

## Artigo

**Bioeconomia no Brasil e no Mundo: Panorama Atual e Perspectivas**

Dias, R. F.; de Carvalho, C. A. A.\*

*Rev. Virtual Quim.*, 2017, 9 (1), 410-430. Data de publicação na Web: 14 de dezembro de 2016<http://rvq.s bq.org.br>**Bioeconomy in Brazil and in the World: Current Situation and Prospects**

**Abstract:** After a brief history of the evolution of the concept of bioeconomy, we give an overall view of its present status in the world and in Brazil, concentrating on health, primary and industrial production. In the end, we describe a minimal set of necessary conditions that will allow both Brazil and Latin America to profit from the opportunities offered by bioeconomy.

**Keywords:** Bioeconomy; health; primary production; industrial production.

**Resumo**

Após um breve histórico da evolução do conceito de bioeconomia, apresentamos seu panorama atual no mundo e no Brasil, concentrando-nos nas áreas de saúde, produção primária e industrial. Ao final, apontamos um conjunto mínimo de condições necessárias para que, tanto o Brasil quanto a América Latina, possam beneficiar-se das oportunidades surgidas com o advento da bioeconomia.

**Palavras-chave:** Bioeconomia; saúde; produção primária; produção industrial.

\* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Departamento de Física Teórica, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Centro de Tecnologia, Bloco A, Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

✉ [aragao@if.ufrj.br](mailto:aragao@if.ufrj.br)

DOI: [10.21577/1984-6835.20170023](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170023)

## Bioeconomia no Brasil e no Mundo: Panorama Atual e Perspectivas

Rodnei Fagundes Dias,<sup>a</sup> Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Rua Santa Alexandrina, 416, 9º andar, Rio Comprido, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Departamento de Física Teórica, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Centro de Tecnologia, Bloco A, Cidade Universitária, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

\* [aragao@if.ufrj.br](mailto:aragao@if.ufrj.br)

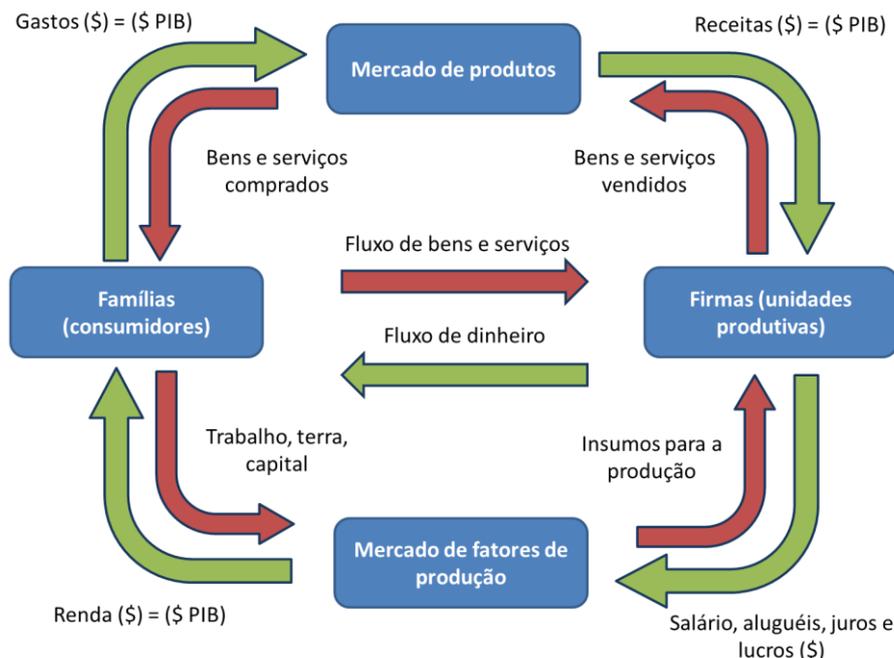
*Recebido em 3 de novembro de 2016. Aceito para publicação em 14 de dezembro de 2016*

1. Introdução
2. A bioeconomia no mundo
  - 2.1. Saúde humana
  - 2.2. Produção primária
  - 2.3. Produção Industrial
3. Alguns números sobre a bioeconomia no Brasil
4. Considerações finais

### 1. Introdução

Historicamente, economistas têm-se inspirado na epistemologia mecanicista. Desde Quesnay (1756), a maior parte dos economistas defende a ideia de que a circulação de riqueza e bens na economia se assemelha à circulação natural do sangue em um corpo vivo. O próprio Quesnay, em particular, foi o precursor do diagrama de fluxo econômico – *tableau économique* – e a contabilidade da renda nacional. O *tableau économique* foi a primeira abordagem a considerar o conceito do equilíbrio dentro de toda economia, sendo o antecessor do

diagrama de fluxo circular. O fluxo circular é a representação clássica da união dos fluxos reais e monetários de uma economia para retratar como esta evolui, considerando o modo como os agentes econômicos transacionam entre si. Seus principais objetivos são a demonstração das identidades contábeis entre Produto-Renda-Despesas e a indicação das entradas e saídas que ocorrem para assegurar o equilíbrio da economia e dos principais agregados macroeconômicos, tais como o Produto Interno Bruto (PIB) e outros.<sup>1</sup> A Figura 1 apresenta uma representação gráfica do diagrama de fluxo circular.



**Figura 1.** Fluxo circular na economia de inspiração mecanicista. Fonte: Elaboração própria

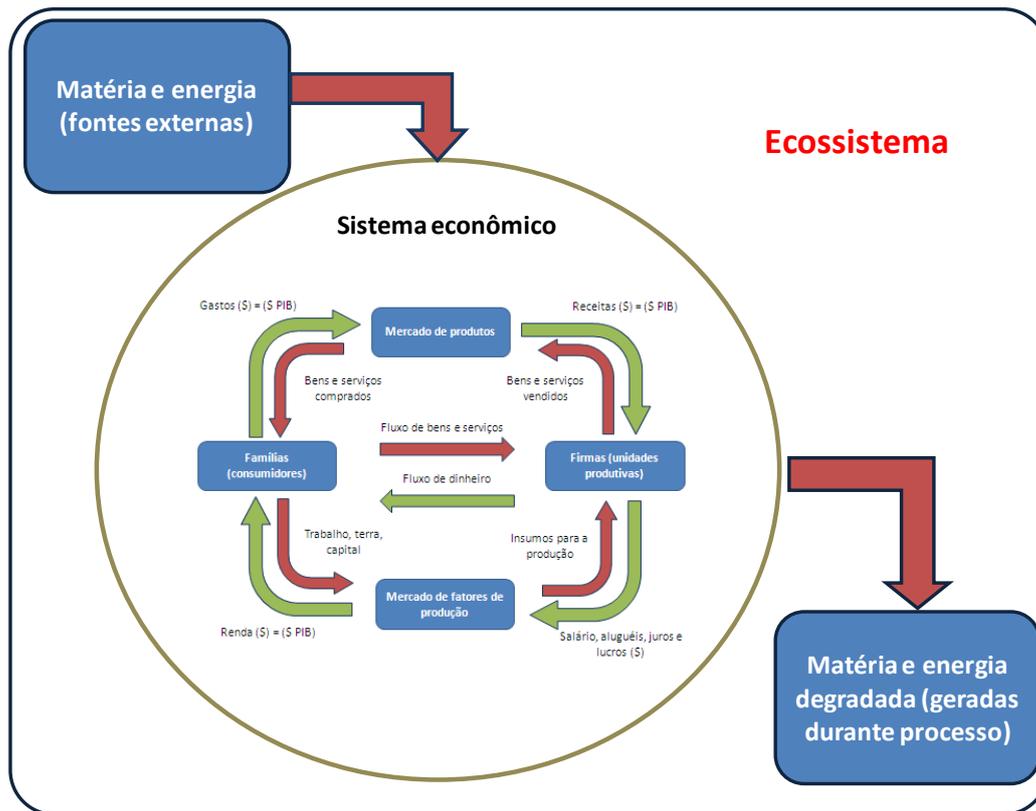
A representação do diagrama de fluxo circular nos leva a acreditar que o processo econômico se mantém sem a produção de resíduos, consumindo integralmente todos os recursos materiais e energéticos envolvidos. Sob essa hipótese, seria possível considerar uma espécie de “sustentabilidade ambiental perfeita”, pois bastaria o uso parcimonioso dos recursos para garanti-los às gerações futuras. Todavia, ao observar qualquer atividade econômica, é fácil constatar a existência de resíduos.<sup>1</sup>

Georgescu-Roegen<sup>2</sup> talvez tenha sido o primeiro economista a salientar que o pensamento econômico não poderia seguir utilizando o princípio de que a reversibilidade completa é a regra geral. Na sua visão, toda transformação energética envolve produção de calor, logo dissipação e perda de energia. Embora parte dessa energia possa ser recuperada para algum propósito útil, não se pode aproveitar todo o calor gerado.

A partir daí, Georgescu-Roegen<sup>3</sup> passa a aplicar o conceito de entropia, emprestado da termodinâmica, nas concepções

convencionais da economia, analisando a teoria econômica sob a ótica das ciências naturais. Uma vez que possuímos cada vez menos energia utilizável – dado que a energia total do universo é constante, mas a entropia total continuamente aumenta –, os recursos naturais de alto valor são transformados em resíduos sem valor.<sup>4</sup>

Por isso, a lei de entropia é consolidada como a raiz da escassez econômica, mediante a impossibilidade de se reutilizar ciclicamente a mesma energia<sup>5</sup>. Georgescu-Roegen defendia que o uso da termodinâmica seria mais pertinente para a economia do que a mecânica, visto que, sob a ótica dessa última, a economia não poderia afetar o ambiente. Com isso, o autor buscou evidenciar a incoerência do caráter mecanicista presente nas análises econômicas frente à realidade, contrariando a possibilidade de crescimento sem limite e introduzindo o conceito de bioeconomia. A Figura 2 ajuda a compreender melhor a visão de Georgescu-Roegen.



**Figura 2.** O sistema econômico aberto inspirado na termodinâmica. Fonte: Elaboração própria

Na bioeconomia preconizada por Georgescu-Roegen, a natureza atua como limitante do processo econômico e, apesar de não negar a importância do processo tecnológico, capaz de descobrir e controlar novas fontes de energias, a tecnologia é apresentada como incapaz de encontrar, constantemente, um substituto para um recurso escasso. Para o autor, uma tecnologia só seria viável caso se mantivesse sem reduzir o estoque de recursos não renováveis.

No entanto, ao longo das últimas quatro décadas, a visão sobre o papel da bioeconomia se modificou por completo, em razão do surgimento de inovações diretamente ligadas ao uso de produtos e processos biológicos nas áreas da saúde humana, da produtividade agrícola e da pecuária, bem como da biotecnologia. A biotecnologia, em particular, tem sido responsável por melhorar a eficiência ambiental da produção primária, do processamento industrial, além de recuperar

setores degradados, especialmente da água. Graças aos avanços científicos, atualmente somos capazes de entender como a vida é codificada (genoma, DNA) e, principalmente, como copiar e editar esse código. Além de produtos farmacêuticos, a maioria dos cultivos têm-se beneficiado desse conhecimento, bem como cosméticos, rações animais, combustíveis, armazenamento e processamento de informações, couros, vacinas, vitaminas, corantes, plásticos e uma variedade de outros produtos. Microrganismos, enzimas ou seus subprodutos substituem processos altamente dependentes de produtos químicos danosos ao ambiente.

Mais recentemente, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) definiu o termo bioeconomia como:

... um mundo onde a biotecnologia contribui com parcela importante da produção econômica. Sua emergência está

relacionada a princípios relativos ao desenvolvimento sustentável e sustentabilidade ambiental, envolvendo três elementos: biotecnologia, conhecimento, biomassa renovável e integração entre aplicações<sup>6</sup>.

Essa visão mais otimista é um contraponto à visão de Georgescu-Roegen; a própria Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) defende que:

*A natureza genérica das técnicas biotecnológicas permite criar uma nova bioeconomia com grandes perspectivas para a comercialização de novos produtos biotecnológicos e uma maior participação dos países em desenvolvimento. (...) há inúmeros fatores que permitem uma maior participação dos países em desenvolvimento na nova bioeconomia. O primeiro é o crescente reconhecimento de que os padrões atuais de globalização são insustentáveis, se não incluem cada vez mais produtos dos países em desenvolvimento. Esses países dependem de indústrias baseadas em recursos naturais e, portanto, podem-se beneficiar do uso da biotecnologia moderna.<sup>7</sup>*

Por isso, o código genético deverá, nas próximas décadas, ser a base da criação da riqueza econômica dos países. A diversidade e a variabilidade gênica natural, consequência das inúmeras possibilidades combinatórias dos genes, aliadas às modernas técnicas da biologia molecular para programação gênica, oferecerão ao mundo uma fonte praticamente inesgotável para a engenharia e manufatura de novos produtos biológicos.

O crescimento mundial da bioeconomia e as oportunidades associadas estão relacionados ao aumento da população e ao seu envelhecimento, à renda per capita, à necessidade de ampliação da oferta de alimentos, saúde, energia e água potável, bem como às questões que envolvem as

mudanças climáticas. O Brasil, em razão do domínio dos processos agroindustriais relacionados à bioenergia, aliados às suas aptidões agrícolas e em função de sua extensão territorial e da tecnologia desenvolvida para os trópicos, configura-se como um dos principais atores desse novo cenário.

As oportunidades abertas ao Brasil por força das suas vantagens comparativas estão relacionadas, principalmente, a: i) possuir a maior biodiversidade do planeta; ii) possuir os menores custos na produção de biomassa, principalmente de cana-de-açúcar; e iii) possuir uma agricultura tropical avançada, calcada na aplicação da ciência e da tecnologia. E é com base nessa perspectiva que esse artigo buscará apresentar um panorama da bioeconomia no Brasil e no mundo, detalhando as oportunidades apresentadas ao País a partir de dados e estatísticas recentes.

## 2. A bioeconomia no mundo

A OCDE<sup>6</sup> estima que, até 2030, a contribuição global da biotecnologia será de US\$ 1 trilhão/ano, distribuído entre os setores de saúde (US\$ 260 bilhões/ano), produção primária (US\$ 380 bilhões/ano) e industrial (US\$ 420 bilhões/ano). Além disso, esse mesmo estudo estima que 80 % dos produtos farmacêuticos até 2030 passarão a ser desenvolvidos com o uso de biotecnologia.

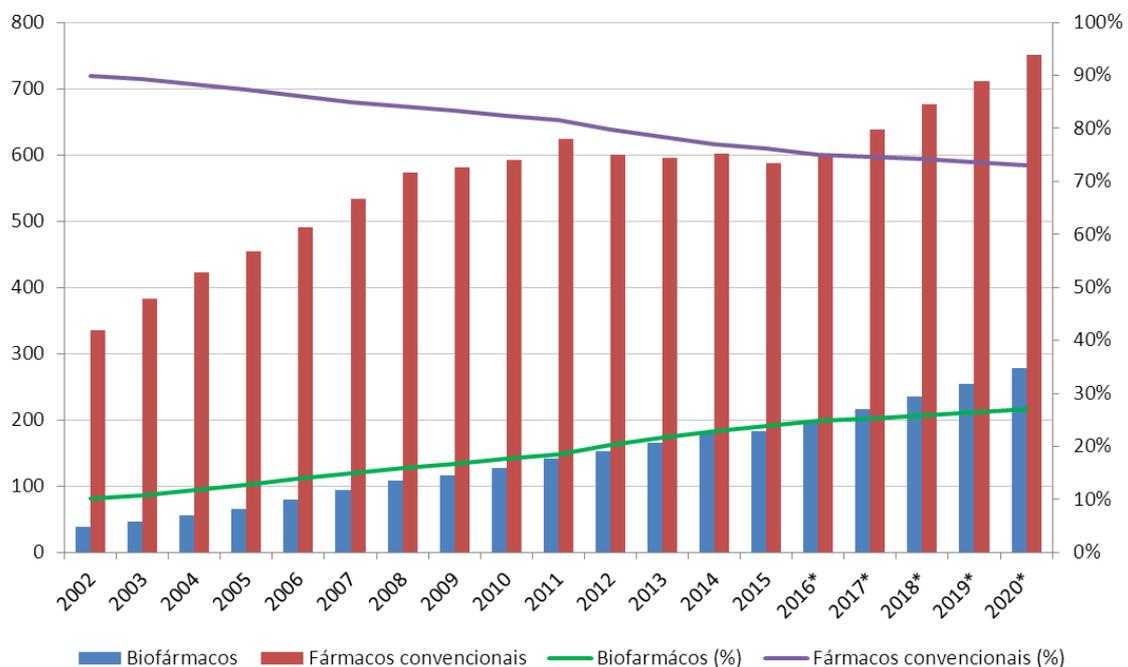
### 2.1. Saúde humana

O setor da saúde humana tem forte correlação com os avanços científicos e a biotecnologia tem cumprido papel de destaque na descoberta de novas tecnologias e medicamentos biológicos para o tratamento de pacientes em condições críticas. Nesse sentido, é possível notar a presença da biotecnologia em inúmeros estudos clínicos e pré-mercadoológicos de

medicamentos, sobretudo em processos como a farmacogenética, o sequenciamento de genes e os diagnósticos que utilizam a identificação de biomarcadores. Medicamentos personalizados para cada espécie de doença só são uma realidade hoje graças aos avanços em biotecnologia.

Em razão disso, uma parcela cada vez maior de biofármacos tem ganhado espaço no desenvolvimento de novos componentes farmacêuticos. Os dados a seguir, extraídos de relatório produzido pela Fundação

Oswaldo Cruz,<sup>8</sup> mostram que, até 2008, biofármacos representavam 16 % dos novos componentes farmacêuticos desenvolvidos e, em 2015, esse número atingiu a marca de 24 %. A perspectiva para 2020 é de que esse número chegará a quase 30 %, conforme ilustra a Figura 3. Além disso, o mesmo estudo estima que, até 2020, sete entre os dez produtos farmacêuticos mais vendidos no mundo serão biofármacos, com destaque para anticorpos monoclonais, proteínas terapêuticas e vacinas.



\* Valores projetados

**Figura 3.** Mercado farmacêutico global (US\$ bilhões). Fonte: Evaluate Pharma apud Vargas *et al.* (2016)<sup>8</sup>. Elaboração própria

De forma complementar, dados de faturamento do mercado farmacêutico mundial obtidos junto à Consultoria AllyPrime apontam o crescimento da importância dos biofármacos. Se em 2001 eles representavam cerca de 8 % do faturamento das empresas do setor, em 2011 esse número dobrou, alcançando a cifra de 16 % (US\$ 139 bilhões). Em estudo recente, a Deloitte estimou que as vendas de medicamentos desenvolvidos com auxílio da biotecnologia (vacinas, produtos biológicos,

etc.) alcançou a cifra de US\$ 289 bilhões em 2014, com a perspectiva de chegar a US\$ 445 bilhões até 2019.<sup>9</sup>

Na área terapêutica, a síntese química tradicional de medicamentos vem sendo substituída, de forma gradativa, pelas tecnologias de desenvolvimento de biomedicamentos. As terapias mais promissoras atualmente são aquelas obtidas a partir de moléculas desenvolvidas biologicamente (células tronco, proteínas,

vacinas). Tais terapias trazem novas possibilidades no tratamento de doenças crônico-degenerativas como câncer, infecções tropicais e doenças negligenciadas. Além disso, a redução dos custos para utilização das ferramentas de identificação, sequenciamento e comparação de genes nos últimos anos traz à tona todo o potencial para o uso personalizado em cada tipo de tratamento, oferecendo, assim, melhores chances de sucesso terapêutico.<sup>10</sup>

Informações obtidas junto a GeneTests até outubro, disponíveis em seu sítio na internet ([www.genetests.com](http://www.genetests.com)) dão conta de que, apenas em 2016, foram documentados 65.487 diferentes testes por 696 laboratórios e 1.078 clínicas ao redor do mundo. Esses testes buscavam o desenvolvimento de novos medicamentos para mais de 4.705 tipos de doença e, para tanto, já haviam sido documentados mais de 5.663 testes genéticos e suas combinações.

Criada em 1992, a GeneTests tem como missão fornecer informações sobre a realização de testes genéticos e sua utilização no diagnóstico, gestão e aconselhamento genético, visando a promover o uso adequado dos serviços de genética na assistência ao paciente e na tomada de decisão. A GeneTests é uma unidade de negócios integrada à Bioreference Laboratories.

Complementarmente, a produção de kits para diagnóstico e equipamentos médicos baseados em anticorpos monoclonais, proteínas recombinantes e biossensores derivados de técnicas de biologia celular e molecular vem ampliando de forma nunca antes imaginada a capacidade de análise clínica, permitindo a detecção precoce, o monitoramento ou mesmo tratamento das mais diversas condições clínicas.<sup>11</sup>

Produtos alimentares desenhados especificamente para atender necessidades dietéticas ou com a agregação de vitaminas, sais minerais, vacinas ou elementos para a prevenção e tratamento de doenças – chamados popularmente de alimentos funcionais, criados a partir do conhecimento

biotecnológico, podem também servir como ferramentas para novas estratégias de políticas públicas para a saúde, atuando na promoção da saúde e na redução do risco de doenças da população.<sup>11</sup>

A biotecnologia também tem sido usada em outros campos da saúde, tais como técnicas de modificação genética, sequenciamento de DNA, bioinformática e engenharia metabólica, além do uso em alguns dispositivos médicos por meio da possibilidade de reprogramar funções gênicas com o apoio de linguagens de programação biológica, sendo esse, provavelmente, o grande campo a ser explorado na área de saúde hoje e nos próximos anos.<sup>12</sup>

Historicamente, o mercado global de biotecnologia vem sendo liderado pela América do Norte. No entanto, a Ásia tem mostrado taxas de crescimento muito elevadas, em razão dos custos significativamente menores relativos à realização de ensaios clínicos. Organizações de pesquisa responsáveis pela realização de ensaios clínicos nessa região têm apresentado taxas de expansão superiores a 20 % ao ano, o que leva a maioria dos analistas a acreditar que, nos próximos cinco anos, a Ásia se tornará o maior mercado de biotecnologia do planeta.<sup>9</sup>

## 2.2. Produção primária

O progresso e o uso cada vez mais constante da biotecnologia na produção primária ao longo das últimas décadas têm possibilitado aos agricultores produzirem mais alimentos para uma parcela cada vez maior da população mundial. Dados preliminares da Food and Administration Organization of the United Nations (FAO) de 2012<sup>13</sup> apontavam que 82 % da soja, 68 % do algodão, 30 % do milho e 25 % da canola produzidas no planeta já envolviam biotecnologia no seu processo de produção.

Ainda em 2012, a administração Obama e o governo dos EUA, por meio do National Bioeconomy Blueprint, afirmaram que a

bioeconomia:

com a criação de novos empregos e indústrias”.<sup>14</sup>

“(…) permitirá aos norte-americanos viverem por mais tempo e de forma mais saudável, reduzindo a dependência do petróleo, enfrentando importantes desafios ambientais, transformando os processos de fabricação e, principalmente, aumentando a produtividade e o escopo do setor agrícola,

Em 2014, 181,5 milhões de hectares foram produzidos no mundo com auxílio da biotecnologia (Tabela 1) e 54% dessa produção se concentrou em países da América Latina, Ásia e África.<sup>15</sup>

**Tabela 1.** Área global da produção agrícola intensiva em biotecnologia em 2014

<b>Rank</b>	<b>País</b>	<b>Área (milhões de hectares)</b>	<b>Principais culturas intensivas em biotecnologia</b>
1	EUA	73,1	Milho, soja, algodão, canola, açúcar de beterraba, alfafa, mamão e abóbora
2	Brasil	42,2	Soja, milho e algodão
3	Argentina	24,3	Soja, milho e algodão
4	Índia	11,6	Algodão
5	Canadá	11,6	Canola, milho, soja e açúcar de beterraba
6	China	3,9	Algodão, mamão, álamo, tomate e pimenta doce
7	Paraguai	3,9	Soja, milho e algodão
8	Paquistão	2,9	Algodão
9	África do Sul	2,7	Milho, soja e algodão
10	Uruguai	1,6	Soja e milho
11	Bolívia	1,0	Soja
12	Filipinas	0,8	Milho
13	Austrália	0,5	Algodão e canola
14	Burkina Faso	0,5	Algodão
15	Myanmar	0,3	Algodão
16	México	0,2	Algodão e soja
17	Espanha	0,1	Milho
18	Colômbia	0,1	Algodão e milho
19	Sudão	0,1	Algodão
20	Honduras	<0,1	Milho
21	Chile	<0,1	Milho, soja e canola
22	Portugal	<0,1	Milho
23	Cuba	<0,1	Milho
24	República Tcheca	<0,1	Milho
25	Romênia	<0,1	Milho
26	Eslováquia	<0,1	Milho
27	Costa Rica	<0,1	Algodão e soja
28	Bangladesh	<0,1	Berinjela
<b>Total</b>		<b>181,5</b>	

Fonte: James (2014)<sup>15</sup>. Elaboração própria.

As principais transformações envolvidas nesses alimentos foram novos cultivos transgênicos envolvendo batatas (as batatas Innate™ Generation 1, com níveis mais baixos de acrilamida e resistência a machucados, as batatas Innate™ Generation 2, aprovada em 2015 e resistente a queima), milho (tolerantes a herbicidas Bt com piramidação de genes, que são cultivos biotecnológicos com traços múltiplos, plantados em 58,5 milhões de hectares no mundo – o cultivar denominado Biotech DroughtGard™, plantado pela primeira vez nos Estados Unidos em 2013, cresceu 15 vezes em apenas um ano, saindo de 50 mil hectares para 810 mil hectares, refletindo a alta aceitação por parte dos agricultores) e algodão (apenas no Sudão, a área de plantio de algodão Bt aumentou em 30 %, para 120 mil hectares, em apenas 12 meses).<sup>15</sup>

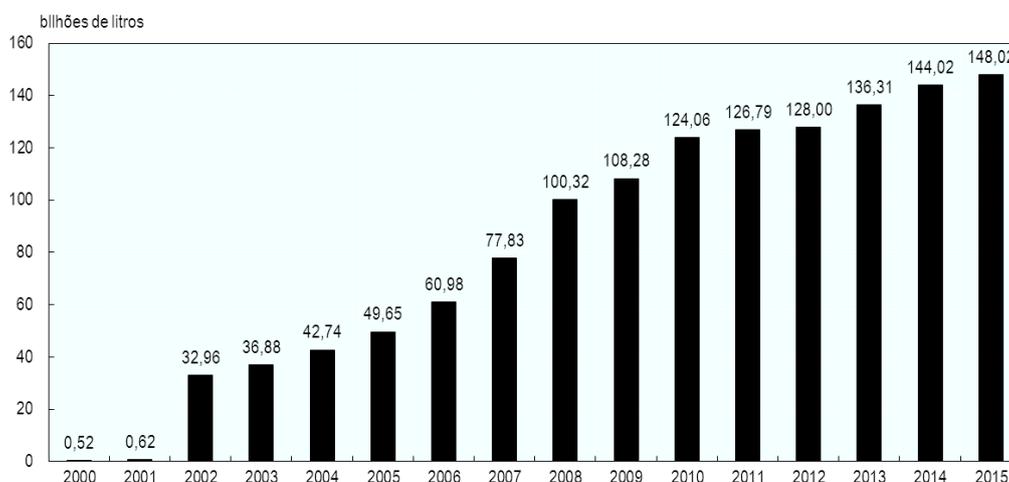
Além da produção de alimentos, é fundamental ter em conta o papel da biotecnologia na geração de energia a partir de recursos renováveis existentes na natureza – a chamada bioenergia. Os novos conhecimentos sobre a biossíntese em leveduras e suas aplicações no campo dos biocombustíveis nos leva muito além daquilo que se previa há apenas poucos anos. O uso de enzimas sintéticas operando na celulose da biomassa para a obtenção de açúcares fermentáveis e a criação de microrganismos capazes de produzir o biocombustível

diretamente são dois dos exemplos mais modernos desse avanço.<sup>11</sup>

Um modelo de produção de energia a partir de algas é outro exemplo desse potencial. Alguns especialistas defendem que:

“(…) Há um número considerável de instituições e empresas que desenvolvem aplicações em escala industrial desses organismos, com foco [na obtenção de] bicombustível. (...) A utilização da engenharia genética para a produção de etanol por algas, a partir de gás carbônico, água e luz solar, é, de fato, uma aproximação aos mecanismos usuais de geração de energia do planeta. Esta via pode atingir níveis de produção seis vezes maiores do que aqueles obtidos com o processamento da cana de açúcar e dezesseis vezes maiores do que os obtidos com o processamento do milho”.<sup>11</sup>

A Figura 4 dá uma ideia de como evoluiu a produção de biocombustível (etanol e biodiesel) no mundo a partir de 2000. Como se vê, entre 2001 e 2002, a produção de biocombustíveis cresceu impressionantes 5.200 %, o que demonstra como essa fonte de energia tornou-se relevante em nossa sociedade. Dados de 2014 e 2015 mostram que esse mercado continua em evolução, alcançando 144,02 e 148,02 bilhões de litros, respectivamente.



**Figura 4.** Produção global de biocombustíveis (etanol e biodiesel) entre 2000 e 2015. Fonte: OECD/FAO (2015)<sup>13</sup>. Elaboração própria

Segundo projeções mais recentes da OECD/FAO,<sup>13</sup> o mercado de biocombustíveis continuará a evoluir nos próximos anos sendo que, até 2024, a produção mundial de

biocombustíveis deve alcançar 173 bilhões de litros, um acréscimo de quase 17 % em relação a 2015 (Figuras 5, 6, 7 e 8).

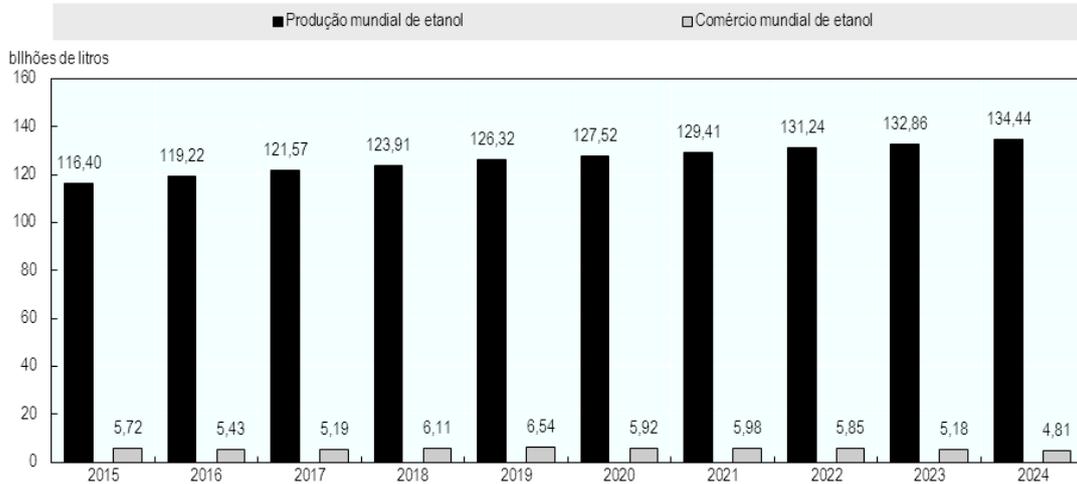


Figura 5. Projeções para a produção e o comércio de etanol no mundo até 2024. Fonte: OECD/FAO (2015)<sup>13</sup>. Elaboração própria

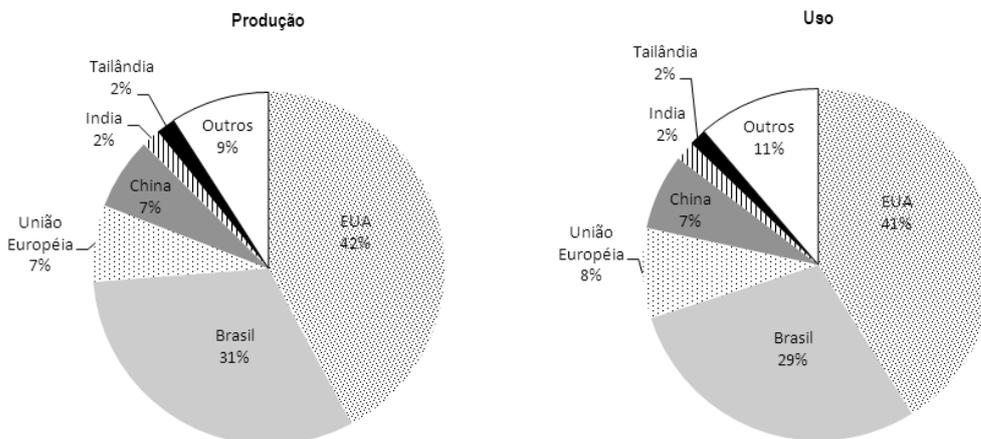
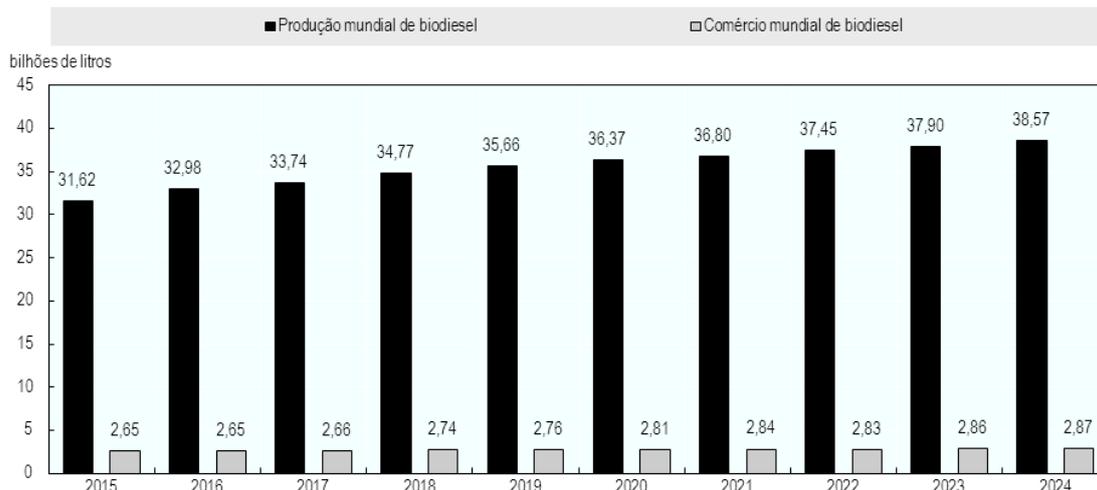
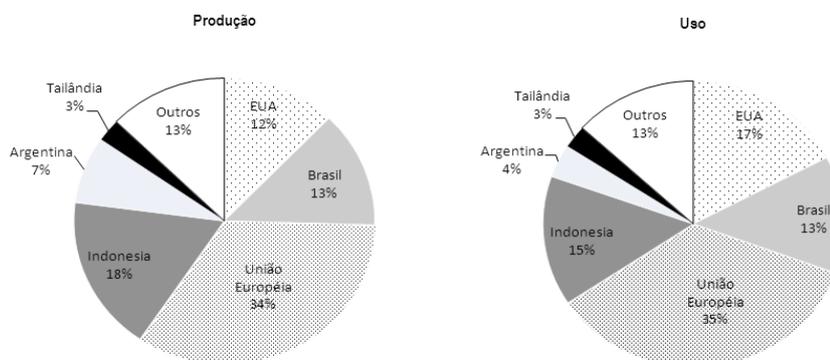


Figura 6. Projeção da distribuição regional da produção e uso de etanol em 2024. Fonte: OECD/FAO (2015).<sup>13</sup> Elaboração própria



**Figura 7.** Projeções para a produção e o comércio de biodiesel no mundo até 2024. Fonte: OECD/FAO (2015).<sup>13</sup> Elaboração própria



**Figura 8.** Projeção da distribuição regional da produção e uso de biodiesel em 2024. Fonte: OECD/FAO (2015).<sup>13</sup> Elaboração própria

### 2.3. Produção Industrial

Já na década passada, a OCDE<sup>6</sup> sinalizava que a biotecnologia afetaria a maioria dos processos produtivos, em particular aqueles relacionados à produção de químicos, plásticos, enzimas, além das aplicações ambientais utilizadas na recuperação dos diversos ecossistemas (biorremediação, biossensores, métodos de diminuição de impactos ambientais) e na produção de biocombustíveis.

Estudo recente da Confederação Nacional da Indústria (CNI) aponta que descobertas e inovações recentes no campo da biologia

molecular estão abrindo novas possibilidades para a aplicação industrial, em particular aquelas que permitem a reprogramação de funções gênicas. Essa tecnologia torna factível a reprogramação funcional de componentes do genoma e do metabolismo celular com extensas aplicações para o setor de biotecnologia industrial, para o desenvolvimento de novos polímeros, enzimas e biossensores.<sup>11</sup>

Em 2005, o mercado bioquímico global movimentou US\$ 21 bilhões, menos de 2 % do total movimentado por todo o mercado químico (US\$ 1,2 trilhões). Em 2013, o mercado químico global atingiu a marca de US\$ 4,1 trilhões e a estimativa é de que o

setor bioquímico tenha representado algo em torno de 10 % desse total. Para 2020, estima-se que a parcela do setor bioquímico deverá representar 25 % do total movimentado por todo o setor, cuja expectativa é alcançar US\$ 5,1 trilhões em vendas de produtos.<sup>16</sup>

Outro importante campo de aplicação das técnicas biotecnológicas diz respeito ao aperfeiçoamento de processos já existentes e/ou a criação de novos conceitos e produtos cosméticos. Enzimas ativas, tecnologias de DNA recombinante, biopolímeros funcionais e produtos de origem fermentativa cada vez mais são utilizados como insumos ativos nesse mercado. A demanda por esse tipo de tecnologia deve aumentar para suprir as novas tendências e o consumidor mais exigente.

A indústria de cosméticos constitui um dos segmentos mais importantes da economia mundial. Segundo dados de 2014, o setor gerou um faturamento mundial de US\$ 465 bilhões, com crescimento de 5 % nas vendas de produtos a países emergentes. China e Brasil são os mercados mais promissores, a despeito da forte expansão observada também na Indonésia, Índia, Estados Unidos, Arábia Saudita, Argentina, Irã, México, Tailândia e Turquia.<sup>17</sup>

Na maioria dos mercados, o segmento que mais se destaca é o de cosméticos para a pele, cujas vendas mundiais deverão alcançar mais de US\$ 130 bilhões em 2019. "Entre todas as categorias de produtos de beleza comercializadas no planeta, o investimento em tratamentos cutâneos alcança US\$ 15 por ano per capita, em comparação com US\$ 10 para produtos capilares e US\$ 7 para produtos de maquiagem", afirma Irina Barbalova, Head of Beauty and Personal Care da Euromonitor International. Até 2019, um terço do faturamento mundial dos produtos de beleza será gerado por tratamentos para a pele, comparado com 23 % entre 2009 e 2014".<sup>17</sup>

### 3. Alguns números sobre a bioeconomia no Brasil

---

Na década de 1980, foram iniciados os primeiros programas de apoio para o desenvolvimento da área de biotecnologia no País. Nos anos seguintes, foram criados diferentes instrumentos de apoio à biotecnologia, com destaque para o Fundo Setorial de Biotecnologia.

A partir de 2004, com a Política Industrial Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), a biotecnologia ganhou o status de "área portadora de futuro" ou "estratégica". Essa definição manteve-se com as políticas recentes, como a Política de Desenvolvimento Produtivo (2008) e o Plano Brasil Maior (2011).

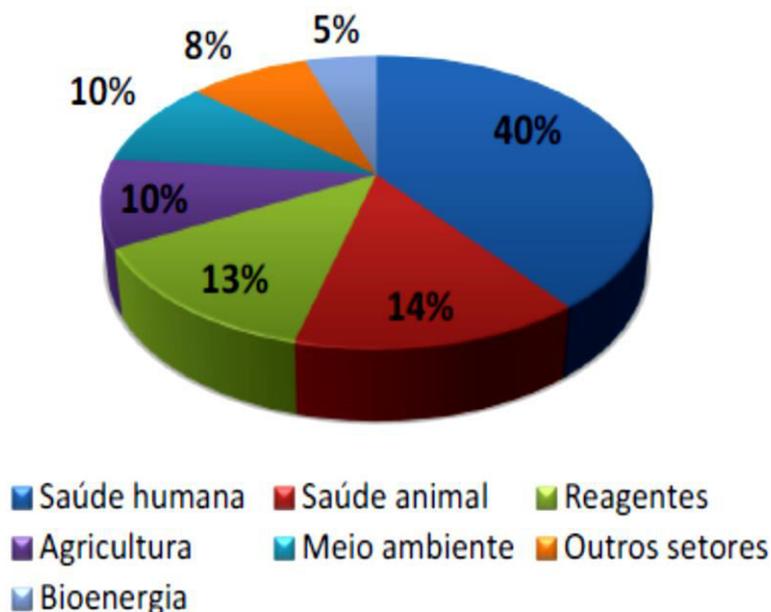
Um dos pontos-chave dessas políticas, dentre outros, tem sido o desenvolvimento de novos empreendimentos de biotecnologia, sob a forma de empresas de base tecnológica. Porém, a informação sobre o número e as características dessas empresas biotecnológicas não é tão simples de organizar.<sup>18</sup>

A fim de preencher essa lacuna, o Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (Cebrap), em parceria com a Associação Brasileira de Biotecnologia (BrBiotec), com financiamento do Parque Tecnológico do Rio de Janeiro (Fundação BIO-RIO) e da Agência Brasileira de Promoção de Investimentos (Apex-Brasil), realizou a pesquisa Brazil Biotech Map 2011, com o objetivo de identificar as empresas que têm a biotecnologia como atividade principal, bem como aquelas empresas que desenvolvem projetos na área.<sup>19</sup>

A pesquisa mapeou 237 empresas entre março e maio de 2011. Desse universo, 63 % dessas empresas foram criadas na última década, a grande maioria (80 %) pequenas e microempresas, e a maior parte (78 %) afirmou depender de financiamento do governo. Além disso, 86,1 % das empresas de biotecnologia no Brasil estavam concentradas

em quatro estados: SP (40,5 %), MG (24,5%), RJ (13,1 %) e RS (8 %). Sua distribuição por

área de atuação pode ser vista na Figura 9:



**Figura 9.** Empresas de biotecnologia no Brasil por área de atuação (%) – 2011. Fonte: CEBRAP (2011). Elaboração própria

Levantamento da OECD de 2013,<sup>10</sup> a partir de entrevistas nacionais em 31 países, aponta o Brasil na 12ª colocação em relação ao número de empresas de biotecnologia, atrás dos EUA (com 7.970 empresas), Espanha (3.025), França (1.481), Coreia do Sul (885), Alemanha (693), Austrália (527), Japão (523), Reino Unido (488), México (406), Nova Zelândia (369) e Bélgica (350).

Estudo recente sobre biotecnologia para saúde no Brasil<sup>10</sup> apontou a existência de três conjuntos de produtos nesse setor que utilizam técnicas da biotecnologia moderna: vacinas preventivas e terapêuticas; substâncias terapêuticas de base biotecnológica, como proteínas recombinantes, anticorpos monoclonais e hemoderivados recombinantes; e reagentes e kits de diagnóstico.

As empresas atuantes em saúde humana no Brasil<sup>20</sup> desenvolvem produtos, processos e pesquisas em segmentos como diagnóstico molecular, cultura de tecidos, dispositivos para terapia celular e testes pré-clínicos e ensaios clínicos, mas poucas estão voltadas

para o desenvolvimento de novas drogas, como as pesquisas em proteínas recombinantes, anticorpos monoclonais, vacinas e biofármacos. Sem contar o fato de que a produção de vacinas está concentrada em instituições públicas de pesquisa, como o Instituto Butantã e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Por isso, a produção de moléculas para atividade terapêutica é incipiente no setor privado brasileiro, a despeito de exemplos como o da Recepta, de São Paulo, e o da FK Biotecnologia, do Rio Grande do Sul. Assim, é possível afirmar que as maiores oportunidades para as empresas brasileiras de serviços em biotecnologia na área de saúde têm sido criadas no segmento de bioinformática a partir do sequenciamento genético.

No segmento de saúde animal, as empresas brasileiras com atividades biotecnológicas têm atuado, principalmente, com o diagnóstico genético de animais, com a pesquisa destinada ao desenvolvimento de novas terapias e vacinas, além do melhoramento genético de bovinos, sendo

que este último segmento tem proporcionado ganhos de produtividade da cadeia produtiva de carne e contribuído para que o País se consolide como o maior exportador de carne do planeta.<sup>20</sup>

No que diz respeito à agricultura, o Brasil tem sido um dos principais atores na condução de pesquisas transgênicas, graças ao apoio de instituições de P&D de ponta, como a Embrapa e as Universidades Públicas. Esse trabalho tem sido vital para o desenvolvimento de soja no cerrado, de frutas no Nordeste e de cana-de-açúcar.<sup>20</sup>

A liberação da soja transgênica no Brasil ocorreu apenas em 2003, ano da criação da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), cuja finalidade é fornecer apoio técnico-consultivo ao governo federal no que concerne a Política Nacional de Segurança relacionada a organismos geneticamente modificados (OGMs). Em 2009, o Brasil tornou-se o segundo maior produtor a utilizar plantas geneticamente modificadas, atrás apenas do EUA, conforme destacado na Tabela 1. Outro segmento relevante de atuação das empresas agrícolas nacionais intensivas em biotecnologia é o controle biológico de plantações, com utilização direta de organismos vivos e bioinseticidas.<sup>20</sup>

Também conhecido como manejo integrado de pragas (MIP), o controle biológico de plantações racionaliza o controle dos insetos-praga das culturas através da utilização de processos naturais e do uso racional de defensivos agrícolas para o controle de pragas. O controle biológico é uma importante estratégia que, por meio da liberação, incremento e conservação de inimigos naturais (parasitoides, predadores e microrganismos), impede que os insetos-praga atinjam níveis capazes de causar dano econômico, tendo, como principais vantagens, não deixar resíduo no ambiente e ser atóxico para o homem.<sup>21</sup>

No Brasil, existem inúmeros casos de sucesso do uso do controle biológico em diferentes culturas. Na cana de açúcar, o controle da broca da cana (*Diatraea*

*saccharalis*), principal praga da cultura no Brasil, é realizado basicamente com agentes de controle biológico, o parasitoide larval *Cotesia flavipes* e o parasitoide de ovos *Trichogramma galloi*. Na cultura da soja, o uso do parasitoide *Trissolcus basalidis* para o controle de percevejos fitófagos e de *Baculovirus anticarsia* para a lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*) são possibilidades bastante estudadas.<sup>21</sup>

Além de diversas espécies de insetos como agentes de controle biológico, existem outros grupos com grande potencial, como os microrganismos entomopatogênicos, onde se destacam os baculovírus, vírus específicos para algumas pragas de importância agrícola, como o *Baculovirus anticarsia*, com grande eficiência de controle da lagarta da soja, e o *Baculovirus spodoptera*, com boa eficiência de controle de *Spodoptera frugiperda*. Além desses, são exemplos de microrganismos entomopatogênicos os fungos *Metarhizium anisopliae* e *Beauveria bassiana*, largamente utilizados em culturas como a cana de açúcar e com bons resultados de controle da cigarrinhadas-raízes (*Mahanarva fimbriolata*).<sup>21</sup>

O manejo integrado de pragas (MIP) relacionado à cultura da soja, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, desenvolveu e estimulou o uso de *Baculovirus anticarsia* para o controle da lagarta da soja. Na safra 1997/1998, esse vírus foi utilizado em 2 milhões de hectares de soja no Brasil,<sup>21</sup> tornando-se o maior programa de controle biológico na ocasião. Desde então esse vírus foi utilizado em mais de 10 milhões de hectares, proporcionando ao país uma economia estimada em US\$ 100 milhões em agrotóxicos, sem considerar os benefícios ambientais resultantes da não aplicação de mais de 11 milhões de litros desses produtos.

Atualmente, com a ocorrência de *Helicoverpa armigera*, uma nova praga recentemente detectada em nosso País e que vem causando perdas significativas no sistema de produção, o controle biológico

tem sido relatado como uma das alternativas promissoras para o seu manejo.<sup>21</sup>

No que diz respeito à indústria de cana de açúcar no País, informações obtidas junto à União da Indústria de Cana de Açúcar (Única) em seu sítio na internet ([www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)) revelam a existência de 430 usinas e cerca de 70 mil produtores de cana-de-açúcar no Brasil. Além disso, o setor gera em torno de 1,2 milhões de empregos diretos, mais de US\$ 15 bilhões em exportações e um PIB da ordem de US\$ 48 bilhões/ano.

Outro resultado que merece destaque é o crescimento continuado da bioeletricidade obtida a partir da biomassa de cana-de-açúcar no Brasil. Se em 2010 foram gerados 10.141 GWh de energia a partir da biomassa de múltiplas origens, em 2015 esse número foi de 22.572 GWh (116,75 % de aumento),

sendo que 89 % desse total (20.169 GWh) foram obtidos a partir da biomassa de cana de açúcar. Esse volume de energia é suficiente para abastecer mais de 10 milhões de residências, além de proporcionar a redução de 8,6 milhões de toneladas em emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera e evitar o uso de 14 % da água nos reservatórios das hidrelétricas. Esse volume de bioeletricidade obtida a partir da biomassa de cana-de-açúcar ficou abaixo apenas da quantidade gerada pelas hidrelétricas e térmicas a gás, que entregaram, respectivamente, 351.927 GWh e 61.843 GWh em 2015.<sup>22</sup>

Essas informações reforçam a importância da biomassa na consolidação do Brasil como um dos países que mais produzem energia a partir de fontes renováveis,<sup>23</sup> como destaca a Figura 10.

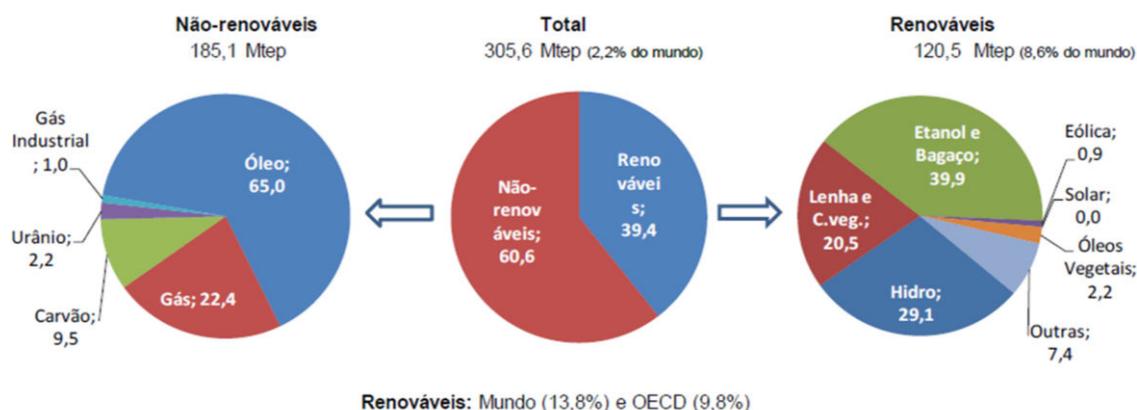
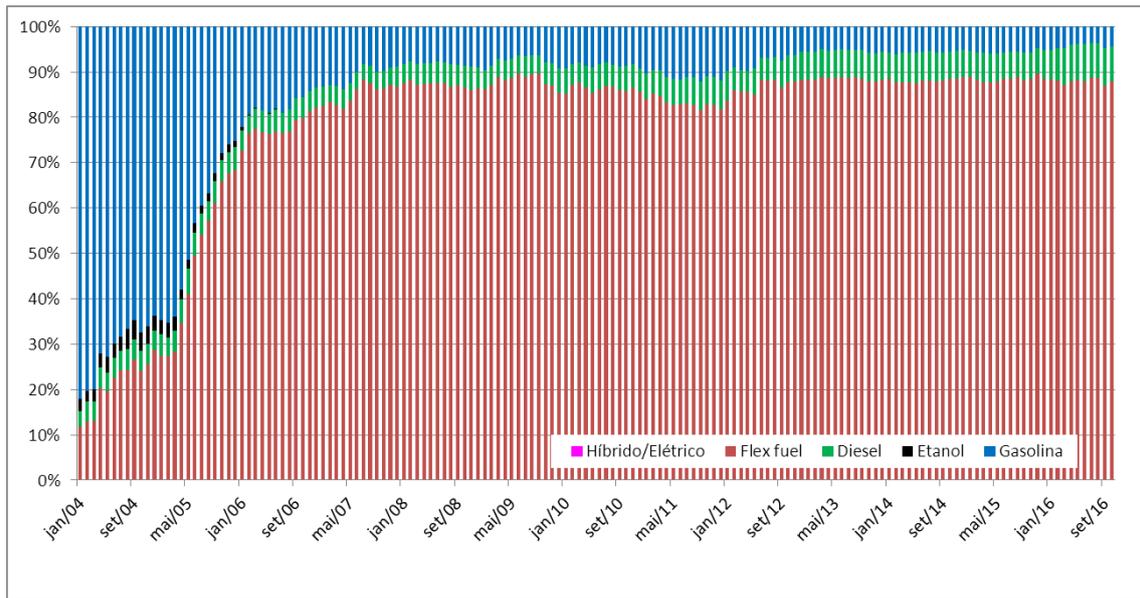


Figura 10. Matriz energética brasileira – 2014. Fonte: MME (2015)<sup>23</sup>. Elaboração própria

A importância da bioenergia no País também pode ser medida pelo crescimento da frota de veículos automotores de passeio que utilizam etanol de cana de açúcar. O número de licenciamentos de veículos leves, em outubro de 2016, foi de 155 mil, número

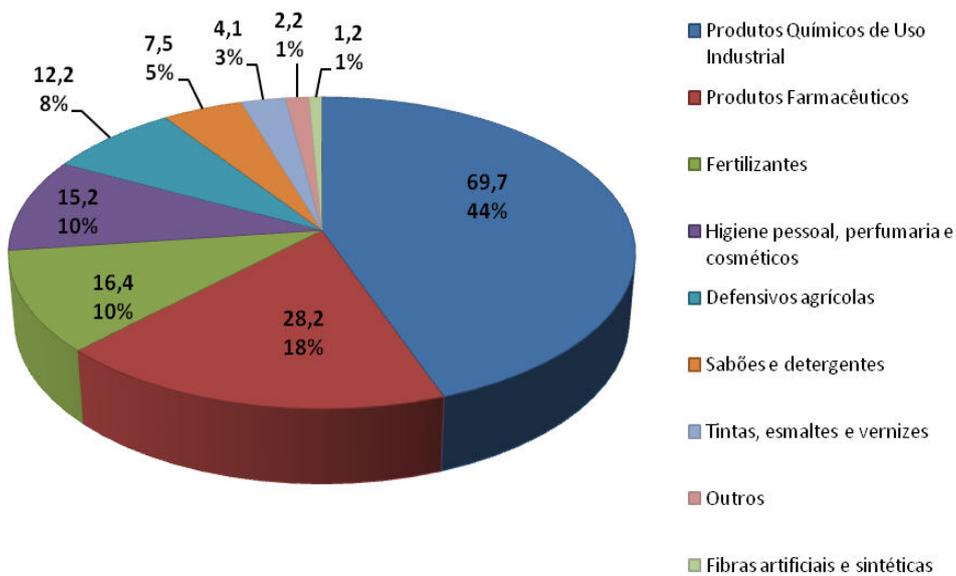
quase idêntico ao do mês anterior (redução de 0,04 %) e 16 % menor em relação ao mesmo período do ano anterior. Desse total, os carros *flex-fuel* representaram 87,9 %, os carros exclusivamente movidos à gasolina, 4,3 % e os carros a diesel, 7,7 % – Figura 11.



**Figura 11.** Evolução no licenciamento de carros *flex-fuel*. Fonte: Carta da Anfavea.<sup>24-32</sup> Elaboração própria

Por fim, mas não menos importante, vale destacar o papel da indústria química nacional e como as novas fronteiras exploradas pela bioeconomia têm modificado a atuação desse setor. Em 2014, segundo informações da Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim),<sup>33</sup> o faturamento

líquido da indústria química brasileira, considerando todos os segmentos que a compõem, alcançou US\$ 156,7 bilhões, número praticamente semelhante àquele observado no ano anterior (US\$ 156,2 bilhões). A composição desse faturamento pode ser vista na Figura 12.



**Figura 12.** Composição do faturamento da indústria química no Brasil (2014). Fonte: Abiquim (2014)<sup>33</sup>. Elaboração própria

A evolução desse faturamento pode ser vista na Tabela 2. Conforme é possível observar, os segmentos que mais aumentaram sua participação no faturamento da indústria química no Brasil foram os defensivos agrícolas (aumento de

578 % em relação a 1996), fertilizantes (aumento de 447 %), produtos farmacêuticos (aumento de 271 %) e de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (aumento de 262 %).

**Tabela 2.** Evolução do faturamento da indústria química no Brasil por segmento. Fonte: Abiquim (2014).<sup>33</sup> Elaboração própria

Segmentos	1996	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Produtos Químicos de Uso Industrial	19,9	55,1	62,8	46,9	61,2	73,8	69,5	72,5	69,7
Produtos Farmacêuticos	7,6	14,6	17,1	15,4	20,6	25,8	25,4	26,9	28,2
Fertilizantes	3,0	9,0	14,2	9,7	11,5	17,4	17,0	15,8	16,4
Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	4,2	8,8	10,5	11,1	13,4	15,1	14,9	14,9	15,2
Produtos de limpeza e afins	2,8	5,5	6,3	6,1	7,7	8,7	7,6	7,1	7,5
Defensivos agrícolas	1,8	5,4	7,1	6,6	7,3	8,5	9,7	11,5	12,2
Tintas, esmaltes e vernizes	2,0	2,4	3,0	3,0	3,9	4,5	4,3	4,2	4,1
Fibras artificiais e sintéticas	n.d.	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,2	1,2
Outros	1,5	1,6	1,7	1,5	1,8	2,2	2,1	2,2	2,2
<b>Total</b>	<b>42,8</b>	<b>103,5</b>	<b>123,8</b>	<b>101,3</b>	<b>128,5</b>	<b>157,3</b>	<b>151,8</b>	<b>156,3</b>	<b>156,7</b>

Em razão da crise internacional, que derrubou a demanda mundial e puxou os preços para baixo, as exportações da indústria química brasileira mantiveram-se basicamente no mesmo nível observado nos anos de 2012 e 2013, atingindo a cifra de US\$ 14,4 bilhões. As importações tiveram comportamento semelhante e alcançaram US\$ 46 bilhões. Com isso, o déficit da balança comercial de produtos químicos passou de US\$ 32 bilhões em 2013 para US\$ 31,6 bilhões em 2014. Cumpre salientar que o PIB brasileiro em 2014 permaneceu praticamente estável em relação ao ano anterior, com aumento de 0,1 %.

Por outro lado, estudo do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos – Dieese (2015)<sup>34</sup> destaca a relevância do complexo industrial químico para a economia brasileira. Dados de 2013 apontam que o setor químico no Brasil representou 31,4 % do Valor Bruto da Produção Industrial nacional – dados coletados a partir da Pesquisa Industrial Anual (PIA), que incluem a extração e refino de petróleo, produção de etanol, indústria de papel e celulose e vidro – e proporcionou mais de 740 mil empregos diretos em 2014.

Em outubro de 2014, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) divulgou um estudo contratado

junto à Bain & Company Gas Energy, um escritório de consultoria localizado em São Paulo, sobre o potencial de diversificação da indústria química brasileira.<sup>35</sup> No mesmo foram apontados dois fatores principais para o entendimento dos motivos do imenso déficit comercial do complexo químico no Brasil: o desequilíbrio entre o crescimento da produção nacional e a evolução do consumo doméstico; e o crescimento do valor agregado das importações brasileiras em relação às exportações de produtos químicos produzidos nacionalmente.

Além disso, o estudo identificou e classificou 66 segmentos na indústria química e calculou as oportunidades de investimento em 21 desses segmentos que, se realizados, poderão reduzir o déficit anual da balança comercial de químicos em até US\$ 38 bilhões em 15 anos, com potencial de geração de empregos superior a 19 mil novos postos de trabalho.<sup>35</sup>

Os segmentos mais promissores foram o de cosméticos e produtos de higiene pessoal, seguidos por defensivos agrícolas, aditivos alimentícios para animais, produtos químicos para E&P (produtos utilizados nas diferentes etapas de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás), aromas, sabores e fragrâncias, derivados de celulose, aditivos alimentícios para humanos, derivados de

silício, tensoativos, derivados do butadieno e isopreno, derivados de compostos aromáticos, poliuretanos e seus intermediários, lubrificantes, fibras de carbono, poliamidas especiais, poliésteres de alta tenacidade, oleoquímicos e químicos com base em fontes renováveis.<sup>35</sup>

Cumpra salientar que a biotecnologia vem sendo aplicada na maioria dos setores supramencionados, configurando-se como uma grande promessa para a solução dos desafios globais e oferecendo novo potencial para o atendimento da demanda mundial por alimentos, nutrição animal, combustível, materiais e mais, reduzindo, ao mesmo tempo, nosso impacto no meio ambiente.

Nesse sentido, vale a pena destacar alguns exemplos de empresas brasileiras que têm-se beneficiado da biotecnologia na indústria química, como as grandes empresas produtoras de açúcar e etanol, que têm buscado desenvolver novas tecnologias para produtos e processos com atividades biotecnológicas além de sua atividade principal. Alguns desses exemplos,<sup>20</sup> como o Grupo São Martinho, empresa de São Paulo produtora de açúcar e etanol, que fundou uma unidade (Omtex) para produzir derivados de levedura por meio de processos biotecnológicos para os mercados de alimentação humana e animal. O Grupo Balbo, também de São Paulo, tem participação na PHB Industrial, que desenvolve a tecnologia da resina plástica biodegradável a partir do açúcar da cana.

Há outros casos como o da Raízen, empresa brasileira resultado de *joint venture* entre Cosan e Shell, que atua em etanol de segunda geração com pesquisa em novas linhagens de leveduras para fermentação industrial de etanol, além da GranBio, empresa brasileira de biotecnologia industrial que cria soluções para transformar biomassa em produtos renováveis, tais como biocombustíveis (sua fábrica - Bioflex 1 - está em funcionamento desde 2014 em Alagoas, onde a produção de biocombustível se dá a partir da palha da cana-de-açúcar, matéria-prima que até então era descartada ou

queimada nos canaviais) e bioquímicos (nessa área a GranBio é parceira da Rhodia - Grupo Solvay - em um projeto mundialmente pioneiro para produção de bio n-butanol, usado na fabricação de tintas e solventes, que acabou dando origem à SGBio). Entre as multinacionais, a Amyris, fundada por pesquisadores da Universidade da Califórnia (Berkeley) e com investimento da Total (empresa francesa do setor de petróleo e gás), está no Brasil desde 2007 trabalhando no desenvolvimento de bioquerosene.<sup>20</sup>

No segmento de papel e celulose, a Verdartis, uma pequena empresa criada a partir de pesquisas na USP Ribeirão Preto com financiamento público (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Fapesp, Financiadora de Estudos e Projetos - Finep e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq), desenvolve uma enzima para branqueamento de celulose que atua na quebra do substrato da celulose, reduzindo a quantidade de produtos químicos no processo de produção.<sup>20</sup>

A empresa Itatijuca Biotech,<sup>20</sup> uma startup criada em 2012 por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Universidade Estadual Paulista (Unesp) e Universidade de São Paulo (USP), que vem utilizando técnicas da biotecnologia para o tratamento de minérios, rejeitos e efluentes de difícil gestão, a partir de processos de lixiviação bacteriana, evitando os problemas dos métodos convencionais de processamento mineral, que liberam dióxido de carbono e enxofre e materiais tóxicos no ambiente.

Os processos de lixiviação baseiam-se na dissolução de rochas com a perspectiva de recuperar metais contidos nas mesmas (principalmente cobre). Informações coletadas no sítio da empresa Itatijuca na internet (<http://itajutuca.weebly.com>) dão conta de que a empresa utiliza microorganismos oxidantes de compostos sulfetados e ferrosos como as bactérias *Thiobacillus Ferrooxidans* e a *Thiobacillus Thiooxidans*. O processo consiste de três

etapas: a preparação do material de onde será recuperado o cobre e/ou outros metais, a etapa de contato do material com os micro-organismos oxidantes para a geração de uma solução de lixívia contendo Ácido Sulfúrico e os metais presentes no material solubilizado e a etapa de separação dos metais contidos na solução de lixívia.

#### 4. Considerações finais

O panorama traçado nas sessões anteriores ilustra não apenas a importância atual da bioeconomia no Brasil e no mundo, mas também deixa claro o seu enorme potencial de crescimento.

No caso dos países emergentes, bem como no de alguns países menos desenvolvidos, a bioeconomia certamente há de se beneficiar da grande disponibilidade de biomassa. No entanto, para realizar plenamente seu potencial, é necessário que os países atendam alguns requisitos descritos a seguir.

É fundamental poder contar com alguns fatores essenciais ao desenvolvimento de um ambiente propício à inovação biotecnológica: i) capital humano, definido por Becker<sup>36</sup> como um conjunto de capacidades produtivas que uma pessoa adquire em razão dos conhecimentos, gerais ou específicos, acumulados e que podem ser utilizados na produção de riqueza; ii) infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento; iii) proteção à propriedade intelectual; iv) regulamentação adequada; v) regras para transferência de tecnologia; vi) incentivos comerciais e de mercado; e vii) um marco legal que garanta segurança jurídica.

Atendidos esses requisitos, os países que pretendem desenvolver uma bioeconomia moderna e dinâmica deveriam: i) caracterizar o setor de biotecnologia como área estratégica; ii) formular um plano de desenvolvimento do setor, em escala nacional; iii) identificar e utilizar as melhores práticas existentes; iv) alavancar a capacitação nacional na área; v) estimular a

cooperação local e internacional; e vi) mensurar desempenho com avaliações frequentes e isentas.

O Brasil tem sido um pioneiro na pesquisa e utilização de produtos agrícolas geneticamente modificados, bem como no desenvolvimento de uma biotecnologia agrícola de ponta. O governo brasileiro, sobretudo por intermédio da Embrapa, vem atuando, há décadas, na pesquisa, desenvolvimento e comercialização desse conhecimento, sendo a biotecnologia considerada prioridade estratégica nacional desde 2003. Isso tornou-se oficial por meio do Decreto no. 6041, de 2007, que estabelece uma “Política de Desenvolvimento da Biotecnologia”.

Essas atividades e iniciativas certamente apontam na direção correta, mas há muito ainda por fazer. Além disso, o ritmo de implantação de novas medidas em prol do desenvolvimento de uma bioeconomia nacional deve ser intensificado, sob pena de o País perder oportunidades.

A título de comparação, é bom lembrar o que ocorreu com as tecnologias digitais: nos últimos 30 anos, uma porção substancial do dinheiro gerado no mundo dependeu do custo do processamento digital, que cai pela **metade** a cada 18 meses, ao passo que a capacidade de processamento **dobra**.

Como consequência, enquanto em 2006 apenas 6 % da informação global era digitalizada, hoje essa cifra atinge impressionantes 99 %. Códigos digitais que no passado recente eram uma linguagem obscura dominada por “nerds”, hoje representam uma linguagem quase universal. E os países com empresas que “surfaram” nessa onda digital, como a Coreia do Sul e Singapura, podem creditar boa parte de seu progresso econômico a esse fato.

Na medida em que os custos decrescem e a quantidade de produtos da bioeconomia aumenta, um fenômeno similar poderá ocorrer. É crucial para o Brasil antecipar-se a essa tendência, uma vez que o processo de mudança em nossos produtos, naqueles setores em que somos competitivos e com

capacidade para exportar, já está em curso. Não faz muito tempo, a demora do Brasil em incorporar organismos geneticamente modificados, na comparação com a Argentina, por pouco não compromete nossa capacidade de crescimento.

As ciências da vida, base da biotecnologia, vêm permeando, modificando e impulsionando inúmeras áreas da economia. O Brasil, e a América Latina em geral, precisam desenvolver competências nessa área do conhecimento, a fim de aproveitar todo seu potencial e exercer o protagonismo esperado, do mesmo modo que Coreia do Sul e Singapura o fizeram com a revolução digital que se anunciava nos anos 1960. Assim, não basta ter uma **biodiversidade** incomparável. É necessário superar os obstáculos e desenvolver capacidades para transformá-la em conhecimento e riqueza de maneira sustentável!

#### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Magalhães, M. F.; Hasenclever, L. O fluxo circular da renda revisitado em uma perspectiva de sustentabilidade: os intangíveis e o posicionamento das organizações. *Seminário de Pesquisa UFRJ*, Rio de Janeiro, 2013. [\[Link\]](#)
- <sup>2</sup> Barbosa, L. C. A.; Marques, C. A. Sustentabilidade ambiental e postulados termodinâmicos à luz da obra de Nicholas Georgescu-Roegen. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* **2015**, *19*, 1124. [\[CrossRef\]](#) [\[Link\]](#)
- <sup>3</sup> Georgescu-Roegen, N. Energy and Economic Myths. *Southern Economic Journal* **1975**, *41*, 347. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>4</sup> Barros, G. S. C.; Neto, R. M. A “velha” e a nova bioeconomia: desafios para o desenvolvimento sustentável. *Texto para discussão CEPEA*, Piracicaba, 2007. [\[Link\]](#)
- <sup>5</sup> Cechin, A. D.; Veiga, J. E. da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. *Revista de Economia Política* **2010**, *30*, 438. [\[CrossRef\]](#) [\[Link\]](#)
- <sup>6</sup> Osborne, M.; *The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda*, OECD Observer, 2009. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>7</sup> Juma, C.; Konde, V.; *The new bioeconomy: industrial and environmental biotechnology in developing countries. United Nations Conference on Trade and Development*, New York, 2001. [\[Link\]](#)
- <sup>8</sup> Vargas, M.; Alves, N.; Pimentel, V.; Reis, C.; Pieroni, J. Incorporação da rota biotecnológica na indústria farmacêutica brasileira: desafios, perspectivas e implicações para políticas. Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro, 2016. [\[Link\]](#)
- <sup>9</sup> Deloitte Touche Tohmatsu Limited. Global life sciences outlook: moving forward with cautions optimism. Report, 2016. [\[Link\]](#)
- <sup>10</sup> Reis, C.; Pieroni, J. P.; Souza, J. O. B. de. Biotecnologia para saúde no Brasil. *BNDES Setorial*. Rio de Janeiro, n. 32, 2010. [\[Link\]](#)
- <sup>11</sup> Confederação Nacional da Indústria. *Bioeconomia: uma agenda para o Brasil*. CNI: Brasília, 2013. [\[Link\]](#)
- <sup>12</sup> Confederação Nacional da Indústria. *Bioeconomia: oportunidades, obstáculos e agenda*. CNI: Brasília, 2014. [\[Link\]](#)
- <sup>13</sup> Organisation for Economic Co-operation and Development/Food and Agriculture Organization of the United Nations. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2015*, *OECD Publishing*. Paris, 2015. [\[CrossRef\]](#) [\[Link\]](#)
- <sup>14</sup> House, US White. National bioeconomy blueprint. *The White House*. Washington DC, April, 2012. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>15</sup> James, C. 2014 Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Application (ISAAA). Ithaca, NY, Brief, nº 49, ISAAA, 2014. [\[Link\]](#)
- <sup>16</sup> Global chemicals market to grown to 5.1 trillion by 2020. Consultancy UK, 2015. [\[Link\]](#)
- <sup>17</sup> Kim, M. The future of beauty and personal care in the Globe and Asia Pacific. Euromonitor International, 2015. [\[Link\]](#)

- <sup>18</sup> Bianchi, C. A indústria brasileira de biotecnologia: montando o quebra cabeça. *Revista Economia & Tecnologia*. Curitiba **2013**, 9, 90. [[CrossRef](#)]
- <sup>19</sup> Centro Brasileiro de Análise e Planejamento - Cebrap. *Brazil Biotech Map 2011*. São Paulo, 2011. [[Link](#)]
- <sup>20</sup> Freire, C. E. T.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 2014. [[Link](#)]
- <sup>21</sup> Simonato, J.; Grigolli, J. F. J.; e De Oliveira, H. N. Controle biológico de insetos-praga na soja. Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. [[Link](#)]
- <sup>22</sup> Única. Coletiva de imprensa, *Estimativa Safra 2016/2017*, São Paulo, 2016. [[Link](#)]
- <sup>23</sup> Ministério de Minas e Energia (MME). Resenha Energética Brasileira, *Exercício de 2014*. Brasília, 2015. [[Link](#)]
- <sup>24</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2006, n. 236. [[Link](#)]
- <sup>25</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2007, n. 248. [[Link](#)]
- <sup>26</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2008, n. 260. [[Link](#)]
- <sup>27</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2009, n. 272. [[Link](#)]
- <sup>28</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2011, n. 296. [[Link](#)]
- <sup>29</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2012, n. 308. [[Link](#)]
- <sup>30</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2014, n. 332. [[Link](#)]
- <sup>31</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2016, n. 356. [[Link](#)]
- <sup>32</sup> CARTA da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea). São Paulo, 2016, n. 366. [[Link](#)]
- <sup>33</sup> Associação Brasileira da Indústria Química - Abiquim. O desempenho da indústria química brasileira em 2014. *Livreto de Dados Abiquim*, São Paulo, 2014. [[Link](#)]
- <sup>34</sup> Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos – Dieese. Panorama setorial do complexo industrial químico no Brasil. *Boletim de subsídio às campanhas salariais do setor químico*. São Paulo, 2015. [[Link](#)]
- <sup>35</sup> Energy, Gas et al. Potencial de diversificação da indústria química brasileira: relatório final. São Paulo, 2014. [[Link](#)]
- <sup>36</sup> Becker, G. S.; *Human capital a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*, Columbia University Press: New York, 1964. [[Link](#)]