentados pela Balbo Group e British Sugar, por exemplo, constituem grandes exemplos disto com a conversão de resíduos de processamento da agroindústria que gerou valor ao obter biofertilizantes, por exemplo, ao melhorar as condições de plantio e, consequentemente, aumentar a produtividade.

Muitos dos estudos analisados apontam o aumento da eficiência de recursos e a conversão dos resíduos em recursos como caminho em potencial para a remediação dos constantes problemas econômicos e sociais globais e para a prevenção de novos ciclos negativos no futuro. As oportunidades apresentadas pelo modelo circular são transversais aos segmentos e podem agregar novos ganhos. Para o Brasil, a solução não seria diferente, pois possui condições para o uso cada vez mais crescente de matérias-primas derivadas de biomassa e essa vantagem faz do país um potencial exportador desses químicos de rota renovável.

Nos casos apresentados nesta pesquisa, a conversão de óleo usado em biodiesel e de resíduos sólidos urbanos em biogás sugere movimentos iniciais do país que vão de encontro aos princípios da economia circular e que afetam positivamente tanto o setor químico quanto o setor energético. Além disso, outras oportunidades também se apresentam na conversão de

glicerina obtida de biodiesel para a produção de propeno e na fabricação de gás de síntese a partir de biomassa (ABIQUIM; CNI, 2012).

Contudo, se faz necessária a revisão do Marco Regulatório de Ciência, Tecnologia e Inovação e da Lei do Bem (11.196/05) para que os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento não sejam descontinuados. Já foi proposto pela ABIQUIM, um Grupo de Trabalho no Conselho Nacional de Biotecnologia para estudar e propor soluções e alternativas para apoiar a instalação de biorrefinarias no país.

No âmbito ambiental, a indústria química é frequentemente apontada como grande poluidora e geradora de resíduos perigosos. Entre 2001 e 2010, a quantidade de resíduos total gerados, em números absolutos, chegou a quase 509 mil toneladas, acompanhando o ritmo da produção química. Entretanto, o aumento da geração de resíduos perigosos foi proporcionalmente maior que a produção, chegando a 185 mil toneladas, aproximadamente, o que indica um aumento gradativo na fabricação de produtos que geram mais resíduos perigosos (ABIQUIM; CNI, 2012).

Nesse sentido, o modelo de *chemical leasing* que tem como um dos princípios a eliminação de compostos tóxicos nos serviços realizados vem cada vez mais tomando força com o apoio da UNIDO. Os benefícios obtidos pelos casos referentes às empresas Ecolab, Nalco Water e Huntsman, tais como redução de custos, de riscos, de exposição a compostos tóxicos e outras externalidades negativas, são amostras de forte tendência deste novo modelo de negócio e se apresentam como oportunidades que as indústrias químicas brasileiras podem adotar para obter margem e alavancar a balança comercial.

Em paralelo, a geração de resíduos sólidos também é um dos grandes desafios para o setor nos próximos anos. Entre 2001 e 2010, foi constatada a geração de cerca de 10 Kg resíduo/t produto. A gestão desses resíduos, de acordo com a PNRS, deve seguir a prioridade sequencial de redução, reuso, reciclagem, tratamento e disposição final (ABIQUIM; CNI, 2012). No contexto da economia circular, entretanto, após o tratamento o componente químico deve retornar à cadeia produtiva sempre que possível, sendo a disposição final em aterro realizada somente em casos extremos.

Para isso, serão necessários investimentos também na logística reversa de modo a obter o melhor aproveitamento possível dos resíduos como novos recursos, identificando novas formas de incorporação do componente em outros produtos e o uso de matérias-primas mais seletivas em alguns processos, reduzindo, assim, o volume de resíduos destinados em aterros.

7 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar, assim, que a economia circular trata de um modelo de produção e serviços, que por ter a remodelagem do processo linear de modo holístico, necessita de quebras de paradigmas nos processos de produção, padrões de consumo e novas políticas públicas para que a transição de fato ocorra.

Este novo paradigma de modelo de produção se mostra desafiador e, ao mesmo tempo, uma alternativa em potencial para a escassez de recursos, volatilidade de preços, mudanças climáticas, desastres ambientais, resíduos urbanos em excesso, entre outros problemas globais.

Os estudos de caso selecionados nesta pesquisa indicam grande potencial do movimento de transição do modelo linear para a Economia Circular, em nível mundial, dada a diversificação de setores da economia já envolvidos e, consequentemente, dos agentes transformadores envolvidos que em sua maioria são empresas, havendo ainda pouca participação do setor público.

Além disso, foi possível observar também forte movimento das ações circulares no ciclo técnico, marcado pelo reuso e reciclagem de coprodutos e resíduos de processos, como resíduos de plástico, fibras e eletroeletrônicos. Isto, por sua vez, mostra que as empresas e pesquisas em universidades estão, no primeiro momento, estão com o foco no final da cadeia, isto é, no retorno dos seus materiais para a cadeia produtiva.

Entretanto, o ciclo biológico também apresentou forte tendência nos estudos de caso, pela presença significativa de matérias-primas renováveis e biomassa para a conversão de resíduos ou coprodutos em bioprodutos, como, por exemplo, os biocombustíveis, por meio de processos biotecnológicos.

Pode-se verificar também uma diversificação dos processos envolvidos, como a presença da digestão anaeróbia e fermentação no setor de Alimentos e Bebidas, o uso da transesterificação para a obtenção de biodiesel no setor de Energia e a concentração de princípio ativo no setor de Produtos de Limpeza. Os produtos identificados também foram diversificados, destacando-se o biogás, fertilizante orgânico, bioplásticos, plásticos recicláveis, entre outros.

Apesar de ter sido identificada em apenas alguns casos, o desenvolvimento de parcerias entre as empresas e outros *stakeholders* das respectivas cadeias produtivas permitiu

a aplicação de novos modelos de negócios, como a logística reversa e o sistema CHP, atuando como catalisador para tornar a cadeia circular.

Entre a grande variedade de setores envolvidos nos estudos de caso analisados, os setores petroquímico e energético (a montante) e têxtil e de transformados plásticos (a jusante), tendem a serem mais impactados, principalmente, pelas inovações na síntese de fertilizantes e bioplásticos e pelo uso de resinas e fibras recicladas em produtos de valor agregado.

Desse modo, pode-se inferir que a indústria química pode exercer grandes contribuições no contexto da economia circular. Apesar do cenário econômico ainda instável no país, o setor deve utilizar de tal fato como oportunidade para novos negócios e utilizar o seu papel como impulsionadora, por meio de seus processos e produtos, bem como provedora de inovações para favorecer seu desenvolvimento e enfrentar os desafios (investimentos em infraestrutura logística e em inovação tecnológica, principalmente), que devem ser superados para se ter uma indústria química competitiva e sustentável no Brasil e para a integração entre o setor e a economia circular de fato acontecer.

É importante ressaltar que a economia circular não trata somente da reciclagem. Propõe-se a repensar o processo produtivo desde a etapa de projeto e o *redesign* de produtos de modo que os materiais renováveis retornem ao ciclo biológico, os materiais manufaturados retornem ao ciclo técnico e os serviços sejam compartilhados, agregando valor à cadeia produtiva e sem perda de qualidade. A busca constante pela sinergia entre o modelo linear e circular, sempre que possível, poderá minimizar externalidades negativas a nível econômico, social e ambiental.

Para isso, se faz emergente o comprometimento do governo, das organizações e da sociedade promovendo a colaboração, a capacitação de pessoas e a elaboração de políticas públicas que ofereçam suporte à circularidade dos modelos de negócio e, principalmente, a revisão de valores e de padrões de consumo.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar a inter-relação de cada *driver* da economia circular, apresentado no Capítulo 2.4, com a indústria química de modo a explorar as contribuições e impactos para o setor como, por exemplo, a atividade de *chemical leasing* mostrada pela Ecolab e SafeChem, que tende a modificar o modo com que se comercializa os produtos químicos e busca eliminar o uso de produtos tóxicos.
- Analisar de modo mais aprofundado os impactos a montante e a jusante em alguns setores da indústria química a partir, por exemplo, da análise de oferta e da demanda, produção, importação e exportação de produtos químicos e outros obtidos pela aplicação da economia circular;
- Obter mais estudos de caso em artigos científicos a fim de comparar tendências de ações circulares no longo prazo com as atuais já praticadas pelas empresas;
- Do mesmo modo, buscar em base de patentes, tecnologias voltadas para a circularidade de produtos a fim de comparar tendências de ações circulares no curto e médio prazo com as atuais já praticadas pelas empresas.
- Uso de outras bases de Casos de Ensino para estudos mais detalhados.
- Proposição de Caso de Ensino com a topologia proposta nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL DAIEM, M. M. et al. Environmental impact of phthalic acid esters and their removal from water and sediments by different technologies - A review. **Journal of Environmental Management**, v. 109, p. 164–178, 2012.

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial; CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Panorama da Biotecnologia no Mundo e no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Panorama Setorial Biotecnologia.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

ABIA - Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. **Faturamento da Indústria de Alimentos**. 2016. Disponível em: <http://www.abia.org.br/vsn/anexos/faturamento2016.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. **A Indústria Química | Conceito**. 2012. Disponível em: <https://abiquim.org.br/includes/pdf/indQuimica/AIndustriaQuimica-Conceitos.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. **Anuário da Indústria Química Brasileira**. 2015. São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. **O desempenho da Indústria Química Brasileira em 2016**. 2016. Disponível em: <https://abiquim.org.br/includes/pdf/indQuimica/livreto-de-dados-2016-paginas.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. **O desempenho da indústria química em 2017**. 2017. Disponível em: <https://abiquim.org.br/uploads/guias.../desempenho_industria_quimica_2017.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química; CNI - Confederação Nacional da Indústria. **A Trajetória da Indústria Química Rumo à Sustentabilidade**. 2012. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/190/20121122173813500928i.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2018.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** 2015. Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em: dez. 2016.

ADIDAS. Disponível: <www.adidas-group.com>. Acesso em: Nov. 2017.

ACTIONSHOP. Disponível em: <actionshop.com.br/>. Acessado em: Fev. 2018.

AGUA COSTA RICA. Disponível em: <www.aguacostarica.com/>. Acessado: Mai.2016.

ALCALDE, A.; LOPES, F. L.; TAKAMTSU, R. EBITDA margin in brazilian companies: Variance decomposition and hierarchical effects. **Contaduría y Administración**, v. 58, p. 197 – 220, 2013.

ALMEIDA, S. R. DOS S. **A Percepção do Usuário na Avaliação do Ciclo de Vida das Baterias de Telefone Celular**. 2015. 118 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro, 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída:Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2. ed. Brasília/DF: Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), 2016.

ARGO. Disponível em: <www.argo.dk/>. Acesso em: Jul. 2017.

AT KEARNEY. Chemical Industry Vision 2030: A European Perspective. p. 1–15, 2012.

AZEVEDO, J. L. DE. A Economia Circular Aplicada No Brasil : Uma Análise a Partir dos Instrumentos Legais. **Xi Congresso Nacional De Excelência Em Gestão**, 2015.

BAIN & COMPANY; GAS ENERGY. **Estudo do Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira**. **Relatório 4 – Químicos com base em fontes renováveis.**BNDES, 2014a.

BAIN & COMPANY; GAS ENERGY. **Potencial de diversificaçao da industria química Brasileira: Relatório 4- Aromas, sabores e fragrâncias**. BNDES, 2014b.

BAIN & COMPANY; GAS ENERGY. **Estudo do Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira: Relatório Final**. BNDES, 2014c.

BALESTRIN, A.; VERSCHOORE, J. *Redes de Cooperação Empresarial*: Estratégias de Gestão na Nova Economia. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 291 p.

BALTIMORE CITY. Department of Public Works. Disponível em:<publicworks.baltimorecity.gov/pw-bureaus/water-wastewater/wastewater/back-river>. Acessado em: Dez. 2017.

BANAITÉ, D. Towards circular economy: analysis of indicators in the context of sustainable development. **Social Transformations in Contemporary Society**, v. 4, p. 142 - 150, 2016.

BICS - Associação dos Centros de Empresa e Inovação Portugueses. **Caracterização do Setor de Biotecnologia: Estudo Desenvolvido no Âmbito Do Projeto "Promoção e Dinamização de Clusters Tecnológicos Emergentes"**. 2013. Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Biotecnologia_Caracterização do sector 2013.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

BLOOMBERG. 2018. Disponível em:<https://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=183342820>. Acessado em: Jan. 2018.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Agropecuária.** Disponível em: <www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/onde-atuamos/agropecuaria/agropecuaria>. Acesso em: Dez. 2017.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Fundo Amazônia Relatório de Atividades 2016**. 2017. Disponível em:<http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/fam/site_pt/Esquerdo/Estudos/lista_estudos.html?classificacao=Proprios>. Acessado em: Jan. 2018.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Os desafios do setor de logística - BNDES**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/>. Acesso em: Jan. 2018.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES Setorial 42**. 2015. Disponível em:<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9374>. Acessado em: Jan. 2018.

BOCK, K. Chemical industry - Global perspectives , challenges and opportunities. 2015.

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

BORSCHIVER, S. **Estudo do Impacto da Indústria Química na Economia atrvés do Sistema de Contas Nacionais**. Tese de Doutorado, Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. DA. *Technology Roadmap*: Planejamento Estratégico para Alinhar Mercado-Produto-Tecnologia. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. 120 p.

BROCKLESBY. Disponível em: <www.brocklesby.org/>. Acesso em: Jul. 2017.

BUSINESS, I. C. Biobased industries add to circular economy. Focus on Catalysts, v. 2016, n. 8, p. 2, 2016.

CARLOS, A. et al. Bioeconomia: oportunidades, obstáculos e agenda 35. p. 81, 2014.

CAROCHO, M.; BARREIRO, M. F.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R.. Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 4, p. 377–399, 2014.

CHENG-LOONG CORP. Disponível em: <www.clc.com.tw>. Acesso em: Jan. 2018.

CHEN, W.; XU, J.; LI, W. Research on construction technologies of knowledge-based the planning roadmap for circular economy. **Proceedings - 2009 International Conference on Information Engineering and Computer Science, ICIECS 2009**, 2009.

CLARK, J. H. FARMER, T. J.; HERRERO-DAVILA, L.; SHERWOOD, J. Circular economy design considerations for research and process development in the chemical sciences. **Green Chem.**, v. 18, n. 14, p. 3914–3934, 2016.

COCA-COLA BRASIL. **Coletivo Reciclagem: programa gera empoderamento, mais eficiência e renda para cooperados : The Coca-Cola Company**. Disponível em: <https://www.cocacolabrasil.com.br/packages/coletivo-reciclagem-programa-gera-empoderamento-e-renda-para-cooperados>. Acesso em: Jan. 2018.

COCA-COLA BRASIL. **Embalagens: como repensá-las sob a perspectiva da economia circular?: The Coca-Cola Company**. Disponível em: <https://www.cocacolabrasil.com.br/historias/embalagens-como-repensa-las-sob-a-perspectiva-da-economia-circular>. Acesso em: Jan. 2018.

COCA-COLA BRASIL. **Coca-Cola Brasil anuncia investimento de R$ 1, 6 bilhão para novo compromisso de embalagens**. Disponível em: <https://www.cocacolabrasil.com.br/imprensa/release/coca-cola-brasil-anuncia-investimento-para-o-compromisso-mundo-sem-residuos>. Acesso em: Jan. 2018.

COCA-COLA EUROPEAN PARTNERS. Disponível em: <www.cokecce.com>. Acesso em: Jul. 2017.

COLTURATO, L. F. **Biometanização: O tratamento da fração orgânica e seu potencial para a valorização integral dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**. Seminário Economia Circular e Sustentabilidade na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. **Anais**...Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6458684/4173221/Biometanizacao_LuisFelipeColturato.pdf>. Acesso em: Jan. 2018

COSTA, L. M. DA; SILVA, M. F. DE O. E. **A Indústria Química e o Setor de Fertilizantes**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2025/1/A indústria química e o setor de fertilizantes_P_A.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

COSTA, P. M.; COSTA, M. M.; FREITAS, L. **Créditos de Logística Reversa – Uma Inovação Sócio-Ambiental para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.bvrio.org/wp-content/uploads/2017/04/BVRio-PT.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

C40 CITIES. Disponível em: <http://www.c40.org/about>. Acesso em: jan. 2017.
DE MARCHI, M. Encontro Nacional da Indústria Química. 2016.

DECKER, N.; REINHARD, J. **Chemical Leasing Sustainable Chemicals Service Solutions**. 2015. Disponível em: <http://conexxeurope.eu/wp-content/uploads/2015/11/Presentation-Joas-Decker-CHEMICAL-LEASING-FINAL-1.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

DE MARCHI, M. Abertura. In: ENCONTRO NACIONAL DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ENAIQ), 21º., São Paulo (SP), 2016. Disponível em: < http://enaiq.azurewebsites.net/wp-content/themes/white-theme/arquivos/MarcosDeMarchi-ENAIQ2016.pdf>. Acesso em: jun. 2017.

DEPEC BRASDESCO. **QUÍMICA E PETROQUÍMICA**. 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_quimica_e_petroquimica.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018.

DESSO GROUP. Disponível em: <www.desso.co.uk/>. Acesso em: Ago. 2017.

DUARTE, A. A. B. G.; BALTAR, R. A INDÚSTRIA QUÍMICA NO BRASIL. 2008.

ECOLAB. Disponível em: <www.pt-br.ecolab.com>. Acesso em: Jul. 2017.

ECONYL. Disponível em: <www.econyl.com>. Acesso em: Jun. 2017.

ECOVATIVE DESIGN. Disponível em: <www.ecovativedesign.com>. Acessado em: Jun. 2017.

EGERTON, S. **A new way to make plastic**. 2015. Disponível em: <www.circulatenews.org/2015/09/a-new-way-to-make-plastic/>. Acesso em: Set. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Building Blocks of a Circular Economy.** Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/building-blocks>. Acesso em: Mai. 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Case Studies.** Disponível em:

<www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies>. Acessado em: Maio. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector**. 2012. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso em: Jun. 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. T**owards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition**. 2015. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso em: Jun. 2016.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics.** 2016. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso em: Maio. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Unlocking value from used cooking oils**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/unlocking-value-from-used-cooking-oils>. Acesso em: Jul. 2017a.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia Circular No Brasil : Apêndice de Estudos de Caso**. 2017b. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso em: Maio. 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Creating a reverse logistics ecosystem**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/creating-a-reverse-logistics-ecosystem>. Acesso em: Jan. 2018b.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Case studies: 100% recoverable and reciclabe carpet material**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/production-and-material-reclaim-of-carpets>. Acesso em: Jan. 2018c.

EMBRACO. **RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2015 e 2016**. [s.l: s.n.]. Disponível em:<http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/20170530_Embraco2016_PT.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

EPE - Empresa Pesquisa Energética. **Caracterização do Cenário Macroeconômico para os próximos 10 anos (2016-2025)**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-263/DEA 08-16 - Cenário macroeconômico 2016-2025[1].pdf>. Acesso em: Fev. 2018.

EXTRAIR ÓLEOS NATURAIS. Disponível em: < www.extrair.com.br>. Acesso em: Nov. 2017.

FAIRBANKS, M. Perspectiva 2017 - **Indústria Química: Setor volta a crescer, mas pede reformas amplas para sair da estagnação.** 2017. Revista Química e Derivados. Disponível em: <http://www.quimica.com.br/perspectivas-2017-industria-quimica-setor-volta-crescer-mas-pede-reformas-amplas-para-sair-da-estagnacao/3/>. Acesso em: jun. 2017.

FAIRPHONE. Disponível em: <www.fairphone.com/en/>. Acessado: Mai.2016.

FILHO, J. A. P.; FARIA, A. C. DE; PIRES, G. W. M. O; DUARTE, E. B. L. Investimentos em Ativos Imobilizados Para Instalação de Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil de Médio Porte da Zona Leste de São Paulo. **Desenvolvimento em Questão**, v. 36, p. 320–351, 2016.

FILHO, M. G. L. **Avaliação da Aderência aos Princípios de Sustentabilidade em Desenvolvimento de Produto à Luz de Abordagens Ecoeficientes e Ecoefetivas: Uma Aplicação No Setor Automotivo**. 2014. 171 f. Dissertação (mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Produção e Sistemas. São Leopoldo, RS, 2014.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. 2017a. Disponível em:< http://www.firjan.com.br/seminario-acao-ambiental-2017/premio.htm>.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. 2017b. Disponível em: <riooportunidadesdenegocios.com.br/produtos/noticias-de-impacto/edital-de-inovacao-da-industria-viabiliza-chegada-de-produtos-inovadores-ao-mercado/591a08ee034b1e18001b1f14>. Acesso em: Jan. 2018.

FREITAS, L. Químicos e Sustentabilidade. Disponível em: < prezi.com/6spai5h21oxr/quotquimicosquot-e-sustentabilidade-como-assim/>. Acesso em: Jul. 2017.

GENOVESE, A.; ACQUAYE, A. A.; FIGUEROA, A.; LENNY KOH, S. C. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2015.

GEORGE, D. A. R. et al. A circular economy model of economic growth. **Environmental Modelling and Software**, v. 73, p. 60–63, 2015.
GUIMARÃES, P. B. V.; SILVA, L. DO M. Autorregulação Jurídica no Urbanismo Contemporâneo: Smart Cities e Mobilidade Urbana. **Revista Direito da Cidade**, v. 8, n. 4, p. 1231–1253, 2016.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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

GROOTHUIS, F. **New era. New plan. Fiscal reforms for an inclusive, circular economy. Case study the Netherlands**. 2014. Disponível em: <http://www.ex-tax.com/files/4314/1693/7138/The_Extax_Project_New_Era_New_Plan_report.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2018.

GUIMARÃES, P. B. V.; SILVA, L. DO M. AUTORREGULAÇÃO JURÍDICA NO URBANISMO CONTEMPORÂNEO: SMART CITIES E MOBILIDADE URBANA. **Revista Direito da Cidade**, v. 8, n. 4, p. 1231–1253, 2016.

H&M. **The H&M Group: Sustainability Report 2016**. 2016. Disponível em: <http://sustainability.hm.com/content/dam/hm/about/documents/en/CSR/Report 2016/HM_group_SustainabilityReport_2016_CircularAndRenewable_en.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2018a.

H&M. **H&M group | Recycle your clothes**. Disponível em: <http://about.hm.com/en/sustainability/get-involved/recycle-your-clothes.html>. Acesso em: Jan. 2018b.

H&M. **H&M GROUP SELECTED AS FINALIST IN CIRCULAR ECONOMY AWARD**. Disponível em: <http://about.hm.com/en/media/news/general-2017/h-m-group-selected-as-finalist-in-circular-economy-award-0.html>. Acesso em: Jan. 2018.

H&M. **H&M group | At a glance**. Disponível em: <http://about.hm.com/en/about-us/h-m-group-at-a-glance.html>. Acesso em: Jan. 2018.

HOBSON, K.; LYNCH, N. Diversifying and de-growing the circular economy: Radical social transformation in a resource-scarce world. **Futures**, v. 82, p. 15–25, 2016.

HUNTSMAN. Disponível em: <www.huntsman.com>. Acesso em: Nov. 2017.

IBGE. Estrutura detalhada e notas explicativas da CNAE 2.0. 2007. Disponível em: www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/metodos-e-classificacoes/classificacoes-e-listas-estatisticas.html>. Acesso em: Jul. 2017.

IBGE. Estrutura detalhada e notas explicativas da CNAE 2.0. 2007.

IEA BIOENERGY. **100% Biogas For Urban Transport in Linköping, Sweden: Biogas in Buses, Cars and Trains Biogas in The Society**. Disponível em: <http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/linkoping_final.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2018.

INTERFACE. **Interface 'Produtos, marcas e serviços**. Disponível em: <http://www.interfaceglobal.com/Products.aspx>. Acesso em: 20 jan. 2018.

INSTITUTO BVRIO. Embalagens | Instituto BVRio. Disponível em: <http://bvrio.org/setores/residuos-solidos/embalagens/?_ga=1.160471416.479708056.1485393135>. Acesso em: 25 jan. 2017.

JAKL, T. Global Chemical Leasing Award 2010. **Technology and Investment**, v. 2, p. 20–26, 2011.

KARASKI, T. U. et al. **Embalagem e Sustentabilidade: Desafios e orientações no contexto da Economia Circular**. 2016. Disponível em: <http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem_sustentabilidade.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

KRAAIJENHAGEN, C.; OPPEN, C. V.; BOCKEN, N. *Circular Business*: Collaborate and Circulate. 1 ed. Circular Collaboration, 2016.

LACERDA, M. B. DE. **Análise Multivariada da Inovação nos Setores da Indústria Química Nacional**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Rio de Janeiro, 2009.

LENZING. Disponível em: <www.lenzing.com/>. Acessado em: Fev. 2018.

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

LINDER, M.; SARASINI, S.; VAN LOON, P. A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545–558, 2017.

LIU, Z.; ADAMS, M.; COTE, R. P. GENG, Y.; LI, Y. Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada. **Resources, Conservation and Recycling**, 2016.

LI, W. et al. Life cycle assessment of end-of-life vehicle recycling processes in Chinadtake Corolla taxis for example. **Journal of Cleaner Production**, n. 117, p. 176–187, 2016.

LOURENÇO, M. S.; CHIARAMONTI, C. O desenvolvimento sustentável e a economia circular: a experiência chinesa. **Unifae**, p. 1–16, 2014.

LUZ, B. et al. **Economia Circular Holanda Brasil: da teoria à prática**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017. 170 p.

MAS, R. et al. **Como o Brasil pode aumentar o valor de sua indústria química - Bain & Company**. Disponível em: <http://www.bain.com/publications/articles/how-brazil-can-raise-the-value-of-its-chemical-industry-forbes.aspx>. Acesso em: Jan. 2018.

METHANUM. Disponível em: <http://methanum.com/pt/solucoes/tecnologiasmethanum/methar/methar-tmo.html>. Acessado em: Fev. 2018.

MOSER, F.; JAKL, T. Chemical leasing—a review of implementation in the past decade. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 8, p. 6325–6348, 2015.

MULROW, J. Disponível em: <www.greenbiz.com/article/how-chicagos-quirkiest-companies-sprouted-circular-economy>. Acesso em: Nov. 2017.

MUSEU DO AMANHÃ. Disponível em: <www.museudoamanha.org.br/pt-br/seminario-economia-circular>. Acesso em: Out. 2016.

NALCO WATER. Disponível em: <www.pt-br.ecolab.com/nalco-water>. Acesso em: Nov. 2017.

NATURA. Disponível em: <www.natura.com.br/>. Acesso em: <www.natura.com.br/>. Acesso em: Nov. 2017.

NATIVE ALIMENTOS. Disponível em: <www.nativealimentos.com.br/en/fluxograma/>. Acessado em: Fev. 2018.

NATURA. **Relatório Anual 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.natura.com.br/sites/default/files/ra_natura_2016_1_.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

NIAGA. **Home | Niaga**. Disponível em: <https://www.dsm-niaga.com/home.html>. Acesso em: Jan. 2018.

NIKE. **Sustainable Innovation Is a Powerful Engine for GrowthSustaniable business Report**. 2015. Disponível em: <NIKE_FY14-15_Sustainable_Business_Report.pdf>.

NIERO, M.; OLSEN, S. I. Circular economy : to be or not to be in a closed product loop ? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 114, p. 18–31, 2015.

NOVO HOLDINGS. Disponível em: : <www.novoholdings.dk/about/holdings/>. Acesso em: Jan. 2018.

NOVOZYMES. Disponível em: < www.novozymes.com/pt-BR/la-pt>. Acesso em: Jan. 2018.

NUFFIC NESO BRAZIL. Disponível em: <: www.nesobrazil.org/Eventos/orange-talks-

pensando-diferente-para-fazer-a-diferenca-1>. Acesso em: JUN. 2017.

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Economic Features of Chemical Leasing. **Series on Risk Management**, n. 37, 2017.

OESTREICH, A. **Chemical Leasing: Negócios inovadores desenhados para o meio ambiente**. Rio de Janeiro: 2014. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_13/2014/11/03/1125/DFE2014anaoestreich.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

OLIVEIRA, M. F. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração. **UFG**, 2011.

ORSTED. Disponível em: < www.orsted.com/en>. Acesso em: Jul. 2017.

OVANESSOFF, A.; PLASTINO, E.; FALEIRO, F. Por que o Brasil precisa aprender a confiar na inovação colaborativa. **Accenture**, 2015.

PANASSOL, M. **Indústria química no Brasil - Um panorama do setor**. 2013. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/quimico-petroquimico/2013/pwc-chemicals-port-13.pdf>.

PAN, S. Y.; DU, M. A.; HUANG, I. T.; LIU, I. H.; CHANG, E. E.; CHIANG, P. C. Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 409–421, 2014.

REDCYCLE. Disponível em: <www.redcycle.net.au/>. Acessado em: Fev. 2018.

RIBEIRO, F. DE M.; KRUGLIANSKAS, I. A Economia Circular no contexto europeu : Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. **Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. 2015.

ROTTERDAM, G. Roadmap Circular Economy Rotterdam. Disponível em: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-e>. Acesso em: set. 2016.

RSA. SAFECHEM. Disponível em: <www.safechem.de/>. Acesso em: Jul. 2017.

SANTOS, V. E. N. **Proposta metodológica para a criação de biorrefinaria de bagaço de cana produtora de bioplataformas químicas: um ensaio preliminar como parte de um sistema de simbiose industrial em Campos dos Goytacazes - RJ**. 2013. 235 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Planejamento Energético - COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

SCHWAGER, P.; DECKER, N.; KALTENEGGER, I. Exploring Green Chemistry,

Sustainable Chemistry and innovative business models such as Chemical Leasing in the context of international policy discussions. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 1, p. 18–21, 2016.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M.. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3ª Ed. Florianópolis: UFSC, 2001.

SINCTRONICS. **Relatório de Sustentabilidade 2016**. 2017. Disponível em: <http://www.sinctronics.com.br/pdf/Sinc_RelatorioSustentabilidade.pdf>. Acesso em: Jan. 2018.

SINCTRONICS. **Empresa**. Disponível em: <http://www.sinctronics.com.br/empresa.html>. Acesso em: Jan. 2018.

SINCTRONICS. **Sinctronics produz filamento para impressão 3D com resina reciclada**. Disponível em:<http://www.sinctronics.com.br/sinctronics_produz_filamento_para_impressao_3d_com_resina_reciclada.html>. Acesso em: Jan. 2018.

SHERWOOD, J. et al. Recirculation: A new concept to drive innovation in sustainable product design for bio-based products. **Molecules**, v. 22, n. 1, 2017.
SILVA, E. L. de. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3ª ed. Florianópolis: **UFSC**, 2001.

SOUZA, B. **Conheça a CBPak, empresa que transforma mandioca em embalagens biodegradáveis**. Disponível em: <projetodraft.com/conheca-a-cbpak-empresa-que-transforma-mandioca-em-embalagens-biodegradaveis/>. Acesso em: Dez. 2017.

SPRING, M.; ARAUJO, L. Product biographies in servitization and the circular economy. **Industrial Marketing Management**, n. August, p. 1–33, 2016.

STAHEL, W. R. Circular Economy. **Nature**, p. 6–9, 2016.

STANSFIELD, K. Lessons from China earthquake. **Structural Engineer**, v. 86, n. 17, p. 14–16, 2008.

STANSFIELD, K. Lessons from China earthquake. **Structural Engineer**, v. 86, n. 17, p. 14–16, 2008.

STATOIL. Disponível em: <www.statoil.com/>. Acesso em: Jul. 2017.

STRUMPF, R. **O capital natural**. Instituto Ethos. 2013. Disponível em: <http://www3.ethos.org.br/cedoc/ocapitalnatural/#.WS1eTEXyvIU>. Acessado em: Mai. 2017.

SYMBIOSIS DK. Disponível em: <www.symbiosis.dk>. Acesso em: Jun. 2017.

TARKETT. Disponível em: <www.tarkett.com.br>. Acesso em: Nov. 2017.

THE COCA-COLA COMPANY. **The Coca-Cola Company anuncia novo plano global para ajudar a criar um mundo sem resíduos**. Disponível em: <https://www.cocacolabrasil.com.br/imprensa/release/the-coca-cola-company-anuncia-novo-plano-global-para-ajudar-a-criar-um-mundo-sem-residuos>. Acesso em: Jan. 2018.

TULLO, A. H. Global Top 50. **Chemical & Engineering News**, v. 95, n. 30, p. 30–35, 2017.

UNILEVER. Sustainable living. Disponível em: <www.unilever.com>. Acesso em: Jul. 2017.

VOJVODIC, T. **Seminário " Reciclagem e Logística Reversa de Embalagens "**. Seminário FIRJAN de Ação Ambiental. Rio de Janeiro: 2016

WIJKMAN, A.; SKÅNBERG, K.; BERGLUND, M. **The Circular Economy and Benefits for Society Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency**. 2015. Disponível em: <http://www.clubofrome.org/wp-content/uploads/2016/03/The-Circular-Economy-and-Benefits-for-Society.pdf>. Acesso em: Fev. 2018.

WITJES, S.; LOZANO, R. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 112, p. 37–44, 2016.

WONGTSCHOWSKI, P. A Indústria Química Brasileira – Desafios e Oportunidades. **Editorial J. Braz. Chem. Soc**, v. 22, n. 4, p. 2, 2011.

YUEN FOONG YU GROUP. Disponível em: <www.yfy.com/en/invest_company_16.html>. Acesso em: <Jan. 2018.

ZINGANO, B. A. **O Papel da Propriedade Intelectual no Escopo da Economia Colaborativa**. 2015. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas. Porto Alegre, 2015.

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DE ESTUDO DE CASOS (PARCIAL)

Nº	Empresa/Instituição	Perfil da empresa/instituição	Site	País	País do caso	Caso	Ciclo	Building block	*Driver*	Processo	Insumo/Matéria-prima	Produto químico	Outro Produto Final	Setor a montante	Setor a jusante	Fonte
1	Balbo Group	**Alimentos**. Produção de cana-de-açúcar e seus derivados (álcool vegetal orgânico, açúcar e outros produtos orgânicos). Produção de PHB (plástico biodegradável) a partir do açúcar da cana.	http://www.nativealimentos.com.br	Brasil	Brasil	Implementou um novo modo de produção: Ecosystem Revitalization Agriculture (ERA). A torta de filtro resultante do tratamento do caldo, a cinza das caldeiras e a vinhaça são reciclados (não sei se passa por um processo de tratamento antes) para fertilização e o bagaço é alimentado diretamente em um forno, produzindo 200 toneladas de vapor por hora. 100% da energia necessária vem das usinas termoelétricas que funcionam com o bagaço de cana-de-açúcar. A energia mecânica gerada pela caldeira é usada para produzir energia elétrica.	B	Ciclo reverso Novos modelos de negócios	Reúso Reciclagem *Biobased industry*	Controle biológico Polimerização	Resíduos e coprodutos de processo Cana-de-açúcar	Fertilizante orgânico PHB	Energia	Agrícola Petroquímico	Transformados plásticos	https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/regenerative-agriculture-at-scale http://www.nativealimentos.com.br/pt-br/
2	Renault Group	**Automobilístico**. Fabricação e montagem de aumtomóveis	https://group.renault.com/en/	França	França	Em parceria com as empresas Indra, Synova and Duesmann, criou uma plataforma experimental para a reciclagem de veículos em fim de vida (ELV), denominada CAR REcycling 95% (ICARRE 95), apoiada pelo EU LIFE Program. Sao incluídas matérias-primas, como **aço, cobre, têxteis e plásticos**, mantendo-os o máximo possível na indústria automobilística	T	Design Novos modelos de negócios Ciclo reverso	Logística reversa	ND	Polipropileno (ou outros plásticos) Espumas e tecidos Metais (cobre, ferro fundido, alumínio e metais preciosos - platina, ródio e paládio)	ND	Peças recicladas	Metalúrgico Petroquímica	Têxtil Transformados plásticos	https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/short-loop-recycling-of-plastics-in-vehicle-manufacturing http://icarre95-programmelife.com/
3	Statoil	**Energia**. Operações offshore em produção de petróleo e gás natural	https://www.statoil.com	Noruega	Dinamarca	**Kalundborg Symbiosis** - vende enxofre para indústria de fertilizante; água de resfriamento, água técnica e gás para DongEnergy, que a vende água do mar,	T	Ciclo Reverso	Reúso Simbiose Industrial	ND	Enxofre Água de processos Energia (gás e vapor)	ND	ND	Petroquímico	N/A	https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/effective-industrial-symbiosis http://www.symbiosis.dk/em
4	Novozymes	**Biotecnologia**. Produção de enzimas, micro organismos e biopolímeros	http://www.novozymes.com	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** - os resíduos orgânicos são vendidos para a indústria de fertilizantes. Os resíduos de levedura da produção de insulina são usados como insumo para produção de biogás. Biomassa e água residual são vendidos	B	Ciclo Reverso	Simbiose Industrial	ND	Levedura	ND	Ração animal	Energia Petroquímico	Alimentos	
5	Argo (Kara/Noveren)	**Recursos renováveis e meio ambiente**	http://www.karanoveren.dk	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** - Responsável pelo tratamento de resíduos do parque industrial e geração de energia destes	B	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Simbiose Industrial Biobased industry Waste-to-energy	ND	Resíduos do parque industrial	ND	Energia	Energia	N/A	
6	Gyproc	**Materiais**. Produtos para ambiente interior	http://gyproc.dk/	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** -compra gás da Statoil e gás de combustão da Dong Energy.	T	Ciclo reverso	Simbiose Industrial	ND	Gás Gás de combustão (SO_2)	ND	Gesso	Extração mineral	Construção civil	
7	Inbicon (subsidiária da Dong Energy)	**Energia**. Soluções tecnológicas em biomassa, bioetanol de 2ª geração e etanol	http://www.inbicon.com/em	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** - compra vapor da Dong Energy, Statoil e Novo Nordisk & Novozymes Land Owner's Association. Vende bioetanol para a Statoil.	B T	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Simbiose Industrial Waste-to-energy	ND	Vapor Biomassa lignocelulósica	Biogás	ND	Energia	ND	
8	Orsted (Dong Energy)	**Petrolífera e energias renováveis**	http://www.dongenergy.com/en	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** - Vende cinza volante para indústria de cimento e para recuperação de níquel e vanádio. Vende gás de combustão (SO2) gerada nos processos para fabricação de gesso pela Gyproc, calor para a piscultora e vapor para Novo Nordisk.	B T	Ciclo reverso Novos Modelos de Negócio	Simbiose Industrial *Waste-to-energy*	ND	Cinza volante Gás de combustão Calor Vapor	Biogás	Gesso Recuperação de níquel e vanádio Energia	Extração mineral Energia	Construção civil	
9	Novo Nordisk	**Indústria farmacêutica**	https://www.novonordisk.com/	Dinamarca		**Kalundborg Symbiosis** - os resíduos de leveduras são vendidos para o mix de ração animal (150 Kt de levedura substituíram 70% de proteína de soja para mais de 800 mil porcos). Vende água residual e de "etanol waste" para Novozymes Wastewater & Biogas. Utiliza vapor condensado e vapor da Novo Nordisk & Novozymes Land Owner's Association.	B T	Ciclo reverso	Simbiose Industrial	ND	Vapor Vapor condensado Resíduo de levedura Água residual	ND	Ração animal	Agropecuária	Alimentos	