

Artigo

A Importância da Química para a Economia Circular

Ferreira, P. G.; da Silva, F. C.; Ferreira, V. F.*

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (1), 452-473. Data de publicação na Web: 13 de dezembro de 2016<http://rvq.sbq.org.br>**The Importance of Chemistry for the Circular Economy**

Abstract: This article aims to contribute to the paradigm shift away from consumerism and extraction of nonrenewable resources, which seeks to develop a symbiosis between a production system and sustainable consumption, alerting the authorities and the population about a new way of thinking about the economy, in contrast to the current linear model. The Circular Economy stimulates new management practices and changes the concept of the relationship between society and the production of consumer goods. This concept of economics covers the recycling, reuse and remanufacturing of industrial waste and refuse (organic and inorganic) and the use of renewable biomass in chemical processes. This new model of sustainability opens up excellent prospects for society in terms of job creation, education, social inclusion and poverty reduction.

Keywords: Recycling; Remanufacturing; Reuse; Biomass.

Resumo

O presente artigo possui como objetivo contribuir para a mudança de paradigma direcionado ao consumismo e extração de recursos não renováveis, que busca desenvolver uma simbiose entre um sistema de produção e o consumo sustentável, alertando as autoridades e a população sobre uma nova forma de pensar na economia, em contraste com o modelo linear vigente. A Economia Circular estimula novas práticas de gestão e muda o conceito da relação entre a sociedade e a produção dos bens de consumo. Este conceito de economia abrange o reciclo, reuso e remanufatura de resíduos industriais e lixo (orgânico e inorgânico) e, ainda, o uso das biomassas renováveis nos processos químicos. Este novo modelo de sustentabilidade abre excelentes perspectivas para a sociedade no que diz respeito à geração de empregos, à educação, inclusão social e redução da pobreza.

Palavras-chave: Reciclagem; remanufatura; reuso; biomassas.

* Universidade Federal Fluminense, Departamento de Química Orgânica, Outeiro de São João Batista, s/nº, CEP 24020-150, Niterói-RJ, Brasil.

✉ ceguito@vm.uff.br

DOI: [10.21577/1984-6835.20170025](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170025)

A Importância da Química para a Economia Circular

Patricia G. Ferreira, Fernando de C. da Silva, Vitor F. Ferreira*

Universidade Federal Fluminense, Departamento de Química Orgânica, Outeiro de São João Batista, s/nº, CEP 24020-150, Niterói-RJ, Brasil.

* cegvito@vm.uff.br

Recebido em 31 de outubro de 2016. Aceito para publicação em 13 de dezembro de 2016

1. Introdução
2. Os Materiais Naturais e as Biomassas
3. Os Paradigmas de Produção de Bens de Consumo
4. A química como Instrumento da Economia Circular
5. Simbiose Industrial
6. Políticas Públicas e a Economia Circular

1. Introdução

“A resposta certa, não importa nada: o essencial é que as perguntas estejam certas”.

Mario Quintana

Considerando que são as perguntas as motivadoras da pesquisa e da inovação no mundo e, que a função primária da economia é transformá-las em negócio provendo a estabilidade social, chega-se aos seguintes questionamentos: - os bens de hoje poderiam se tornarem os recursos de amanhã, a preços de ontem? - Se existe o conceito de segurança alimentar, segurança pública, segurança energética, - por que não segurança dos recursos naturais? - Pode tudo velho ser feito novo outra vez? - Como contornar a falta de matérias-primas não renováveis? - Haverá água e alimentos para 9 bilhões de pessoas em 2050? - Como

enfrentar o aumento de energia em 2050 de 40-60 Terawatts? - Qual é a matriz energética ideal do futuro? - De energia renovável? - Como podemos reduzir o consumo de combustível? - De que material os automóveis do futuro serão feitos? - Quais serão as arquiteturas e os materiais para diminuir o consumo de energia? - Há espaços para lixões no futuro? Porém, a pergunta mais relevante é: - o que o mundo planeja para seu futuro?

Existem algumas respostas relevantes para essas e outras perguntas, como as nove principais tecnologias da indústria 4.0.¹ No entanto há muitos cientistas incentivados por políticas públicas que estão solucionando esses e outros problemas gerando empregos e riquezas, mas ainda existem perguntas a serem feitas e se aprender com as respostas. Em realidade, isso quer dizer que é preciso transformar os problemas em oportunidades de negócios e construir novas tecnologias que sejam limpas e sustentáveis.

Este artigo pretende discutir, como a escolha correta da concepção de produção de bens de consumo e como a química poderá ajudar a responder tais questões, traçando um caminho seguro para uma sociedade com modo de vida sustentável. Serão apresentados exemplos positivos que já demonstraram ser este caminho possível e avante para um futuro sustentável. Dentro deste contexto, consideramos que a química pode, e já está contribuindo com inovações em produtos e processos de preparação de novos materiais para a fabricação de bens manufaturados mais adequados aos processos de reutilização e reciclagem.

2. Os Materiais Naturais e as Biomassas

Os materiais naturais são fundamentais para a economia, o crescimento econômico e a geração de novos empregos no mundo. São essenciais, também, para manter e melhorar a nossa qualidade de vida. Desde os tempos pré-históricos, a humanidade sempre se beneficiou dos recursos naturais como a madeira, metais, um conjunto exaustivo de minerais não metálicos (ex. gesso, grafite, carvão ou turfa) e muitos materiais orgânicos como óleos e ceras de vegetais e animais. Smil em seu recente livro "Making the Modern World - Materials and Dematerialization"² mostrou que a extração intensa de recursos naturais já era praticada pelos povos mais antigos mesmo sem as ferramentas tecnológicas atuais. Há 45 anos, Meadows em seu livro "The Limits to Growth" já discutia sobre os limites do crescimento, prevendo que em pouco tempo a humanidade iria esgotar vários dos recursos naturais. As ideias contidas nesse livro continuam ainda sendo atuais para se entender a questão sobre o desenvolvimento sustentável e os modelos econômicos contemporâneos.^{3,4}

Esta extração contínua e crescente dos recursos naturais aos longos dos anos, e intensificada nas últimas décadas está

levando à exaustão de alguns materiais. A segurança dos recursos naturais é essencial para a futura competitividade e resiliência dos países e das empresas que utilizam esses recursos não renováveis. Já existem várias matérias-primas não renováveis que se encontram em estado crítico devido ao crescimento no número de produtos usando esses materiais. Esta lista, ainda não inclui petróleo e gás natural, mas a produção do carvão mineral que começa a dar sinais de declínio principalmente devido a muitos questionamentos sobre seu uso. O declínio em muitos países se deve à substituição motivada por políticas sociais ou ambientais, ou à competição econômica com petróleo e gás. Por exemplo, muitas empresas produtoras de carvão quebraram recentemente, nos Estados Unidos, por causa do gás de xisto. Porém, há importantes minerais e elementos químicos nessa lista: boratos, grafite, fluoroespato (>97 % de CaF_2),⁵ rocha de fosfato ou fosfática,⁶ antimônio, berílio, cromo, cobalto, prata, gálio, índio, germânio, magnesita (mineral MgCO_3), magnésio natural, silício metálico, tungstênio, etc. No caso da prata há estimativas de que em 50 anos não haverá mais deste metal para extração.⁷

Toda essa demanda por materiais básicos para a produção onde os preços sobem numa escala muito superior as previsíveis torna o trabalho de reciclagem, transformação e de reaproveitamento uma oportunidade satisfatória. Por exemplo, a borracha subiu 170 % e o aço subiu 260 % desde o ano 2000.

Por outro lado, vemos um descaso muito grande no uso e reaproveitamento dos materiais importantes. O caso dos plásticos (termo geral utilizado para os mais diversos materiais poliméricos), por exemplo, há uma ampla campanha para o seu reaproveitamento e reuso. Muito se avançou nas últimas décadas. Porém, ainda há um terço dos resíduos de plástico em todo o mundo não recolhidos ou geridos⁸ e o passivo residual deste material é muito alto.

Nos oceanos, existem cerca de 269 mil toneladas de plásticos flutuante (tanto pequenos como grandes pedaços) e em

diferentes concentrações, dependendo do lugar onde seja feita a medição.⁹ Dentro deste contexto, os microplásticos (<5 mm)^{10,11} nas águas é um enorme problema de saúde pública e ambiental, pois causam uma perda de 13 bilhões de dólares por ano atividades pesqueiras.¹² Existem 5 trilhões de microplásticos flutuando nos oceanos ou depositados nas praias. (Figura 1). Eles são formados por degradação fotoquímica e abrasão em que uma parte fica em suspensão na água e outra parte se deposita nos fundos dos rios, lagos, oceanos e praias.

Como são confundidos com alimentos devido ao seu tamanho, além de coloridos, entram na cadeia alimentar dos peixes, crustáceos, e, conseqüentemente, pássaros que vivem nesses habitats. Adicionalmente, ainda há contaminação cruzada com os humanos que também se alimentam de frutos do mar. É importante ressaltar que mais recentemente essas microesferas poliméricas passaram a ter novas fontes de contaminação do meio ambiente através de cosméticos (xampus, cremes dentais, sabões, cremes esfoliantes, etc.) e outros produtos industrializados.



Figura 1. Microplásticos coletados na Praia do Francês em Itaipuaçu, Maricá (22°58'26.1"S e 42°54'47.0"W)

3. Os Paradigmas de Produção de Bens de Consumo

Como muitos materiais naturais não renováveis estão chegando próximo da exaustão surgiu um novo paradigma para a produção de bens conhecido como Economia Circular¹³ que muda o conceito da relação entre a sociedade e a produção dos bens de consumo. Este conceito de economia abrange o reciclo/reuso/remanufatura de resíduos industriais e lixo (orgânico e inorgânico), mais recentemente também o uso das biomassas renováveis nos processos químicos.

Para melhor compreensão desse paradigma é preciso entender sobre a produção de bens de consumo e sua relevância para a sociedade. Existem três tipos de economia de produção industrial: linear, desempenho e circular.

A economia linear é quase como uma linha reta, isto é, flui seguindo em apenas uma direção. Nesse modelo de economia de produção, originado na revolução industrial, os recursos naturais são transformados em produtos e vendidos ao consumidor, após uma série de etapas que agregam valor ao produto. Ela é impulsionada pela síndrome do "mais-melhor-rápido-seguro", ou seja, do consumismo desenfreado. As empresas ganham dinheiro com a venda de grandes

volumes de mercadorias e se eximem de qualquer responsabilidade pela destinação dos possíveis rejeitos e do produto propriamente dito, no caso de bens mais duráveis. A responsabilidade dos resíduos

passa para o comprador, que agora é dono e usuário e, conseqüentemente, é ele quem deverá decidir se os produtos velhos serão descartados, reutilizados ou reciclados (Figura 2).



Figura 2. Trajetória da produção na economia linear

Nesse modelo não se considera o fato das empresas serem responsáveis pelos seus produtos (engenharia reversa). Atualmente apenas embalagens de agrotóxicos e óleo lubrificante são recolhidas pelos fabricantes, porém, lixo eletrônico, embalagens plásticas, lâmpadas fluorescentes (que contém vapor de sódio, mercúrio ou mista), para as quais a publicação da consulta pública estava prevista para início de 2013; medicamentos vencidos e baterias dependem da consciência ambiental não-obrigatória dos fabricantes. A geração do lixo eletrônico é um caso emblemático. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de lixo eletrônico, com mais de 1,4 milhão de toneladas desse material produzido a cada ano e crescendo exponencialmente.

A Economia Desempenho dá um passo adiante com a venda de bens ou produtos como serviços através de alugar, arrendar e/ou compartilhar modelos de negócios e tecnologia do conhecimento.

O fabricante mantém a propriedade do produto e seus recursos incorporados e,

portanto, carrega a responsabilidade pelos custos dos resíduos. Ele é quem decidirá qual será a destinação final do produto. Fundamentalmente, o consumidor paga por uma função específica que esteja embutida no produto. Por exemplo, numa passagem aérea se paga pela viagem e não pelo produto que continua de propriedade do dono do avião. Além de projetar a reutilização, a Economia Desempenho se concentra em soluções em vez de produtos, e faz com que os seus lucros a partir da eficiência, como por exemplo, a prevenção de resíduos.^{14,15} Um exemplo bem recente que crescendo em vários países é o aluguel de roupas. - Por que pagar por jeans caros quando você pode alugá-los de forma barata? O empresário holandês Bert van Son, que já possui a linha de jeans orgânicos e reciclados chamado de Mud Jeans, lançou recentemente um serviço que permite aos clientes alugar um jeans. Esta linha de pensamento econômico de desempenho está crescendo e está aumentando a fidelidade do cliente por determinadas marcas. Outro exemplo interessante é o da Autolib que é

um serviço francês de compartilhamento de carros^{16,17} que oferece às pessoas associadas ao serviço, a mobilidade urbana sem complicações usando pequenos carros elétricos que têm baixos custos de manutenção e pode ser recarregada em espaços de estacionamento.

Esse tipo de modelos de negócios põe em risco os fundamentos da economia linear, pois o consumidor não tem mais a propriedade do bem, mas desempenho e serviço, no caso do carro, a mobilidade. A Figura 3 mostra de forma esquemática os principais objetivos da Economia Desempenho.



Figura 3. Principais objetivos da Economia Desempenho

A Economia Circular é como um lago onde o reprocessamento dos produtos melhora os níveis econômicos, economiza matérias-primas não renováveis, gera empregos, economiza energia e reduz o consumo de recursos naturais. Na Economia Circular os produtos que estão no final de sua vida útil são transformados em recursos para outros produtos, fechando o ciclo em ecossistemas autossustentáveis minimizando a geração de resíduos, procurando a sua maior utilização (Figura 4). Em outras palavras, os negócios sustentáveis geram riquezas e criam empregos e, ainda, melhoram a qualidade de

vida.¹⁸ Alguns são muito otimistas e dizem que “empresas e governos se preparam para a economia circular, que usa tecnologia e responsabilidade para acabar com o lixo gerado pela sociedade. Nada se perde”.¹⁹

Este tipo de economia tende a se expandir, pois o planeta não aguentará por muito tempo esse consumismo exacerbado promovido pela Economia Linear que leva a criação de lixões em praticamente todos os estados do Brasil. Lixão pode ser solução, mas atualmente é problema de saúde pública.²⁰

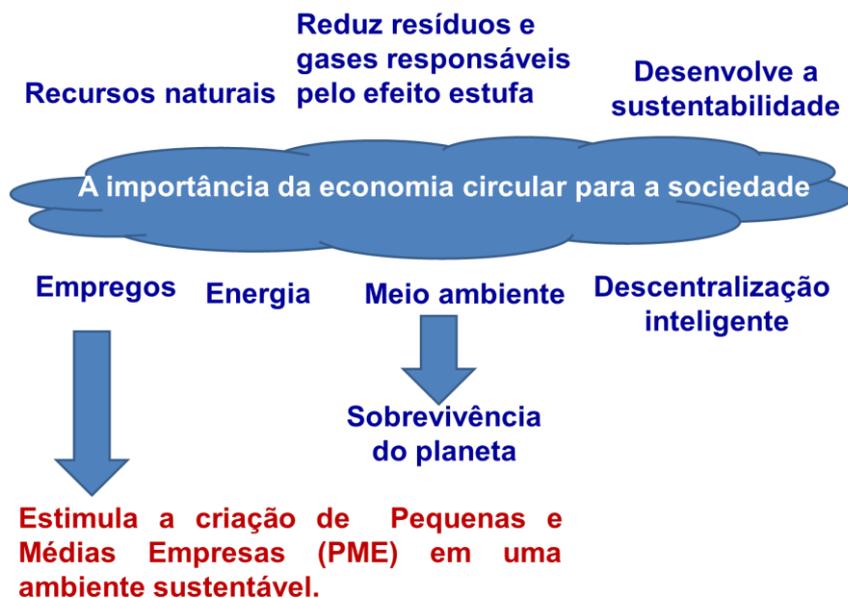


Figura 4. Algumas vantagens com a Economia Circular

Existem muitos exemplos que poderiam ser apresentados para ilustrar esse paradigma. Um caso clássico que ilustra muito bem como a Economia Circular transformou o problema dos pneus usados em grandes oportunidades. Esse tipo de resíduo é difícil de ser eliminado por não ser biodegradável e se acumular em grande volume, além de acumular água no seu interior e propiciar local para proliferação de mosquitos e outros insetos perigosos. Em 2015 foram vendidos no Brasil 71,9 milhões de pneus e descartados 45,7 milhões conforme destaca recentemente o artigo da revista Pesquisa da Fapesp.²¹ Porém, menos da metade acaba por serem reciclados (recauchutagem) ou transformados em outros produtos como pisos de quadras esportivas e recreativas, grama sintética, tapetes de automóveis, solas de sapato, produção de concreto mais flexível, assim como, sandálias, cordas ou para-choques.

Outra parcela do que é recolhido é utilizada como combustível alternativo em fornos da indústria de cimento. É importante ressaltar que em 2013, a Reciclanip coletou e destinou de forma ambientalmente correta mais de 404 mil toneladas de pneus inservíveis.²²

Adicionalmente, há uma produção considerável de materiais artísticos (Figura 5), cadeiras, mesas, jardinagem, etc. Esses exemplos demonstram como um produto que chegou ao fim de sua vida útil pode ser reaproveitado em muitos outros artefatos que terão outras designações com durações variáveis. O que falta nesse ciclo, em nossa opinião, é o compromisso de quem fabricou os pneus serem os responsáveis pelo seu recolhimento. Quem produz um bem que não seja biodegradável pela natureza deve ser responsabilizado por este e não deixá-lo se acumular no meio ambiente e causar danos.



Figura 5. Trabalho artístico de Marden Matos, Teresópolis, RJ

Um produto que consideramos que foi equívoco estratégico sua introdução no mercado são as embalagens multilaminadas, conhecidas como de longa-vida, que só favoreciam as empresas. De início era dito que não havia tecnologia para reciclagem desse resíduo pós-consumo e sua única reutilização era vista em microescala em trabalhos artísticos, por exemplo. Muitos defenderam que deveriam ser banidas do comércio e não parar nos aterros como materiais persistentes e impermeabilizadores do solo. Porém, começaram a surgir novas tecnologias como alternativas para separar o alumínio do papel. Em realidade, apesar de ser um material persistente e problemático ele é rico em alumínio e celulose.²³ A empresa Tetra Pak, que produz essas embalagens, hoje faz engenharia reversa e recicla, das próprias embalagens, as fibras, o plástico, o papelão e o alumínio.²⁴ O polímero e o alumínio das embalagens são usados, juntos ou separados, como material para novos produtos. Numa outra vertente, a embalagem inteira é usada para produzir material para novos produtos, sem a separação do papel, do plástico e do alumínio. Esse exemplo demonstra que não há vantagem econômica que se sobreponha as necessidades ambientais da sociedade. Este é um pensamento antigo e politicamente incorreto. Se essa embalagem não era ideal para o reciclo/reuso, ela deveria ser substituída por outra. Alternativamente, as empresas desenvolveram uma nova

tecnologia reciclo/reuso acoplada com uma logística de coleta e as mantiveram no mercado.

A soja é uma biomassa renovável e tem uma cadeia produtiva muito interessante e bem ilustrativa do conceito de Economia Circular.^{25,26} A produção mundial de soja é de 312,362 milhões de toneladas (fonte USDA) e os EUA o maior produtor mundial do grão com a produção de 106,934 milhões de toneladas.²⁷

A soja é, no Brasil, um dos principais itens da produção agrícola, sendo segundo maior produtor mundial, produzindo 95,631 milhões de toneladas (safra 2015/2016) e os estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás são estados mais produtores desta oleaginosa. Do grão da soja é possível extrair o óleo de soja e o seu resíduo é a principal fonte de proteína para a indústria da alimentação animal.²⁸ A maior parte do óleo de soja é utilizada em alimentação e uma pequena fração do lipídio complexo, lecitina de soja, é extraído do óleo através do processo de precipitação de vapor. A lecitina utilizada principalmente pelas indústrias farmacêutica, química, de tintas, de cosméticos e de alimentos, como por exemplo, emulsificante em alimentos e tintas.²⁹ Uma parcela de aproximadamente 20 % do óleo é utilizada para produzir biodiesel. Isso contribui muito para aumentar ainda mais a demanda por soja. A demanda mundial de biodiesel gira em torno de 25

milhões de toneladas métricas. Sua produção utiliza 11 % do volume mundial de óleos vegetais.

O óleo de soja utilizado em frituras é um resíduo altamente poluidor de águas, por exemplo, e precisa ser reutilizado para outros

fins. No momento as tecnologias oferecem duas alternativas: transformar em biodiesel³⁰ ou em sabão.³¹ A Figura 6 mostra, de forma resumida, como a cadeia produtiva da soja se enquadra dentro do conceito de Economia Circular.

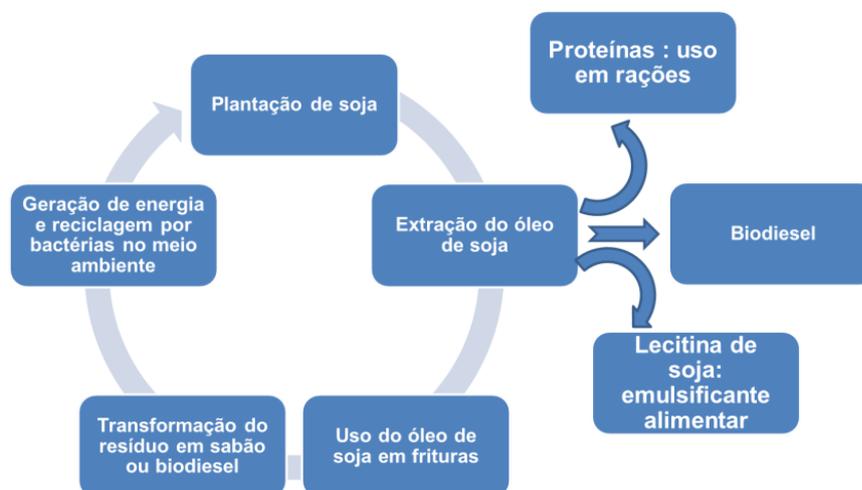


Figura 6. Economia Circular da cadeia produtiva da biomassa Soja

A reciclagem de roupa baseada em algodão diminui as áreas de plantações, o uso de inseticidas, a quantidade de água necessária na produção e aumenta o progresso dos negócios e aumenta o emprego. O jeans é o tipo de roupa mais utilizada no mundo e a sua reciclagem se tornou um excelente negócio.

Os jeans são manufacturados com algodão (composto por 100 % de celulose, o carboidrato mais abundante no planeta) e sua produção consome 8.000 L de água por hectare. O algodão é conhecido como a “cultura suja”, pois ocupa apenas 2,4 % das terras mundial cultivada, mas é responsável por 24 % do mercado dos inseticidas do mundo e 11 % da venda de pesticidas globais. É o cultura mais intensiva em pesticidas do planeta. Portanto, ao se utilizar o algodão reciclado é possível economizar cerca de 40 % de água potável e, ainda, não se usa pesticidas ou inseticidas e se elimina o descarte de roupas em aterros. Cabe ainda lembrar-se do desastre que ocorreu no mar de Aral,³² lago localizado entre o Cazaquistão e o Uzbequistão, que perdeu 60% da área e

80 % do volume. O problema foi oriundo pela decisão da URSS que desviou os rios que o alimentavam para irrigar plantações de algodão, prejudicando o solo e exterminando cerca de 80% das espécies animais.

A empresa MUD Jeans³³ foi a empresa pioneira na reciclagem de jeans e está estabelecida em diversos países da Europa sendo atualmente a única marca que funciona completamente de acordo com os princípios da Economia Circular. O design elegante e moderno dos jeans e os benefícios para o ambiente fez com que a empresa ganhasse vários prêmios internacionais de liderança e sustentabilidade. Como a fibra reciclada perde um pouco de sua qualidade devido ao processo de “trituração” que reduz o comprimento da fibra, a tecnologia de reutilização se utiliza um pouco de algodão com orgânico com fibra virgem para regenerar a qualidade da do fio a ser fabricado.

A Economia Circular não é um conceito totalmente novo, uma vez que já está

implantada em diversas cidades e distritos industriais, mas ganha cada vez mais a atenção como uma forma potencial para a sociedade aumentar a prosperidade, reduzindo demandas sobre matérias-primas finitas e minimizando as externalidades negativas. Ela requer uma abordagem sistêmica e vai além de melhorias incrementais ao modelo existente, bem como o desenvolvimento de novos mecanismos de colaboração. Ela muda a lógica econômica, porque substitui o modo de produção com as ideias.

Os modelos de negócios mais comuns da economia circular se dividem em dois grupos: 1) reutilização para promover e prolongar a vida útil através de reparação, remanufatura, atualizações e modernizações e; 2) transformar produtos antigos em novos com recursos da reciclagem dos materiais. Este pode ser resumido em um ciclo onde não há início ou fim, no entanto, precisa girar com maior velocidade em torno dos quatro “R”, conforme a Figura 7.



Figura 7. Os quatro “R” do ciclo da Economia Circular

4. A química como Instrumento da Economia Circular

A Química é a parte da ciência que estuda a constituição da matéria, suas propriedades, transformações, as leis que as regem, as mudanças sofridas por ela durante as reações químicas, a relação com a absorção emissão de ondas eletromagnéticas e produção e estocagem de energia. Esta é dependente da criatividade e conhecimento geral dos pesquisadores, sendo um importante instrumento de desenvolvimento da sociedade moderna. Não existe país desenvolvido sem um PIB químico pujante e não existe Economia Circular sustentável sem um setor químico consciente que olhe para o futuro que queremos. Todas as perguntas

elencadas no primeiro parágrafo desse artigo foram, e continuam sendo, alvos dos estudos químicos.

Assim, considerando que a química é capaz de responder as perguntas formuladas, podemos ampliar os objetivos da química, como sendo a ciência que busca entender a forma e a função das substâncias e compreender como elas interagem entre si e com os organismos e, portanto, busca melhorar a qualidade de vida da humanidade.

O setor químico funciona como uma indústria que agrega valor às matérias-primas e, às vezes, não é vista em muitas áreas, porém, a sua existência é real e muitas vezes a sociedade possui uma percepção distorcida da Química, pois não entendem os benefícios dos bens que estão sendo consumidos.³⁴

Uma parte da população leiga e alguns ambientalistas equivocadamente rotulam a química como a causadora dos grandes problemas ambientais da humanidade. Em parte, há razão no que dizem, pois muito materiais persistentes, que continuam causando danos ambientais, foram produzidos num tipo de Economia Linear, onde os fabricantes não se preocupavam com o que colocavam no mercado.

Algumas estimativas dizem que existem cerca de 80.000 ou mais produtos químicos em uso^{35,36} e milhares são usados numa base diária. Para a maioria desses produtos químicos não há quantidade suficiente de informações sobre a sua TOXICIDADE para seres humanos ou para o ambiente, sua DEGRADABILIDADE (biológica ou não), CAPACIDADE DE RECICLAR ou reutilizá-los, ou a sua RENOVABILIDADE.

Por outro lado, sem química a longevidade e a qualidade de vida seriam drasticamente reduzidas. Como disse o Prof. Cesar Zucco “Um mundo sem a ciência Química seria um mundo sem materiais sintéticos. Isso significa sem telefones, sem computadores, cinema, aspirina, antibióticos, detergentes, xampu ou pasta de dente, sem

cosméticos, contraceptivos, ou papel e, assim, sem jornal ou livros, colas ou tintas. Sem o desenvolvimento proporcionado pela Química, a vida, hoje, seria chata, curta e dolorida! ”.³⁷

A indústria química é fundamental para o desenvolvimento da Economia Circular e, se continuar inovando, seu papel na manutenção e fortalecimento da Economia Circular vai continuar crescendo. Essa indústria tem o poder de desenvolver materiais ou blocos de construção para a maioria dos bens manufaturados sejam eles utensílios, peças, materiais de construção, cosméticos ou fármacos para os medicamentos. Porém, é necessário avançar nas questões de sustentabilidade através do uso dos conceitos de Química Verde.

A indústria química é um setor estratégico em todas as economias, que tem forte impacto em praticamente todas as cadeias produtivas (Figura 8).³⁸ Esse setor industrial é o quarto maior brasileiro (10% do PIB industrial do País) sendo responsável por 2 milhões de empregos diretos e indiretos. Em 2015 teve um faturamento anual de 367,7 bilhões, com um crescimento de +7,6% sobre 2014.³⁹



Figura 8. Atuação da Química em outros setores econ micos⁴⁰

Vários aspectos importantes atuais emergem das inovações criadas pela química, quais sejam: 1) desenvolver produtos químicos que serão utilizados para a produção de bens de consumo que ao final da sua vida útil possam se decompor no meio ambiente ou reutilizados ou reciclados (ciclo biológicos); 2) reduzir ou eliminar o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos; 3) intensificar e integrar as fontes de matérias-primas renováveis nos seus próprios processos e em colaboração com outros parceiros industriais; 4) produzir fármaco com menor número de etapas e alta economia atômica e 5) utilizar matéria-prima alternativa secundárias mais sustentáveis como resíduos de biomassa (ciclo técnico) lixo industrial/doméstico. Esses aspectos do planejamento dos produtos químicos devem preceder a sua introdução no mercado.

Nas sínteses orgânicas complexas, principalmente para a produção de fármacos, existem muitos desafios para se diminuir um número de resíduos e aumentar a economia energética da produção. A ideia geral é que

não formar resíduos é melhor do que reciclar/reusar/remanufaturar. Com os avanços atuais da Química Verde o sonho de Hendrickson de uma síntese ideal está se tornando realidade.⁴¹ A concepção de se criar esqueletos complexos em sequências de reações de construção sucessivas que conduzem diretamente à estrutura do alvo, não apenas seu esqueleto, mas também sua funcionalidade corretamente posicionada.

No passado, as matérias-primas naturais orgânicas eram obtidas principalmente de materiais fósseis (por exemplo, carvão, óleo e gás natural). Aprendemos nos últimos 100 anos como converter essas matérias-primas em produtos químicos intermediários, da química fina e materiais poliméricos para uso comercial. Contudo, no futuro espera-se que os materiais fósseis diminuam de importância, e haja um aumento progressivo no uso de matérias-primas renováveis para a indústria química.⁴² Assim, é necessário aprender como transformar a biomassa renovável em novos produtos químicos orgânicos.⁴³⁻⁴⁷

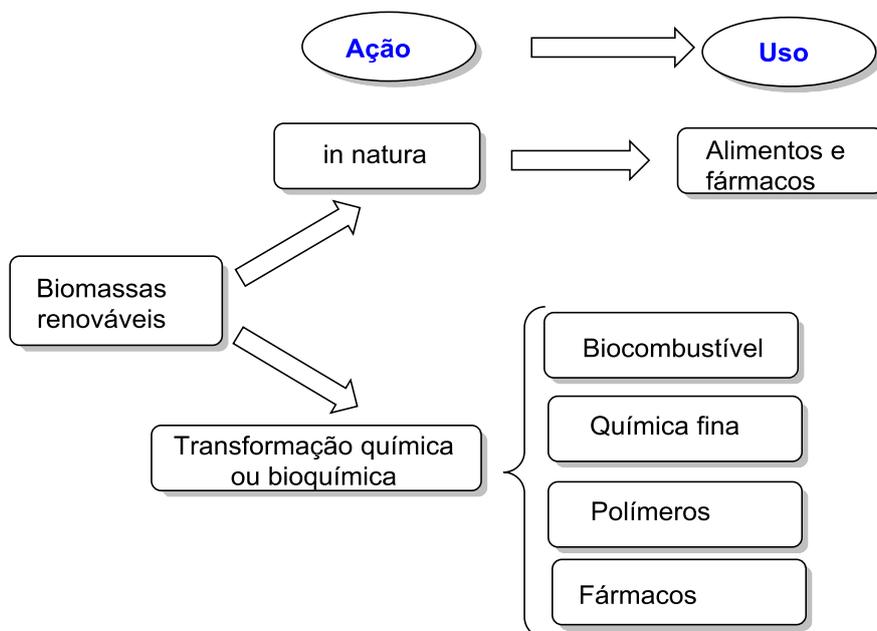


Figura 9. Estratégias de utilização de biomassa renovável

A maioria dos países tem biomassa que pode ser recolhida e utilizada. Apesar dos métodos de cultivo ou de processamento serem diferentes,⁴⁸ assim como as plantas ou as espécies, todos têm biomassas. A maioria das biomassas contém carboidratos (incluindo celulose, hemicelulose, amido e sacarose), lipídios, lignina, proteínas, aminoácidos, quitina ou terpenos. Estes materiais podem ser transformados em muitos intermediários e produtos da química fina, e podem formar uma plataforma para o desenvolvimento de novos negócios que são importantes para o futuro da química verde.^{49,50} Como a maioria desses materiais está presente em todos os países, as tecnologias desenvolvidas em um país podem ser aplicadas a outro país, permitindo colaborações frutíferas.

As indústrias químicas estão tentando se adaptar à realidade de um mundo renovável e procurando entender o ciclo de vida dos produtos químicos. Usar biomassas ou produtos derivados delas é um sinal de responsabilidade social. Dentro desse contexto, em 2004 os laboratórios Pacific Northwest National (PNNL) e National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos EUA elaboraram um relatório (DoE report) sob título⁵¹ "Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas" onde se identificou doze plataformas

químicas viáveis, que podem ser produzidas a partir de açúcares por conversões químicas ou biológicas. Estes blocos de construção são moléculas com múltiplos grupos funcionais e podem ser usados para outras transformações para um número de produtos químicos ou a produção de materiais de alto valor em novas famílias de moléculas úteis.⁵²⁻

⁵⁵ Até o momento, considerando as regras para inclusão para seleção das substâncias, foram selecionados doze blocos de construção renováveis: 1,4-diácidos (succínico, fumárico e málico), ácido 2,5-furano dicarboxílico, ácido 3-hidroxiopropiônico, ácido aspártico, ácido glucárico, ácido L-glutâmico, ácido itacônico, ácido levulínico, 3-hidroxi-butirilactona, glicerol, sorbitol e xilitol/arabinitol. Essas substâncias são únicas e seriam difíceis de sintetizar a partir de matéria-prima fóssil. Para exemplificar esse conceito de bloco de construção renovável tomamos o exemplo ilustrado na Figura 10 que mostra algumas substâncias que podem ser obtidas a partir de ácido L-glutâmico, que por sua vez é produzido por processo fermentativo em alta escala pela empresa Ajinomoto Company. É importante destacar que a maioria desses blocos renováveis pode ser obtida a partir da sacarose que é o dissacarídeo renovável mais abundante do mundo.⁵⁶

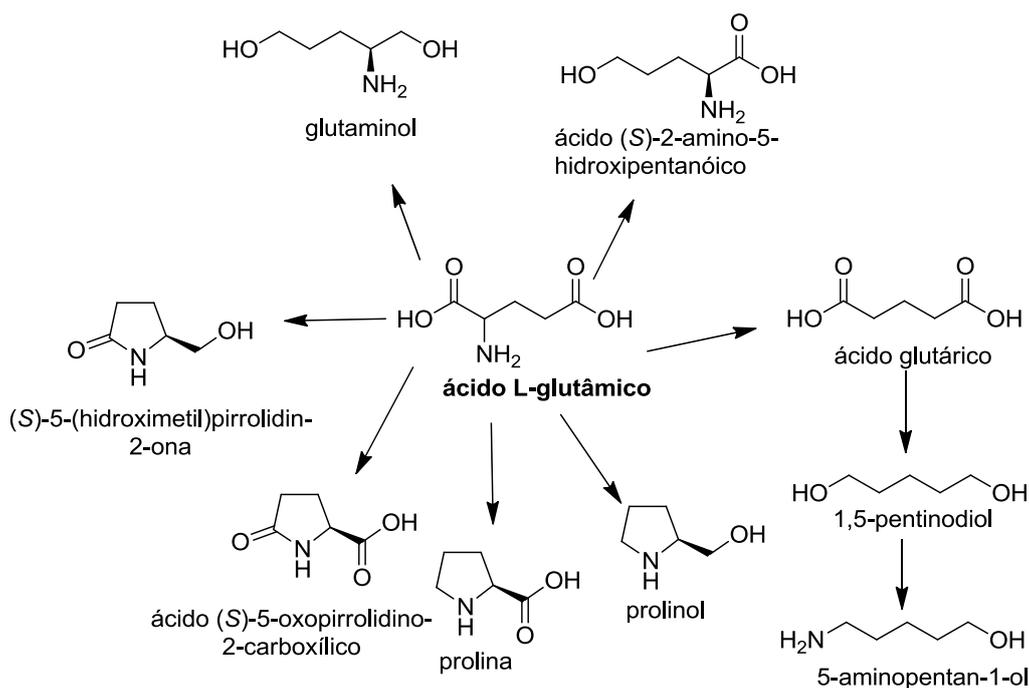


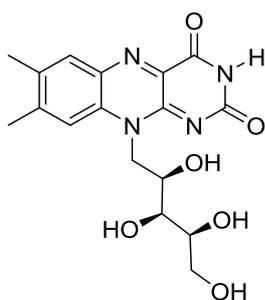
Figura 10. Substâncias úteis obtidas a partir do ácido L-glutâmico

Para a redução de resíduos oriundo das sínteses é necessário um replanejamento integral do processo de produção. Um dos aspectos desse replanejamento é a redução do número de etapas do processo. Um caso interessante que se enquadra nesse paradigma é a preparação industrial de riboflavina ou vitamina B2. Esta substância é uma vitamina endógena que atua no corpo humano favorecendo o metabolismo de gorduras, açúcares e proteínas. Encontra-se em muitos alimentos, mas também é comercializada na forma de preparação oral em combinação ou não com outras vitaminas. A sua síntese clássica é realizada

em quatro reações separadas a partir de D-ribose que por sua vez é obtida por fermentação a partir de D-glucose. Cada uma dessas etapas gera uma quantidade de resíduos considerável, sendo alguns reagentes tóxicos que tornam essa rota sintética menos atraente.⁵⁷ Outros estudos foram desenvolvidos para a produção mais verde desta vitamina em melhores condições de reação. Uma nova rota bioquímica⁵⁸ foi desenvolvida em uma única etapa pela BASF em substituição antiga. Ela não apresenta melhor rendimento químico, mas sem dúvida é mais sustentável (Figura 11).

Rota Sintética

D-Ribose



Riboflavina

Rota Biossintética

fermentação
A. gossypii
processo BASF

Glicose,
melaço ou
óleo de soja

Figura 11. Processo BASF bioquímico de produção da riboflavina

O ácido láctico foi descoberto em 1780 pelo químico sueco, Carl Wilhelm Scheele, que o isolou do leite azedo como um xarope marrom impuro e deu-lhe um nome baseado em suas origens. O L(+)-ácido láctico pode ser produzido naturalmente ou sinteticamente. Ácido láctico comercial é naturalmente produzido por fermentação de carboidratos como glucose, sacarose, ou a lactose. O ácido láctico pode ser poli condensado por aquecimento formando o poliéster: ácido poliláctico (PLA). Esse polímero é biodegradável e derivado de fontes renováveis, como o amido de milho (nos Estados Unidos), as raízes de mandioca, batatas ou amido (principalmente na Ásia),

ou cana-de-açúcar (em outros países). Em 2010, o PLA teve o segundo maior volume de consumo de qualquer bioplástico do mundo sendo transformados em diversos bens como garrafas, copos de iogurte e doces, sacos de resíduos de alimentos, revestimentos de papel e papelão, fibras para vestuário, tapetes, lençóis e toalhas, e revestimentos de parede, suturas, materiais protéticos (Figura 12). Esse bioplástico se degrada em condições ideais de compostagem em menos de 60 dias. Esse é um bom exemplo de produção em que o resíduo é totalmente reciclado pela natureza que podemos chamar de economia restaurativa pela natureza.

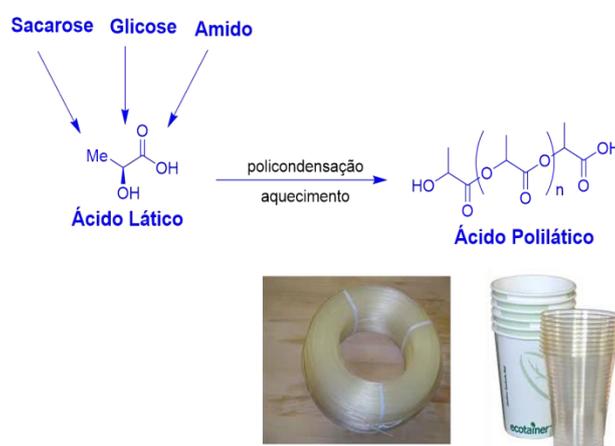


Figura 12. Bioplástico PLA e sua utilização na produção de bens

5. Simbiose Industrial

É um conceito relativamente antigo⁵⁹ e estreitamente relacionado com o paradigma da Economia Circular. Esta concepção também pode ser denominada de ecologia industrial considerando que é um tipo de ecologia em alta escala. O princípio básico é que o fluxo de materiais e energia deve circular localmente em regiões e distritos industriais (eco parque industrial).⁶⁰ Esse conceito é uma clara alusão aos sistemas biológicos simbiotes em que espécies trocam segurança, materiais e informações de forma que se beneficiem mutuamente.

Neste paradigma, as indústrias que

tradicionalmente ficam separadas por quilômetros de distância se reúnem de forma coletiva interagindo com projetos e troca de materiais, recursos humanos, energia, água e os resíduos. A vantagem competitiva dessas empresas é muito maior, haja vista, que os processos colaborativos sinérgicos podem ser remodelados com maior facilidade para atenderem as novas demandas.

O primeiro exemplo desse tipo de empreendimento e, o mais reconhecido no mundo, começou a operar em 1980 no eco parque industrial da cidade de Kalundborg na Dinamarca. As condições mais importantes para o funcionamento desse tipo de empreendimento são água e energia. Nesse distrito industrial, as empresas partilham as

águas subterrâneas, águas superficiais e águas residuais, eletricidade e trocam uma variedade de resíduos que se tornam matérias-primas em outros processos. O governo criou uma usina termelétrica e, posteriormente, se incorporou a esse parque uma refinaria de petróleo e uma indústria farmacêutica. Essa associação atraiu outras empresas públicas e privadas de produção de enzimas, plástico, reaproveitamento de enxofre, cimenteira, fazendas, criadouros de peixes, etc. Nesse modelo simbiótico os resíduos gerados por uma empresa se tornam matéria-prima para outra, exatamente como preconiza a Economia Circular.

Considerando o tempo e o sucesso desse empreendimento que gera riqueza e empregos, além de proteger o meio ambiente, se inspirou no sucesso gerado em outros países. No momento, a China, que possui graves problemas de poluição causada pela produção industrial, tenta implantar um parque industrial bilateral entre China-Cingapura no distrito de Nova Suzhou (China-Singapore Suzhou Industrial Park) na província de Jiangsu. Atualmente esse parque industrial reúne 4 mil empresas em uma área de 278 quilômetros quadrados voltado para a produção de eletrônicos, biotecnologia e medicamentos.^{61,62} Em princípio as indústrias que se estabelecerem nesse parque industrial devem seguir os princípios da economia circular. Por exemplo, os circuitos eletrônicos dos equipamentos devem ser montados com cobre reciclado.

Apesar dos percalços de um empreendimento grandioso entre a China e Cingapura, o parque industrial teve um crescimento econômico de 8,3 % em 2014. Porém, não existem muitos resultados desse empreendimento eco industrial no que diz respeito à aderência aos princípios da economia circular.

6. Políticas Públicas e a Economia Circular

No Brasil foram criados polos e distritos industriais em praticamente todas as prefeituras. A maioria desses polos não se manteve funcional e nenhum se tornou um bom exemplo eco parque industrial, onde o conceito de simbiose industrial e Economia Circular poderiam ser destacados. Talvez o pequeno distrito industrial de Vespasiano em MG poderia ser apresentado como exemplo. Há polos que foram criados em que algumas empresas fazem simbiose por interesses econômicos, um exemplo é o Polo de Camaçari na Bahia. No entanto, as experiências no Brasil são bastante modestas.

O Brasil deveria ter uma política de estado forte para os polos industriais que incluísse medidas de incentivo à economia circular e estabelecesse prioridades em curto prazo, pois os problemas são cumulativos. Junto com essa política deveria haver incentivos fiscais para empresas que promovam o reaproveitamento de resíduos e simbiose industrial entre elas. O Polo industrial eco sustentável deveria ser o lócus que serviria de modelo para novos experimentos em municípios menores. O pensamento de que um polo deve gerar recursos e empregos para os municípios, nos dias atuais, deve incluir mais um item na sua concepção, qual seja, ser sustentável e tratar seus resíduos e lixo de forma circular.

Atualmente, os casos de sustentabilidade estão mais presentes nas políticas das empresas que tentam mostrar que suas produções têm responsabilidade social do que devido a políticas de estado. Em realidade estas empresas vislumbram oportunidades de negócio. A Votorantim é um caso interessante, pois ela faz co-processamento de resíduos para geração de energia na produção de cimento, argilas, calcário.⁶³ Em várias de suas unidades, substitui o coque de petróleo por resíduos urbanos tratados que vão desde pneus

usados, diversos tipos de celulose (papel, papelão, etc.), óleos, produtos químicos e resíduos industriais. Em 2012 utilizaram 511 mil toneladas de pneus e biomassas nessas unidades industriais. É um bom negócio para quem coleta e vende para as empresas que concentram esses resíduos, que então vendem para as cimenteiras Votorantim. Todos lucram e a empresa economiza energia e o meio ambiente se vê livre desses resíduos. Esse é um negócio legal e regulamentado, mas é bom destacar que resíduos hospitalares, domésticos não tratados, radioativos, pesticidas, agrotóxicos e explosivos não podem ser coprocessados.⁶⁴

No Brasil, não prosperaram os eco parques industriais e os eco empreendimentos de reciclagem. Da mesma forma, ainda não se estabeleceu a responsabilidade legal pelo ciclo de vida do produto, ou seja, a logística de recolhimento, que está prevista a “lei de resíduo” para alguns tipos de rejeitos. A Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010 se refere ao manejo dos resíduos sólidos (PNRS), onde os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes são responsáveis pela logística reversa. Em princípio essa lista poderia ser expandida, entretanto, não há cumprimento de diversos itens listados nessa lei, exceto os agrotóxicos e ao óleo lubrificante.

A Lei de Resíduos Sólidos foi um grande progresso que levou 20 anos em discussão, mas percebe-se que foi uma oportunidade perdida para se avançar para uma cidade sustentável e dinamizar a economia circular. Esperava-se que os principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos fossem resolvidos. Tedósio et al afirmam em recente estudo que o atraso na aplicação da PNRS é “decepcionante, constrangedor e ultrajante, essa verdadeira procrastinação de tão relevante política pública...”.⁶⁵ Não há dúvidas que a grande responsabilidade por esse atraso é das prefeituras municipais e da

própria população que deveria colaborar na fiscalização e no manejo adequado do seu próprio resíduo.

Mesmo tendo a PNRS compartilhado a responsabilidade pelo manejo dos resíduos sólidos entre indústrias, distribuidores, varejistas, prefeituras e consumidores a realidade mudou e no país é muito heterogênea. A ideia de que todos são produtores e responsáveis pelos resíduos sólidos e cada parceiro teria de contribuir para que os resíduos tivessem uma disposição final adequada ainda está longe de alcançar a consciência da maioria da sociedade. Nem a coleta seletiva conseguiu ser implementada nos grandes municípios e o problema continua crescendo. Silma Pacheco Ramos em ensaio informa que a geração de resíduos no país cresceu 1,3 % de 2011 para 2012, maior que o crescimento populacional, que foi de 0,9 %.⁶⁶ Camila Maciel da Agência Brasil informa que “geração de lixo no Brasil aumentou 29 % de 2003 a 2014, o equivalente a cinco vezes a taxa de crescimento populacional no período, que foi 6 %”.⁶⁷ A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) revela que 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos gerados no país em 2014 tiveram como destino lixões e aterros controlados. No ano anterior, o percentual foi 41,7 %.

O Ministério do Meio Ambiente, que deveria fiscalizar a implantação da Lei, divulgar e educar, não cumpre sua parte. No seu site não há nada que se possa considerar de útil em termos de manejo de resíduos e muito resíduos perigosos.⁶⁸

O modelo econômico que visa o lucro fácil e acumulação de riquezas em curto prazo estimula o consumismo. A falta de políticas públicas sólidas e perenes são barreiras que impedem a Economia Circular, o desenvolvimento de uma cidade sustentável e, por último desestimula o avanço da ciência conectada com um desenvolvimento sustentável.⁶⁹ Em última análise a sociedade fica exposta e refém a tudo isso. Para que a Economia Circular tenha sucesso a química

deve contribuir como um facilitador, mas sozinha não resolve os problemas.

Para que Economia Circular funcione é preciso articulação entre os governos federais, estaduais e municipais, ONGs e sociedade.⁷⁰ As pessoas de todas as idades e habilidades são centrais para esse modelo. Os consumidores se tornam usuários e criadores. A coleta e a reciclagem/remanufatura e reparação de bens só vai avançar se houver marcos

regulatórios e vigilância, com incentivos econômicos e pressão da sociedade para que essas atividades criem empregos, renda e pagamentos por serviços ambientais, com consequente melhoria nas condições ambientais. Essas políticas devem colocar os seres humanos como foco para o desenvolvimento sustentável e menos da ganância capitalista e socialista a qualquer custo (Figura 13).

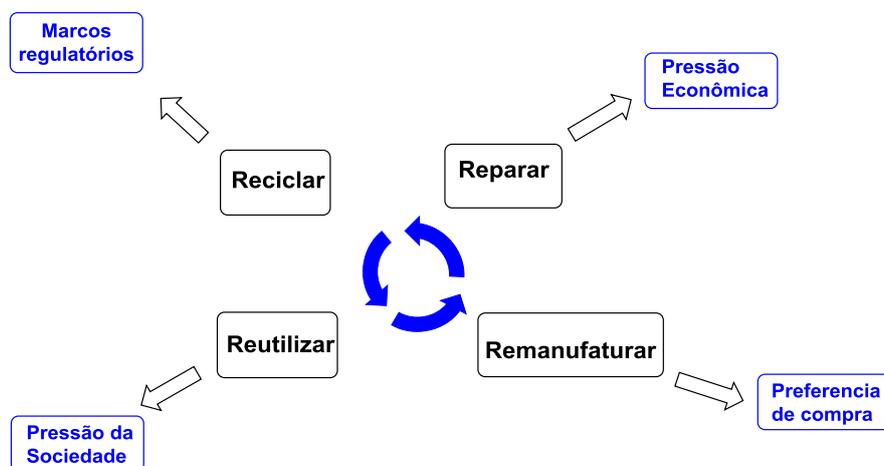


Figura 13. Fatores propulsores dos quatro “R” da economia circular

7. Conclusão

A Química continua resolvendo o problema dos resíduos industriais gerados nos processos de síntese de moléculas complexas. São muitas as oportunidades para o setor químico, tanto no que diz respeito a atender aos aspectos de degradabilidade ambiental dos produtos de consumo, economia de energia e economia de recursos naturais, como na possibilidade de reciclagem/remanufatura dos bens de consumo e pós-consumo.

Ao criar produtos químicos que possam ser utilizados para a fabricação de bens com ciclos múltiplos de uso e processo de produção mais eficiente, a química contribuiu para impulsionar a Economia Circular com menor custo operacional e de produção. A

eliminação da Economia Linear e a implementação da Economia Circular é uma ação que necessita ações afirmativas do governo, empresas e consumidor, a partir de uma tomada geral de consciência, no sentido de que a Economia Circular beneficia o meio ambiente, reduz a dependência de matérias-primas não renováveis, agrega valor ao produto remanufaturado, elimina o desperdício e atende a lei federal de resíduos sólidos.

Nos poucos exemplos que foram mostrados neste texto pode-se observar com clareza de que as indústrias químicas mundial estão continuamente desenvolvendo novas tecnologias para manter os recursos circulando nos principais setores da nossa economia. A indústria química possui o conhecimento e a capacidade para tornar a economia circular funcional e tornar os bens

de consumo duráveis ao longo do tempo.

Todo esse processo precisa intensamente do envolvimento do cidadão que precisa construir uma sociedade menos passiva. A sociedade precisa se engajar mais como um todo, pois não há política pública que, sozinha, resolva os problemas ambientais, ou seja, capaz de estabelecer uma Economia Circular. A sociedade tem que demandar mais produtos que possam ser utilizados o maior tempo possível e depois, reutilizado ou reaproveitado ao invés de se usar produtos persistentes. O descarte deve ser a última opção e somente nos casos em que haja tecnologia disponível para uma reciclagem eficiente.

Alguns países já estão bastante comprometidos com políticas públicas voltadas para uma Economia Circular e outros, como a China, estão caminhando a passos largos para alcançar esse objetivo. O Brasil precisa avançar muito, visto estarem bastante afastado do que se pratica nesses países citados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Lara Rianelli de Carvalho (7 anos), Julia Rianelli de Carvalho (5 anos) e Luiza Rianelli Munhoz Heringer (4 anos) pela ajuda na coleta dos microplásticos na Praia do Francês em Itaipuaçu, Maricá (Figura 1).

Referências Bibliográficas

¹ O que seria a Indústria 4.0? Disponível em: <http://www.fdc.org.br/professorespesquis/a/nucleos/Documents/inovacao/digitalizacao/boletim_digitalizacao_fevereiro2016.pdf>. Acesso em: 30 outubro 2016.

² Vaclav Smil; *Making the Modern World - Materials and Dematerialization*, John Wiley & Sons, Ltd, 2014.

³ Meadows, D. L.; Meadows, D. H.; Randers, J.; Behrens III, W.; *The Limits to Growth*, New York, Universe Books, 1972.

⁴ de Oliveira, L. D.; Os “Limites do Crescimento” 40 Anos Depois: das “Profecias do Apocalipse Ambiental” ao “Futuro Comum Ecologicamente Sustentável”. *Revista Continentes* **2012**, 1, 72. [Link]

⁵ Fluorspató é o nome usado para o mineral fluorita quando vendido como um material a granel ou em forma processada.

⁶ O fosfato de rocha é a matéria prima usada para fabricação dos fertilizantes fosfatados.

⁷ Gonzalez, A. Sítio do Jornal O Globo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/blog/nova-etica-social/post/um-dos-50-maiores-pensadores-do-mundo-aponta-possivel-saida-para-o-consumismo.html>>. Acesso em: 2 novembro 2016.

⁸ Ellen MacArthur Foundation, World Economic Forum and McKinsey & Company. *The New Plastics Economy: Rethinking the Future of Plastics* (Ellen MacArthur Foundation, 2016).

⁹ Eriksen, M.; Lebreton, L. C. M.; Carson, H. S.; Thiel, M.; Moore, C. J.; Borerro, J. C.; Galgani, F.; Ryan, P. G.; Reisser, J. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons afloat at Sea. *PLoS One* **2014**, 9, e111913. [CrossRef] [PubMed]

¹⁰ Os microplásticos são geralmente considerados partículas de plástico menor que 5 mm de diâmetro.

¹¹ Arthur, C.; Baker, J.; Bamford, H. (eds.); *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris*, University of Washington Tacoma: Tacoma, 2008.

¹² Unep Year Book 2011: Emerging Issues in our Global Environment. [Link]

¹³ Stahel, W. R. The circular economy. *Nature* **2016**, 531, 435. [CrossRef] [PubMed]

¹⁴ Stahel, W. R.; *The Performance Economy*, Palgrave, 2006.

- ¹⁵ Vídeo YouTube “How to become a Green SME in a Circular Economy”. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=V1Tszs48xCI>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ¹⁶ Sítio da Autolib. Disponível em: <<https://www.autolib.eu/fr/>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ¹⁷ Sítio “The Economist”. Disponível em: <<http://www.economist.com/node/21528681>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ¹⁸ Preston, F. A Global Redesign? Shaping the Circular Economy, Energy, Environment and Resource Governance, março de 2012. Disponível em: <<http://www.chathamhouse.org/>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ¹⁹ Calixto, B.; Ciscati, R. Sítio da revista época. Disponível em: <<http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2016/06/como-economia-circular-pode-transformar-lixo-em-ouro.html>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ²⁰ Cardoso, F. C. I.; Cardoso, J. C. O problema do lixo e algumas perspectivas para redução de impactos. *Ciência & Cultura* **2016**, *68*, 25. [CrossRef]
- ²¹ Silveira, E. Reciclagem de pneus. Revista FAPESP 2016, 249, 78. [Link]
- ²² Sítio do Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas. Disponível em: <<http://cisbra.eco.br/content/coleita-de-pneus>>. Acesso em: 13 dezembro 2016.
- ²³ Sítio da Empresa Brasil de Comunicação S/A. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/abrn/ct/2000/materia_140100_4.htm>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ²⁴ Sítio da Tetrapak. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/br/sustainability/recycling/how-recycling-works>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ²⁵ Sítio do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA. Disponível em: <<http://www.iica.int/>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ²⁶ Machado, S. T.; dos Reis, J. G. M.; Santos, R. C. Cadeia produtiva da soja: uma perspectiva da estratégia de Rede de suprimento enxuta. *Enciclopédia Biosfera* **2013**, *9*, 1.
- ²⁷ Sítio da Ebrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ²⁸ Vianna, J. F.; Pires, D. X.; Viana, L. H. Processo químico industrial de extração de óleo vegetal: um experimento de química geral. *Química Nova* **1999**, *22*, 795. [CrossRef]
- ²⁹ Batista, W. R.; Neves, M. H. C. B.; Coutinho, R.; Lopes, C. C.; Lopes, R. S. C. Glicerofosfolipídios Sintéticos Para Uso Como Aditivo Biocida Em Tintas Anti-Incrustante. *Química Nova* **2015**, *38*, 917. [CrossRef]
- ³⁰ Costa Neto, P. R., Rossi, L. F. S.; Zagonel, G. F.; Ramos, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. *Química Nova* **1999**, *23*, 531. [CrossRef]
- ³¹ Alberici, R. M.; Pontes, F. F. F. Reciclagem de óleo comestível usado através da fabricação de sabão. Disponível em: <www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=39&article=19&mode=pdf>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ³² FAO (1997). Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/fussr/index8.stm>. Acesso em 13 dezembro 2016.
- ³³ Sítio da MudJeans. Disponível em: <<http://www.mudjeans.eu>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ³⁴ Ferreira, V. F. A Química é Sempre Boa. *Química Nova* **2007**, *30*, 255. [CrossRef]
- ³⁵ Sítio do Natural Resources Defense Council (NRDC). Disponível em: <<http://www.nrdc.org/>>. Acesso em: 2 novembro 2016.

- <<https://www.nrdc.org/issues/toxic-chemicals>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ³⁶ Sítio da Chemical Industry Archives. Disponível em: <<http://www.chemicalindustryarchives.org/factfiction/testing.asp>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ³⁷ Zucco, C. Química para um mundo melhor. *Química Nova* **2011**, *34*, 733. [CrossRef]
- ³⁸ Wongtschowski, P. The Brazilian Chemical Industry - Challenges and Opportunities. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2011**, *22*, 607. [CrossRef]
- ³⁹ Sítio Infotintas. Disponível em: <<http://www.tintasevernizes.com.br/interna?noticia=684>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁴⁰ Adaptado do sítio Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC). Disponível em: <<https://www.epsrc.ac.uk/newsevents/pubs/the-economic-benefits-of-chemistry-research-to-the-uk/>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁴¹ Hendrickson, J. B. Systematic synthesis design. IV. Numerical codification of construction reactions. *Journal of the American Chemical Society* **1975**, *97*, 5784. [CrossRef]
- ⁴² Lichtenthaler, F. W. Em *Biorefineries, Industrial Processes and Products*, Kamm, B.; Gruber, P. R.; Kamm, M., eds.; Wiley-VCH: Weinheim, 2006, Vol. 2, pp. 3-59.
- ⁴³ Bols, M.; *Carbohydrate building blocks*, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1996.
- ⁴⁴ Lichtenthaler, F. W. Unsaturated O- and N-Heterocycles from Carbohydrate Feedstocks. *Accounts of Chemical Research* **2002**, *35*, 728. [CrossRef]
- ⁴⁵ Lichtenthaler, F. W.; *Carbohydrates*; 6th ed., Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry; 2002.
- ⁴⁶ Lichtenthaler, F. W. Em *Carbohydrates as Raw Materials for the Chemical Industry*, Tundo, P, ed. *Green Chemistry Series*, 3rd ed., INCA (Interuniversitario Nazionale Chimica Ambiente): Venezia, 2004, pp 105-127.
- ⁴⁷ Lichtenthaler, F. W.; Peters, S. Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. *Comptes Rendus Chimie* **2004**, *7*, 65. [CrossRef]
- ⁴⁸ Ferreira, V. F.; The Brazilian Chemical Society (SBQ) and the Global Chemistry Enterprise: Building a Sustainable Development Strategy" in *Vision 2025: How To Succeed in the Global Chemistry Enterprise*; Eds. Cheng, H., Sadiq Shah, S.; Wu, M. L.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 2014.
- ⁴⁹ Stevens, C. V.; Verhé, R. G.; *Renewable bioresources: scope and modification for non-food applications*, John Wiley & Sons, Inc.: Chichester, 2004.
- ⁵⁰ Lichtenthaler, F. W.; *Carbohydrates as raw materials for chemical industry*, 2004.
- ⁵¹ Werpy, T.; Petersen, G. Top Value Added Chemicals From Biomass Volume I: Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁵² From the Sugar Platform to biofuels and biochemical; Final report for the European Commission Directorate-General Energy. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC%20Sugar%20Platform%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁵³ Corma A.; Iborra S.; Velty A. Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. *Chemical Reviews* **2007**, *107*, 2411. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁴ Dusselier, M.; Mascal, M.; Sets, B. F. Em *Selective Catalysis for Renewable Feedstocks and Chemicals*, Topics in Current Chemistry Series, Springer International Publishing, vol 353, 2014, pp. 1-40. [CrossRef]
- ⁵⁵ Ran, N.; Zhao, L.; Chen, Z.; Tao, J. Recent applications of biocatalysis in developing green chemistry for chemical synthesis at the industrial scale. *Green Chemistry* **2008**, *10*, 361. [CrossRef]

- ⁵⁶ Shyamkumar, R.; Moorthy, I. M. G.; Ponmurugan, K.; Baskar, R. Production of L-glutamic Acid with *Corynebacterium glutamicum* (NCIM 2168) and *Pseudomonas reptilivora* (NCIM 2598): A Study on Immobilization and Reusability. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology* **2014**, *6*, 163. [PubMed]
- ⁵⁷ Wenda, S.; Illner, S.; Mella, A.; Krag, U. Industrial biotechnology-the future of green chemistry? *Green Chemistry* **2011**, *13*, 3007. [CrossRef]
- ⁵⁸ Kato, T.; Park, E. Y. Riboflavin production by *Ashbya gossypii*. *Biotechnology Letters* **2012**, *34*, 611. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁹ Nemerow, N. L.; *Zero Pollution for Industry: Waste Minimization Through Industrial Complexes*; New York: Wiley, 1995.
- ⁶⁰ Chertow, M. R. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment* **2000**, *25*, 313. [CrossRef]
- ⁶¹ Zhu, Q.; Lowe, E. A.; Wei, Y.-A.; Barnes, D. Industrial Symbiosis in China: A Case Study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology* **2007**, *11*, 31. [CrossRef]
- ⁶² Blog Junior Gilberto Sottili. Disponível em: <http://sottili.xpg.uol.com.br/publicacoes/pdf/IIseminario/pdf_praticas/praticas_18.pdf>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁶³ Sítio da Votorantim. Disponível em: <<http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/responsabilidade/coprocessamento.htm>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁶⁴ Resolução CONAMA264/1999.
- ⁶⁵ Tedósio, A. S. S.; Dias, S. F. L. G.; dos Santos, M. C. L. Procrastinação da Política dos Resíduos Sólidos: catadores, governos e empresas na governança urbana. *Ciência & Cultura* **2016**, *68*, 30. [CrossRef]
- ⁶⁶ Sítio Âmbito Jurídico. Disponível em: <http://ambito-juridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=14280&revista_caderno=5>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁶⁷ Sítio Empresa Brasil de Comunicação S/A - EBC. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-07/producao-de-lixo-no-pais-cresce-29-em-11-anos-mostra-pesquisa-da-abrelpe>>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁶⁸ Sítio do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 2 novembro 2016.
- ⁶⁹ Menon, M. G. K. O papel da ciência no desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados* **1992**, *123*, 6. [CrossRef]
- ⁷⁰ Azevedo, J. L. A Economia Circular Aplicada No Brasil: Uma Análise A Partir Dos Instrumentos Legais Existentes Para A Logística Reversa; XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2015.