

BIOECONOMIA E A INDÚSTRIA BRASILEIRA



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

BIOECONOMIA E A INDÚSTRIA BRASILEIRA

GONÇALO PEREIRA

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Gabinete da Presidência

Teodomiro Braga da Silva

Chefe do Gabinete - Diretor

Diretoria de Desenvolvimento Industrial

Carlos Eduardo Abijaodi

Diretor

Diretoria de Relações Institucionais

Mônica Messenberg Guimarães

Diretora

Diretoria de Serviços Corporativos

Fernando Augusto Trivellato

Diretor

Diretoria Jurídica

Hélio José Ferreira Rocha

Diretor

Diretoria de Comunicação

Ana Maria Curado Matta

Diretora

Diretoria de Educação e Tecnologia

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor

Diretoria de Inovação

Gianna Sagazio

Diretora

BIOECONOMIA E A INDÚSTRIA BRASILEIRA



Brasília, 2020



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

© 2020. CNI – **Confederação Nacional da Indústria.**

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade – GEMAS

FICHA CATALOGRÁFICA

C748b

Confederação Nacional da Indústria.
Bioeconomia e a Indústria Brasileira / Confederação Nacional da Indústria,
Gonçalo Pereira. – Brasília : CNI, 2020.

118 p. : il.

ISBN: 978-65-86075-32-8

1. Bioeconomia. 2. Políticas Públicas. I. Título.

CDU: 606

CNI
Confederação Nacional da Indústria
Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC
Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992
sac@cni.org.br

LISTA DE SIGLAS

- ANP** – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- B10** – Mistura de 10% de biodiesel no diesel fóssil
- B15** – Mistura de 15% de biodiesel no diesel fóssil
- CBios** – Créditos de Descarbonização
- CC** – Célula Combustível
- CC-PEM** – Proton Exchange Membrane Fuel Cell (Célula Combustível de Membrana de Troca de Prótons)
- CC-SOFC** – Solid Oxide Fuel Cell (Célula Combustível de Óxido Sólido)
- CNPE** – Conselho Nacional de Política Energética
- CO₂** – Gás Carbônico
- CO_{2eq}** – Gás Carbônico Equivalente
- CRISPR** – Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas)
- CTA** – Conhecimento Tradicional Associado
- CTNBio** – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
- DNA** – Deoxyribonucleic Acid (Ácido Desoxirribonucléico)
- EUA** – Estados Unidos da América
- HIB** – Hubs de Inovação em Bioeconomia
- HIV** – Human Immunodeficiency Virus (Vírus da Imunodeficiência Humana)
- IA** – Inteligência Artificial
- ICTs** – Institutos de Ciência, Tecnologia e Inovação
- INPI** – Instituto Nacional de Propriedade Industrial
- OCDE** – Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico
- OGMs** – Organismos Geneticamente Modificados
- P&D** – Pesquisa e Desenvolvimento
- PD&I** – Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
- PET** – Polietileno tereftalato
- PI** – Propriedade Intelectual
- PIB** – Produto Interno Bruto
- PNB** – Política Nacional de Biossegurança
- PNPB** – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
- PTT** – Politereftaleno tereftalato
- RenovaBio** – Política Nacional dos Biocombustíveis
- RNA** – Ribonucleic Acid (Ácido Ribonucleico)
- UE** – União Europeia

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	9
SUMÁRIO EXECUTIVO.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 A BIOECONOMIA NO BRASIL – PANORAMA NACIONAL	23
3 O VALOR DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA.....	27
4 REGULAMENTAÇÃO ASSOCIADA À BIOECONOMIA	35
5 PROPRIEDADE INTELECTUAL E INOVAÇÃO	41
6 BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOENERGIA.....	51
7 COMMODITIES QUÍMICAS – “BUILDING BLOCK CHEMICALS”	63
8 QUÍMICOS DE ALTO VALOR AGREGADO – FÁRMACOS E COSMÉTICOS	71
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
REFERÊNCIAS	89
GLOSSÁRIO.....	103
APÊNDICE: OS FUNDAMENTOS PARA ENTENDER E OPERAR A BIOECONOMIA	109

APRESENTAÇÃO

A Bioeconomia é resultado de uma revolução na inovação aplicada aos recursos biológicos. Está diretamente relacionada à invenção, ao desenvolvimento, e ao uso de produtos e processos nas áreas da saúde humana, da produtividade agroindustrial, da biotecnologia e de vários segmentos industriais.

O Brasil conta com vantagens comparativas capazes de proporcionar excelentes oportunidades nesse campo. Sua enorme biodiversidade é fonte importante para a obtenção de vários materiais para a produção, como biomassa, corantes, óleos vegetais, gorduras, fitoterápicos, antioxidantes e óleos essenciais. Esses itens são matérias-primas para diversos setores industriais, a exemplo de produtos de higiene e limpeza, alimentos, bebidas, fármacos e cosméticos.

O país também apresenta vasta proporção do território cultivável. Com uma agricultura desenvolvida em larga escala, é grande produtor de alimentos, fibras e bioenergia, tem a maior floresta tropical do planeta e uma bem-sucedida experiência em biocombustíveis.

Contamos, ainda, com conhecimento acumulado e com Institutos de Ciência e Tecnologia que, se bem coordenados, são capazes de consolidar o nosso diferencial em Bioeconomia. Destacamos os institutos SENAI de Inovação e de Tecnologia, que atuam como ponte entre o conhecimento acadêmico e as soluções buscadas pelas empresas.

Para transformar nosso potencial comparativo em vantagens competitivas, fortalecendo experiências exitosas e aperfeiçoando os mecanismos existentes, precisamos remover as barreiras nos setores público e privado que reduzem a nossa capacidade de competir nos mercados interno e externo. É necessário construir um ambiente de negócios favorável, com regras claras e segurança jurídica.

Este estudo apresenta a Bioeconomia a um público amplo. A ideia é que cada vez mais pessoas entendam e se apropriem dos conhecimentos fundamentais e das ferramentas para atuar nesse setor. Ao fim, é proposto um conjunto de recomendações na esfera do desenvolvimento científico e tecnológico, e da regulamentação e investimentos, para subsidiar a elaboração de políticas voltadas ao tema.

A Bioeconomia traz uma oportunidade única para que o Brasil ocupe um papel de destaque entre as economias mundiais. Pensar estrategicamente e buscar a atuação conjunta entre setor produtivo, governo e academia fazem parte do caminho para alcançarmos esse resultado.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade

Presidente da CNI



SUMÁRIO EXECUTIVO



O mundo vive uma revolução baseada no conhecimento. A economia linear, movida à energia fóssil, não tem sustentabilidade no longo prazo e é uma das motivadoras das alterações da composição da atmosfera, que levam às mudanças climáticas. Nesse cenário, a Bioeconomia desponta como uma nova forma de se fazer a gestão do planeta a partir de ciência, tecnologia e inovação, tornando possível a substituição dos combustíveis fósseis e o desenvolvimento de uma nova indústria. Essa nova indústria se apropria das soluções desenvolvidas pela natureza para a produção de combustíveis, commodities químicas e moléculas de alto valor agregado.

Temos, agora, uma oportunidade de reindustrializar o País a partir de novas premissas e de uma série de vantagens comparativas: temos um enorme território com terras férteis, água e alta insolação; além da maior biodiversidade do planeta, onde podemos encontrar as soluções da natureza para praticamente todas as reações químicas e bioquímicas a serem aplicadas na indústria; temos uma frota de veículos movida em grande parte por biocombustíveis, o que gerou o desenvolvimento de uma cadeia de inovação completa e que pode ser replicada; temos uma infraestrutura razoável e que pode ser expandida por todo o País de modo a diversificar e descentralizar a nossa indústria; temos hoje marcos regulatórios para lidar com Propriedade Intelectual, Biodiversidade e Conservação da Natureza; e, temos um enorme conhecimento e capacitação dentro dos nossos ICTs (Institutos de Ciência, Tecnologia e Inovação), que hoje estão preparados para interagir com o setor produtivo e gerar inovações.

*Existem diversas definições de Bioeconomia, porém, mais importante que uniformizar definições, é compreender o seu conceito moderno, já que dificilmente chegaremos a um consenso global. **Existem tantas possibilidades em Bioeconomia quanto ecossistemas e modelos socioeconômicos existentes no mundo.***

*Outro passo importante no desenvolvimento dessa agenda é a valoração da biodiversidade brasileira. Essa valoração necessita do aprofundamento do modelo da Bioeconomia, no qual a exploração inteligente da diversidade biológica se torna fonte de riqueza. **Pensando na Bioeconomia, como uma forma de valorizar a marca biodiversidade brasileira.***

A Bioeconomia emprega tecnologias inovadoras a fim de originar uma ampla diversidade de produtos, a partir de recursos biológicos. Logo, a Bioeconomia tem diversos elementos positivos para unir suas partes interessadas em torno de um objetivo comum: tornar o planeta mais sustentável e nossas sociedades economicamente viáveis, fazendo uso inteligente da biodiversidade.

Existem diversas definições de Bioeconomia, porém, mais importante que uniformizar definições, é compreender o seu conceito moderno, já que dificilmente chegaremos a um consenso global. Existem tantas possibilidades em Bioeconomia quanto ecossistemas e modelos socioeconômicos existentes no mundo.

A motivação para promover o desenvolvimento da Bioeconomia varia de acordo com a quantidade e os recursos naturais disponíveis, a especialização e o desenvolvimento econômico de um país. Embora o Brasil tenha uma imensa riqueza natural, o tamanho e a complexidade da sua sociedade não permitem que a economia do país se baseie apenas nas atividades de produção primária, que geram muito volume, mas pouco valor agregado. Dessa forma, é imprescindível a diversificação da produção brasileira, aumentando a proporção de produtos de alto valor agregado na sua balança comercial.

Para se tornar uma potência em Bioeconomia, a rede de inovação existente no país precisa ser expandida, integrando os diferentes atores para a geração de novas tecnologias a partir de recursos biológicos.

Outro passo importante no desenvolvimento dessa agenda é a valoração da biodiversidade brasileira. Essa valoração necessita do aprofundamento do modelo da Bioeconomia, no qual a exploração inteligente da diversidade biológica se torna fonte de riqueza. Pensando na Bioeconomia, como uma forma de valorizar a marca biodiversidade brasileira.

A biodiversidade pode subsidiar a Quarta Revolução Industrial ao fornecer materiais a serem transformados em fonte de riqueza. Se conseguir se apropriar de forma sustentável dessa biodiversidade, o Brasil pode se reinventar como superpotência tropical da biodiversidade, o que, forçosamente, se dará a partir da conexão entre Conhecimento e Empreendedorismo, como bases para a Inovação.

Precisamos transformar as nossas vantagens comparativas em vantagens competitivas, chamando a atenção de investidores e empresários, de diferentes portes, para as oportunidades da Bioeconomia. É preciso investir na simplificação e facilitação dos processos de interação entre as ICTs e o setor produtivo, para que, juntos, possamos descobrir, inventar e inovar. Além disso, é fundamental remover os gargalos e as barreiras que hoje reduzem a nossa competitividade, tanto no setor público como no produtivo.

Este estudo tem como objetivo apresentar a Bioeconomia como uma oportunidade de negócios, indicando ferramentas para a atuação nesse setor. Os capítulos tratam dos conceitos de Bioeconomia pelo mundo; do valor tangível da natureza; das políticas públicas específicas no Brasil e no mundo; da conceituação e regulamentação da propriedade intelectual e do acesso à biodiversidade; da geração de energia a partir da biomassa; da produção de commodities químicas e moléculas de alto valor agregado; e, por fim, formula um conjunto de recomendações para impulsionar essa agenda no Brasil.

Nesse estágio, o trabalho visa a oferecer os subsídios para que um maior número de atores relevantes perceba o tamanho da oportunidade e se mobilize para gerar um Estratégia de País para a Bioeconomia com protagonismo da indústria, que será o principal vetor para a geração de riquezas, emprego qualificado e renda.

Nesse estágio, o trabalho visa a oferecer os subsídios para que um maior número de atores relevantes perceba o tamanho da oportunidade e se mobilize para gerar um Estratégia de País para a Bioeconomia com protagonismo da indústria, que será o principal vetor para a geração de riquezas, emprego qualificado e renda.



1 INTRODUÇÃO



O que é exatamente a Bioeconomia e como considerá-la para fins de formulação de políticas públicas? O termo foi definido pela primeira vez em 1998 como

“uma parte da economia que utiliza novos conhecimentos biológicos com propósitos comerciais e industriais e para a melhoria do bem-estar humano” (ENRIQUEZ, 1998).

Em 2009, a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OCDE) trouxe a seguinte definição:

“um mundo no qual a biotecnologia representa uma parcela significativa da produção econômica, sendo guiada pelos princípios do desenvolvimento sustentável” (OECD, 2009).

Ela pode consistir, ainda, em

“transformação do conhecimento em ciências biológicas em produtos ambientalmente amigáveis e competitivos” (SASSON, A.; MALPICA, C., 2018).

“utilização de novos conhecimentos científicos e tecnologias emergentes para o desenvolvimento de processos de base biológica e a transformação de recursos naturais em produtos e serviços sustentáveis” (BIOÖKONOMIERAT, 2015a).

“(…) toda a cadeia de valor que é orientada pelo conhecimento científico avançado e a busca por inovações tecnológicas na aplicação de recursos biológicos e renováveis em processos industriais para gerar atividade econômica circular e benefício social e ambiental coletivo” (ABBI, 2019).

Mais importante do que memorizar definições é compreender o seu conceito moderno: a Bioeconomia emprega novas tecnologias a fim de originar uma ampla diversidade de produtos.

Engloba as indústrias de processamento e serviços e relaciona-se ao desenvolvimento e à produção de fármacos, vacinas, enzimas industriais, novas variedades vegetais e animais, bioplásticos e materiais compósitos, biocombustíveis, produtos químicos de base biológica, cosméticos, alimentos e fibras (BIOÖKONOMIERAT, 2015; SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018). Desse modo, a Bioeconomia tem muitos elementos positivos para unir a maioria de suas partes interessadas em um objetivo comum: tornar o planeta mais sustentável e nossas sociedades economicamente viáveis, fazendo uso inteligente da biomassa e da biodiversidade (AGUILAR; WOHLGEMUTH; TWARDOWSKI, 2018).

Ainda não existe uma única estratégia de Bioeconomia disponível para o mundo, havendo dezenas de formulações nos diversos países (AGUILAR; WOHLGEMUTH; TWARDOWSKI, 2018; OECD, 2018). É fato que dificilmente chegaremos a uma Bioeconomia única, mas sim a tantas Bioeconomias quanto ecossistemas e modelos socioeconômicos existentes no mundo. Ainda assim, a grande maioria dos governos e cientistas concorda que esse novo sistema econômico deve ser baseado no uso sustentável dos recursos biológicos (AGUILAR; WOHLGEMUTH; TWARDOWSKI, 2018). Destaca-se, ainda, que já é consenso que a Bioeconomia e a economia circular são conceitos diferentes, mas altamente complementares.

Em 2012, a União Europeia (UE) apresentou a sua primeira estratégia dedicada à Bioeconomia, focando em desenvolvimento de novas tecnologias e processos, desenvolvimento de mercados e competitividade, e promoção de uma estreita colaboração entre os elaboradores de políticas públicas e as partes interessadas.

Além disso, o *Programa Horizon 2020* (2014-2020) proporcionou a base para um maior desenvolvimento das estratégias nacionais de investigação e inovação na Europa (BIOÖKONOMIERAT, 2015a). De acordo com essas definições, estima-se que, em 2015, a Bioeconomia tenha sido responsável por gerar 18 milhões de empregos, com uma movimentação de 2,3 trilhões de euros e uma produção agregada de 621 bilhões de euros na EU (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Ainda que movimente uma quantidade considerável de dinheiro, a Bioeconomia nos países europeus é frequentemente tratada no contexto mais amplo das estratégias de crescimento e economia circular (BIOÖKONOMIERAT, 2015a).

Diferentemente de outros locais como a América do Norte, a UE não classifica inovações médico-biotecnológicas como parte da Bioeconomia, focando basicamente em substituir os combustíveis fósseis e a redução associada de gases de efeito estufa ao mesmo tempo em que cria uma vantagem tecnológica por meio de novos métodos de processamento de biomassa para fabricar novos produtos (BIOÖKONOMIERAT, 2015b). Como exemplo, o governo francês definiu Bioeconomia como “a produção, o uso e a transformação de biorrecursos, de forma sustentável, para atender às necessidades de alimentos, de materiais e de eficiência energética para a sociedade” (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

As indústrias médica e farmacêutica não são referenciadas. Isso pode ser associado a uma questão de ordem prática, na qual a junção da indústria farmacêutica, já muito bem estabelecida e regulamentada, com as biorrefinarias¹, setor com processos, produtos e modelos de negócio em desenvolvimento, não é adequada para efeitos de políticas públicas e operacionais e para as empresas privadas, pois estas apresentam dinâmicas setoriais distintas decorrentes de suas fases diferentes de maturidade (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

Há ainda que se destacar o fato de que a UE considera que uma Bioeconomia global deve reconstruir o capital natural e melhorar a qualidade de vida de uma população mundial crescente, ao mesmo tempo em que equilibra o gerenciamento de bens comuns, como ar, água e solo, com as expectativas econômicas das pessoas (EL-CHICHAKLI, 2016). Para tanto, seriam necessários três tipos de inovação: tecnológica (como sistemas para reduzir as emissões de carbono), organizacional (como mudanças no comportamento institucional e na legislação) e social (como a criação de empregos) (EL-CHICHAKLI, 2016).

Países da América do Norte e da América do Sul também estão empreendendo esforços significativos para melhorar seus setores da Bioeconomia, visto que esta deve ser uma grande oportunidade de desenvolvimento econômico (DIETZ, T.; BÖRNER, J.; FÖRSTER, J. J.; VON BRAUN, J., 2018). Estados Unidos e Canadá possuem políticas bem desenvolvidas rumo à Bioeconomia, embora somente os EUA usem essa nomenclatura em documentos oficiais (BIOÖKONOMIERAT, 2015a). Ambos possuem grandes áreas de floresta, linha costeira e terra disponível para agricultura, de modo que praticam a Bioeconomia em larga escala, no sentido da produção agrícola e florestal.

Os principais setores envolvidos são a produção de produtos químicos ou bioenergia, como pellets de madeira, bioetanol e biocombustíveis de última geração, de modo a complementar suas estratégias agrícolas por meio da biotecnologia industrial para desenvolvimento de tecnologias de conversão. Ressalta-se, ainda, que, para ambos, a Bioeconomia também incorpora o setor de saúde, incluindo a indústria farmacêutica e serviços inovadores, como a bioinformática. (BIOÖKONOMIERAT, 2015a).

Para os EUA, a Bioeconomia é entendida como

“uma transição industrial global destinada à utilização sustentável de recursos naturais renováveis para a produção de energia, intermediários e produtos com a finalidade de gerar benefícios econômicos, ambientais, sociais e de segurança nacional.” (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

¹ Unidade industrial que integra equipamentos e processos de conversão de biomassa na produção de combustíveis, eletricidade, calor, e derivados refinados.

O Canadá, por sua vez, define a Bioeconomia como

“atividade econômica transversal e associada à invenção, ao desenvolvimento, à produção e ao uso de produtos e processos baseados em recursos biológicos, incluindo as indústrias de saúde, energia, agricultura, produtos químicos e materiais especiais.” (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

Em 2017, o governo dos EUA lançou o *Federal Activities Report on the Bioeconomy*, que trata diretamente do desenvolvimento da Bioeconomia do país rumo a tornar-se uma potência também nesse setor. O objetivo do plano é desenvolver e implementar abordagens inovadoras para remover as barreiras à expansão do uso sustentável dos recursos abundantes de biomassa dos EUA, enquanto maximiza os resultados econômicos, sociais e ambientais. Ao aumentar o uso de material vegetal renovável e resíduos de matérias-primas para biocombustíveis, bioprodutos e bioenergia, o plano visa estimular o crescimento do emprego e as oportunidades econômicas, aumentar a vantagem competitiva da nação, apoiar um futuro energético seguro e renovável e contribuir para melhorar a qualidade ambiental (BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT, 2016). Para isso, foi criado um plano chamado *Billion Ton Bioeconomy*, que tem como meta expandir a produção de biomassa de modo sustentável para um bilhão de toneladas anuais até 2030, principalmente com o uso de *Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação* (PD&I) (BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT, 2016). Trata-se de uma ideia impactante e que gera uma meta clara em torno da qual pode-se estabelecer uma estratégia. Essa é uma ideia que o Brasil, por exemplo, deve considerar para o estabelecimento de sua Política Nacional de Bioeconomia.

Na América Latina, Argentina, Brasil, Colômbia, México, Paraguai e Uruguai possuem estratégias de políticas para a Bioeconomia, sendo o Brasil o país que primeiro inseriu tal temática em seus documentos oficiais em 2007. (BIOÖKONOMIERAT, 2015b). Brasil e a Argentina estão entre os líderes na produção de bioenergia e estão entre os cinco principais usuários de culturas geneticamente modificadas. Já Colômbia e Uruguai deram os primeiros passos com base em bioprospecção e tecnologias agrícolas. Em geral, os países da América Latina também não têm um consenso sobre a definição de Bioeconomia, sendo esta tratada dentro do contexto mais amplo das estratégias de crescimento verde, bioenergia ou biotecnologia.

Na Ásia e Oceania estão localizados alguns dos países com os maiores índices de inovação e tecnologia, muitos com estratégias já definidas (BIOÖKONOMIERAT, 2015b). Para o Japão, a Bioeconomia parte do ponto de vista do seu potencial inovador, uma vez que há restrições físicas ao desenvolvimento dos setores agrícola e florestal (BIOÖKONOMIERAT, 2015a). China, Índia, Rússia e Austrália têm adotado estratégias avançadas de Bioeconomia (DIETZ, T.; BÖRNER, J.; FÖRSTER, J. J.; VON BRAUN, J., 2018), principalmente no desenvolvimento

da biotecnologia e das tecnologias de conversão de biomassa. Além destes, Indonésia, Malásia, Nova Zelândia, Coreia do Sul, Siri Lanka e Tailândia já iniciaram a implementação de políticas voltadas a diversos setores da Bioeconomia, principalmente à produção de bioenergia e à inovação de alta tecnologia (BIOÖKONOMIERAT, 2015b).

Por fim, a África, apesar de seu grande potencial, é a região que menos desenvolveu suas políticas, sendo África do Sul e Moçambique os países com algumas estratégias (DIETZ; BÖRNER; FÖRSTER; VON BRAUN, 2018). Outros oito países no continente – Quênia, Mali, Ilhas Maurício, Namíbia, Nigéria, Senegal, Tanzânia e Uganda – desenvolveram algum conteúdo, mas somente a África do Sul usa o termo “Bioeconomia” em seus documentos oficiais. Em geral, as perspectivas desses países se concentram no desenvolvimento do setor de bioenergia e tecnologia agrícola (BIOÖKONOMIERAT, 2015b).

Globalmente, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou, em 2015, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento, contendo os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Nesse acordo, assinado por 193 líderes mundiais, incluindo o Brasil, governos e cidadãos de todo o mundo desenvolveram uma agenda global para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar de todos, proteger o meio ambiente e combater as alterações climáticas. Como mostrado na Figura 1, a maioria dos objetivos do plano, senão todos, englobam conceitos para o desenvolvimento da Bioeconomia (PLATAFORMA AGENDA, 2030, [2017?]; UNITED NATIONS, [2019?]).

FIGURA 1 – 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: Plataforma Agenda 2030, ONU.

Além disso, o *Acordo de Paris*, assinado em 2015 após diversas negociações, tem como meta manter o aumento da temperatura do planeta abaixo dos 2 °C, principalmente por meio da redução de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (UNITED NATIONS, [2015], estratégia diretamente ligada ao desenvolvimento da Bioeconomia.

Existe potencial para o desenvolvimento de estratégias de Bioeconomia mais explícitas em todos os lugares do mundo (OECD, 2018; DIETZ; BÖRNER; FÖRSTER; VON BRAUN, 2018), o que se torna ainda mais evidente com a celebração de acordos globais no setor. Por essa razão, compreender a importância da conservação dos ecossistemas e os levar em consideração na construção de novas cadeias produtivas é essencial para o sucesso das iniciativas de Bioeconomia (SASSON; MALPICA, 2018), podendo levar nações a saírem na frente no desenvolvimento efetivo do setor, a fim de se tornarem potências nessa onda de revolução biotecnológica.



2 A BIOECONOMIA NO BRASIL – PANORAMA NACIONAL



A motivação para promover o desenvolvimento da Bioeconomia varia de acordo com a quantidade e o tipo de recurso natural, a especialização e o desenvolvimento econômico de um país. Em geral, os países importadores de petróleo, mas com recursos naturais abundantes, lutam pelo reconhecimento do valor da sua biodiversidade e dos seus ativos biológicos. Por outro lado, países industrializados, com menor quantidade de recursos biológicos, concentram-se mais nas oportunidades decorrentes de uma industrialização da biologia e na criação de valor agregado por parte das biociências (BIOÖKONOMIERAT, 2015B).

Embora o Brasil tenha uma imensa riqueza natural, o tamanho e a complexidade de sua sociedade não permitem que a economia do país se baseie apenas nas atividades de produção primária, que geram muito volume, mas pouco valor. Em 2016, o valor das vendas atribuíveis à Bioeconomia brasileira foi de US\$ 326,1 bilhões (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018), considerando-se o setor agropecuário e a produção tradicional. Contudo, a quantidade de tecnologia gerada no país para suportar essa produção foi muito pequena, tendo sido esse um valor capturado por empresas especializadas que fazem o desenvolvimento em outros países.

Embora o Brasil tenha uma imensa riqueza natural, o tamanho e a complexidade de sua sociedade não permitem que a economia do país se baseie apenas nas atividades de produção primária. Portanto, atuar na industrialização da biologia para o desenvolvimento de uma Bioeconomia avançada, com maior margem para os produtos da pauta, é fundamental.

Investimentos qualificados nessa área têm grande potencial de retorno, além de reduzir a dependência e aumentar a segurança econômica do país. Portanto, atuar na industrialização da biologia para o desenvolvimento de uma Bioeconomia avançada, com maior margem para os produtos da pauta, é fundamental.

O Brasil possui, hoje, todos os elementos necessários para isso: grande área para produção de biomassa, uma das maiores biodiversidades do planeta, com grande potencial para descobrimento de novas substâncias de alto valor agregado, expertise em biorrefinarias e manejo de biomassa e produção de ciência de alta qualidade em diversos campos, incluindo as biociências.

Como exemplo, em 2016, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar rendeu R\$ 164,1 bilhões, sendo R\$ 47,6 bilhões provenientes da produção primária, R\$ 84,2 bilhões provenientes da produção secundária e R\$ 32,3 bilhões provenientes do setor de serviços (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018). O Brasil é o líder mundial da produção de cana-de-açúcar, sucesso baseado em incentivos políticos que resultaram em uma forte rede de instituições e empresas que se concentraram na produção de açúcar e álcool.

Para se tornar uma potência na Bioeconomia no futuro, a rede de inovação existente no país precisa ser expandida, integrando os diferentes atores para a geração de novas tecnologias e produtos de maior valor agregado.

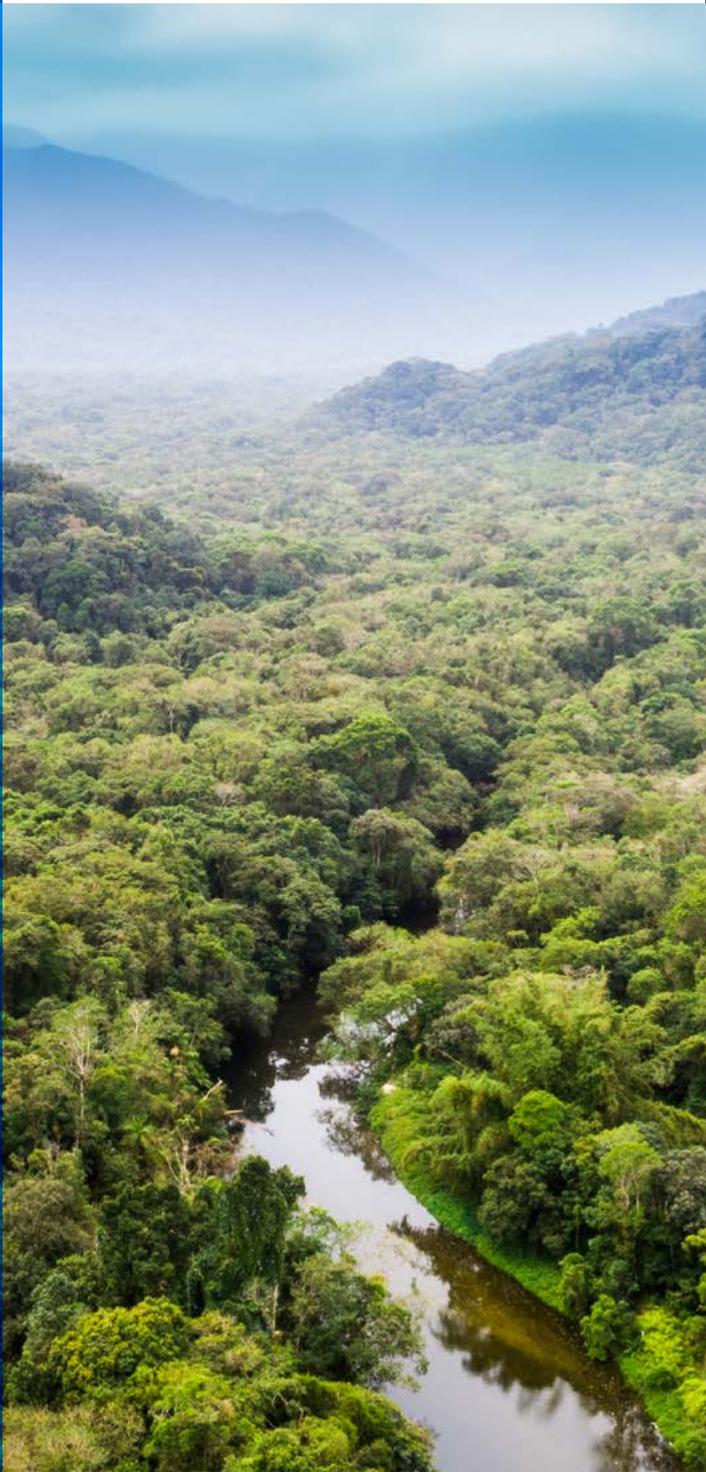
Para se tornar uma potência na Bioeconomia no futuro, a rede de inovação existente no país precisa ser expandida, integrando os diferentes atores para a geração de novas tecnologias e produtos de maior valor agregado. Atualmente, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar resulta em sete produtos: açúcar, etanol, rum, cachaça, pellets, eletricidade e biogás. Entretanto, com investimentos de PD&I, seria possível desenvolver pelo menos outras onze categorias de produtos: bioplásticos, corantes, ácidos orgânicos, aminoácidos, lubrificantes, fármacos, enzimas, fragrâncias, cosméticos, detergentes e solventes. Isso evidencia que, embora a cadeia da cana-de-açúcar seja um exemplo de sucesso, ela mal começou a ser explorada (SCHEITERLE, 2018).

Em outro exemplo, o mesmo ocorre com o setor de base florestal plantada. Atualmente, o setor gera principalmente celulose, papel, pisos, painéis, carvão vegetal, pellets e eletricidade. Em 2018, foram gerados R\$ 86,6 bilhões, equivalentes a 1,3% do PIB e 6,9% do PIB industrial. Entretanto, é possível ampliar a escala e/ou desenvolver outros produtos como lignina, etanol celulósico, bioplásticos, nanofibras, *tal oil* e bio-óleo, além de tornar viável alternativas a materiais metálicos, plásticos, telas de LCD e outros (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2017).

Precisamos rever, conceitualmente, a contribuição da madeira para a captura de carbono. Até aqui, seu uso foi, em grande parte, associado ao desmatamento ilegal, o que acabava por desmotivar sua utilização em construções e movelaria. Entretanto, com o plantio especializado de florestas para esse fim, o que temos é o contrário. As florestas normalmente são estabelecidas em áreas de pasto degradado ou de baixa produtividade agrícola, produzindo, em pouco tempo, grandes volumes de biomassa. Essa biomassa, se utilizada para vigas ou móveis, terá um ciclo de vida longo, gerando uma significativa captura líquida de carbono com uso imediato dos produtos. Trata-se, portanto, de um setor preparado para inovar e que pode ter, em pouco tempo, uma forte inversão da percepção pública sobre seu papel na sustentabilidade.

Nesse cenário, é necessária a implementação de biorrefinarias que sejam capazes de utilizar os grandes volumes de biomassa do país para integrar a produção de *commodities* (p. ex. biocombustíveis) com produtos de maior valor agregado (p. ex. químicos, fármacos, bioplásticos, entre outros). Esse tipo de estratégia reduz o risco econômico do investimento com a diversificação de mercados, e é especialmente importante para cadeias produtivas nas quais a tecnologia ainda está sendo desenvolvida (SILVA; PEREIRA; MARTINS, 2018).

O governo brasileiro já possui ações voltadas à Bioeconomia, mas que são executadas de forma desarticulada, por diferentes ministérios, inexistindo um consenso sobre o tema ou mesmo sobre o que seria a Bioeconomia. É necessária a criação de uma Estratégia Nacional em Bioeconomia, com a missão de gerar diretrizes para o tema e articular as diferentes iniciativas, com gestão objetiva e orientada por resultados.



3 O VALOR DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA



A biodiversidade pode subsidiar a Quarta Revolução Industrial, ao fornecer material biológico, genético e biomimético a ser transformado em fonte de renda e lucro. Se conseguir se apropriar de forma sustentável dessas riquezas, o Brasil, país com a maior biodiversidade no mundo que ainda é pouco conhecida e explorada (HUBBELL, 2008), pode se reinventar como superpotência tropical da biodiversidade, o que, forçosamente, ocorrerá a partir da conexão entre conhecimento e empreendedorismo, como bases para a inovação.

A biodiversidade brasileira tem grande valor pela beleza, pelos serviços que os biomas naturalmente realizam e pelo grande número de bioquímicos e catalisadores que tais biomas encerram. Com exceção da beleza, os demais valores só podem ser percebidos e explorados a partir da lupa do conhecimento. Conhecer os benefícios que a natureza traz para a humanidade não é suficiente para incentivar a conservação ambiental. Assim, se torna necessário sistematizar o conhecimento, quantificar os benefícios e gerar mecanismos tangíveis de compensação que resultem em incentivos reais para a conservação.

O Brasil, país com a maior biodiversidade no mundo que ainda é pouco conhecida e explorada, pode se reinventar como superpotência tropical da biodiversidade, o que, forçosamente, ocorrerá a partir da conexão entre conhecimento e empreendedorismo, como bases para a inovação.

Serviços ecossistêmicos são definidos como um conjunto de benefícios que os ecossistemas fornecem à humanidade (HEIN, 2006). Dentre os mais evidentes e essenciais às sociedades humanas, estão os serviços de fornecimento e regulação (HEIN, 2006; CONSTANZA *et al.*, 2014). Pelos *serviços de fornecimento*, os ecossistemas geram alimento, água limpa, madeira e os mais diversos produtos derivados dos diferentes biomas. Já os serviços de regulação reduzem as alterações ambientais, mantendo os meios biótico e abiótico relativamente estáveis, ao regular o clima ou controlar pestes e doenças, por exemplo (CONSTANZA *et al.*, 2014).

Na evapotranspiração, um exemplo de *serviço de regulação*, as árvores trazem para a atmosfera grande quantidade de vapor d'água, que influencia de forma decisiva o regime de chuvas do planeta [38]. No caso brasileiro, sabe-se que os grandes volumes de vapor d'água que se elevam na Amazônia e desaguam no centro-sul do país – os rios voadores, em viagem de vários milhares de quilômetros – são fundamentais para a agricultura brasileira e não poderiam ser substituídos por alguma intervenção humana (NOBRE, 2014). Com apenas 6,95 milhões de hectares irrigados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017), dos quase 64 milhões de hectares totais, a agricultura do Brasil é completamente dependente do regime de chuvas.

Já os serviços ambientais podem ser definidos como iniciativas individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos. Com os serviços ambientais cria-se a possibilidade de desenvolvimento de cadeias de negócios, como benefícios a agricultores que se empenhem na preservação ambiental, geração de ativos financeiros conectados a essa preservação, plantio de árvores e iniciativas correlatas.

Para ilustrar, estima-se que o plantio de 1 trilhão de árvores poderia contrapor o efeito das emissões de gases do efeito estufa e mitigar as mudanças climáticas (BASTIN, 2019). Pensemos que, se o plantio estivesse associado a um sistema de financeirização das árvores e fosse convertido em um ativo financeiro, a chance de sucesso aumentaria consideravelmente, trazendo no seu bojo uma nova cadeia de valor, desde o desenvolvimento de viveiros até as tecnologias associado a plantio, preservação das plantas e manutenção da biodiversidade.

Considerando um cenário de economia de baixo carbono, energias renováveis e desmatamento ilegal zero, o plantio de florestas pode, além de mitigar as mudanças climáticas,

impulsionar a economia. As florestas plantadas no Brasil ocupam entre 6 e 9 milhões de hectares, de acordo com estimativas do *MapBiomass* (MAPBIOMAS, 2019) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

Esse setor, comumente, utiliza áreas antes degradadas, seguindo um plano de manejo para cada tipo de região. As árvores ali cultivadas são matéria-prima para a produção de painéis de madeira, pisos laminados, celulose, papel, carvão vegetal e mais outros 5.000 produtos e subprodutos, que fazem parte do dia a dia.

Ou seja, os produtos de base florestal estocam carbono, são renováveis e, muitos deles, biodegradáveis. Em muitos casos, as florestas são certificadas por organismos reconhecidos internacionalmente que atestam a origem dos produtos, fortalecendo o mercado responsável e o comércio internacional. Sendo um setor importante na economia brasileira, a silvicultura movimentou quase 15 bilhões de reais em 2017 (IBGE, 2017).

Ademais, o uso de espécies de árvores nativas em florestas plantadas pode contribuir tanto para a preservação da biodiversidade quanto para a geração de lucro e renda a partir de produtos da floresta. A exploração de açaí, erva-mate, castanha-do-caju e castanha-do-Pará, por exemplo, somaram pouco mais de 1,1 bilhão de reais em 2017 (IBGE, 2017), o que ilustra o grande potencial para a utilização sustentável da biodiversidade brasileira. Assim, uma Bioeconomia com foco em tecnologia aplicada à biodiversidade permitirá, no futuro, melhor aproveitamento das matérias-primas da floresta, tanto produtos florestais madeireiros quanto não-madeireiros. Lignina, etanol de segunda geração, bioplásticos, nanofibras e óleos têm grande potencial de exploração econômica para as indústrias farmacêutica, química, cosmética e alimentícia (VOLPONI, 2017).

Considerando os produtos de maior valor agregado, a biodiversidade brasileira apresenta uma série de enzimas e microrganismos, como fungos e bactérias, importantes para a biotecnologia industrial, que precisam ser utilizadas à luz das novas tecnologias e regulações.

A diversidade de microrganismos existentes no Brasil traz uma enorme versatilidade metabólica para gerar novos produtos. A Embrapa Agroenergia avalia que os microrganismos são peças chave na transição de uma economia baseada em fontes fósseis para a bioeconomia.

Os procedimentos atuais de bioprospecção e biotecnologia permitem, a partir da biodiversidade, descobrir com eficiência novas substâncias para o desenvolvimento de bioprodutos agregando, dessa forma, valor à biodiversidade.

Microrganismos formam um grupo heterogêneo, diversificado, complexo e ainda pouco conhecido. Estima-se, em nível global, que a diversidade de microrganismos exceda em algumas ordens de magnitude a diversidade de plantas e animais. No entanto especula-se que menos de 1% dos microrganismos tenha sido identificado. Os procedimentos atuais de bioprospecção e biotecnologia são importantes nessa identificação, pois permitem, a partir da biodiversidade, descobrir com eficiência novas substâncias para o desenvolvimento de bioprodutos agregando, dessa forma, valor à biodiversidade.

QUANTO VALE A FLORESTA EM PÉ?

Para colocarmos em números, cerca de 15% de toda a biodiversidade continental do globo concentra-se apenas no ecossistema Amazônico (HUBBELL *et al.*, 2008), cuja biomassa vegetal armazena quase 200 bilhões de toneladas de carbono (SAATCHI *et al.*, 2011). A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, com aproximadamente 7,5 milhões de km² e 68% de seu território no Brasil. A biodiversidade amazônica tem grande potencial para o desenvolvimento de novos bioprodutos como medicamentos e cosméticos. O desenvolvimento da Amazônia deve estar atrelado ao setor bioindustrial, agregando valor a biodiversidade de forma sustentável, conservando o ecossistema e impulsionando o cultivo dos recursos naturais no lugar de sua extração.

Reconhecidamente, o Brasil é uma *superpotência verde* ou *superpotência da biodiversidade* (SCARANO *et al.*, 2018). Essa visão assume que a biodiversidade possa ter seu valor avaliado em termos econômicos. Apesar de as comunidades locais e tradicionais (como os povos indígenas) dependerem diretamente dos recursos naturais e de sua

exploração direta, os benefícios do uso sustentado da biodiversidade estendem-se a diversos setores socioeconômicos, como o agronegócio (SCARANO *et al.*, 2018). Oportunidades como estas mensuram o capital natural e os benefícios e valores associados tanto à biodiversidade *per se* quanto aos serviços ambientais que dela provêm.

Para se ter uma noção de tamanho, o Brasil exporta mais de 300 produtos agrícolas, que dependem essencialmente de recursos naturais como água, solo e polinizadores, mas 70% dos alimentos consumidos pelos brasileiros provêm, de alguma forma, de agricultura familiar (PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSITEMICOS. 2018; GIZ, 2019). O turismo ecológico emprega 43 mil pessoas, demonstrando que a biodiversidade também pode ser fonte de geração de emprego e renda. Além disso, 40% da matriz energética brasileira provêm de fontes renováveis, como usinas hidrelétricas, que dependem diretamente de bens e serviços ambientais fornecidos pela natureza e sua biodiversidade (PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSITEMICOS. 2018; GIZ, 2019).

No Brasil, o valor da biodiversidade está nos mais diversos setores econômicos. Responsável por cerca de 25% do PIB do Brasil, o agronegócio movimentou cerca de 1,5 trilhões de reais no ano de 2018 (CEPEA, [2019]). A agricultura está diretamente relacionada aos recursos naturais e ao provimento de bens e serviços ecossistêmicos, como a polinização, na qual ocorre a fecundação dos gametas vegetais e a formação dos frutos. Apesar de a frutificação poder ocorrer na ausência da polinização em algumas plantas, a produção de frutos geralmente aumenta em 30% quando a polinização ocorre (PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSITEMICOS. 2018; GIZ, 2019). Como cerca de 85 das 141 culturas agrícolas brasileiras dependem dos serviços de polinização, o potencial de prejuízo aos agricultores pela perda dos polinizadores é elevadíssimo, com sérias ameaças à estabilidade econômica do setor (PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSITEMICOS. 2018; GIZ, 2019).

Essa valoração necessita do aprofundamento do modelo da Bioeconomia, no qual a exploração inteligente da diversidade biológica se torna fonte de riqueza e não um empecilho para a produção agrícola ou a exploração mineral. Não se trata de abrir mão desses ativos, mas sim de aprofundar o seu uso e harmonizá-lo com a vegetação nativa, visando à produção sustentável e à manutenção da biodiversidade (IPEF, 2012).

Poucas espécies da biodiversidade brasileira são aproveitadas em escala industrial.

Conceber um modo tropical de desenvolvimento significa repensar nossos paradigmas de empreendimento, onde ciência e tecnologia podem alavancar o aproveitamento da biodiversidade brasileira, criar oportunidades de negócio e permitir a inserção dos produtos brasileiros em nichos de mercado altamente especializados ao redor do mundo.

Poucas espécies da biodiversidade brasileira são aproveitadas em escala industrial. Como exemplo, espécies arbóreas nativas, como o Paricá e a Araucária, têm potencial de exploração industrial, mas representam pouco mais de 1% da área total de florestas plantadas (ROLIM; PIOTTO, 2018). Isso reflete a necessidade de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltado à exploração da biodiversidade brasileira (SCARANO *et al.*, 2018), que poderia encontrar grandes oportunidades econômicas nesse perfil de exploração. Conceber um modo tropical de desenvolvimento significa repensar nossos paradigmas de empreendimento, onde ciência e tecnologia podem alavancar o aproveitamento da biodiversidade brasileira, criar oportunidades de negócio e permitir a inserção dos produtos brasileiros em nichos de mercado altamente especializados ao redor do mundo.

Na carência de um modelo a ser copiado, visto que nenhum país tropical e megadiverso tenha atingido o pleno desenvolvimento industrial, há que se usar a criatividade e imaginação na invenção de um novo caminho. Empreendedorismo, visão de negócio e educação ecológica precisam andar juntos, concomitantes ao desenvolvimento científico-tecnológico do país (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2019). A Quarta Revolução Industrial pode vir a ser uma Revolução da Biodiversidade, na qual o Brasil se fortaleça, valorize e usufrua de sua rica biodiversidade, centrada no próprio desenvolvimento, na capacidade de criação e no empreendedorismo (SCARANO *et al.*, 2018).



4 REGULAMENTAÇÃO ASSOCIADA À BIOECONOMIA

Um ponto importante para converter as oportunidades em ações efetivas no campo da Bioeconomia é a regulamentação. O Brasil possui marcos regulatórios muito importantes que afetam diretamente o avanço da Bioeconomia: o Marco Legal da Biodiversidade (Lei 13.123/2015 e Decreto 8.772/2016); a Lei de Biossegurança (Lei 11.105/2005); e o Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei 13.243/2016).

MARCO LEGAL DA BIODIVERSIDADE

Durante muito tempo, os recursos genéticos foram considerados patrimônio da humanidade, ou seja, deveriam estar disponíveis para todo e qualquer propósito, como uma fonte de matéria-prima para produtos que beneficiariam todas as populações (FERREIRA; SAMPAIO, 2013). Isso permitiu que os países desenvolvidos, detentores da tecnologia, explorassem a biodiversidade dos países em desenvolvimento, inclusive com o requerimento de Propriedade Intelectual (PI) sem justa retribuição, a chamada biopirataria.

A primeira legislação brasileira regulamentando o tema entrou em vigor em 30 de junho de 2000, estabelecendo os direitos e as obrigações relativos ao acesso ao patrimônio genético, à proteção e ao acesso aos conhecimentos tradicionais associados e à repartição de benefícios. Esse marco legal foi revisado e consolidado na Medida Provisória 2.186-16, de 2001, que permaneceu em vigor até 16 de novembro de 2015, tendo sido reeditada 16 vezes. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, [2015]).

Sua importância se deu no âmbito do combate à biopirataria, no controle do acesso ao patrimônio genético e na previsão de regras para o uso sustentável da biodiversidade.

A MP vigorou por 15 anos, regulamentando o acesso e a utilização do Patrimônio Genético (PG) e do Conhecimento Tradicional Associado (CTA) para a pesquisa científica, a bioprospecção e o desenvolvimento tecnológico. Além disso, criou o Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGen), órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Alguns pontos de entrave da MP:

- Autorização prévia do CGen, então composto, exclusivamente, por órgãos do governo federal, para pesquisas com potencial econômico, como as promovidas pela indústria;
- Assinatura do Termo de Anuência Prévia (TAP) pelo provedor da amostra do patrimônio genético ou do titular da área e/ou detentor ou provedor do conhecimento tradicional; e
- Assinatura do Contrato de Utilização do Patrimônio Genético e de Repartição de Benefícios (Curb) para bioprospecção com perspectiva de uso comercial e desenvolvimento tecnológico; e
- Necessidade de repartição de benefícios feita por todos os elos da cadeia.

O novo Marco Legal da Biodiversidade Brasileira, Lei 13.123, entrou em vigor em novembro de 2015. Já o Decreto 8.772 entrou em vigor em maio de 2016. Uma das inovações desse novo marco foi a criação do Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), plataforma eletrônica para se operacionalizar a lei, permitindo o cadastro online de atividades de pesquisa e acesso ao PG ou CTA, diminuindo a burocracia, ao retirar a necessidade de autorização prévia pelo CGen.

A Lei 13.123/2015 funciona de forma declaratória e obrigatória, sendo o próprio usuário que acessa o PG ou o CTA responsável por cadastrar as atividades realizadas no SisGen, como:

- Remessa de PG;
- Requerimento de qualquer direito de Propriedade Intelectual;
- Comercialização de produtos intermediários;
- Divulgação de resultados, finais ou parciais, em meios científicos ou de comércio; e
- Notificação de produto acabado ou material reprodutivo desenvolvido em decorrência do acesso.

MARCO LEGAL DE BIOSSEGURANÇA

A Lei 11.105/2005 estabelece as normas de segurança e os mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de OGMs e seus derivados.

Em geral, os OGMs são bastante conhecidos e estão presentes em diversos alimentos encontrados no supermercado, sempre identificados pelo símbolo de transgênico. Eles têm um papel central na Bioeconomia, como: para a produção de insulina por bactérias recombinantes na indústria farmacêutica; microrganismos modificados para produção de substitutos aos derivados de petróleo na indústria química; para o controle biológico como o mosquito *Aedes aegypti*, desenvolvido para gerar ovos inférteis; entre outros.

A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) é uma instância colegiada e multidisciplinar de caráter consultivo e deliberativo. Foi criada para prestar apoio técnico e de assessoramento ao governo federal para a formulação, atualização e implementação da Política Nacional de Biossegurança (PNB) de OGMs e seus derivados. A PNB de OGMs foi estabelecida com base em normas técnicas de segurança e de pareceres técnicos referentes à autorização para atividades que envolvam pesquisa e o uso comercial de OGMs e seus derivados, a partir da avaliação de risco zootossanitário à saúde humana e ao meio ambiente. A CTNBio possui 27 membros titulares e 27 suplentes, sendo organizada em quatro subcomissões setoriais permanentes: animal, saúde humana, ambiental e vegetal.

MARCO LEGAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

O reconhecimento de que a inovação é uma importante força motriz do crescimento e do desenvolvimento econômico tem se consolidado entre acadêmicos, empresários e agentes públicos nos mais diferentes países.

No Brasil não tem sido diferente. Ao menos desde o final dos anos 1990 e o início dos anos 2000, o tema tem mobilizado agentes públicos e privados na construção de um ambiente conducente ao aumento da inovação no país. É possível fixar dois marcos objetivos e de grande importância nesse ambiente: no plano federal, a criação dos fundos setoriais; e, no plano das unidades da federação, a criação, em São Paulo, do Programa de apoio à Inovação em Pequenas Empresas (o PIPE).

Mais recentemente, avanços muito importantes nessa dimensão foram obtidos com a promulgação do Marco Legal de Ciência e Tecnologia (Lei 13.243/2016) em 2016. O marco surgiu de diálogos e debates na comunidade de ciência e tecnologia sobre as dificuldades ainda existentes no ambiente legal e regulatório, bem como na dimensão propriamente operacional, que culminaram nessa tentativa de superar gargalos colocados ao avanço da inovação no país.

Essa iniciativa, voltada à redução das dificuldades relacionadas à execução de certas atividades inovativas, é alicerçada na mudança em nove diferentes leis federais, entre elas leis mais diretamente relacionadas à inovação, como a Lei de Inovação (Lei 10.973/2004), e leis de natureza mais transversal, que afetam diversas atividades econômicas, como a Lei de Licitações (Lei 8.666/1993). Entre os avanços com potencial de desbloquear alguns entraves à inovação constata-se uma maior proximidade entre instituições públicas de ciência e tecnologia, por um lado, e empresas industriais, por outro, bem como a desburocratização de processos como licitações e importação de produtos destinados a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

É consenso na comunidade empresarial que ainda há desafios importantes no marco regulatório a serem superados, para alcançar o objetivo do aumento da taxa e da qualidade da inovação de empresas no Brasil

No entanto, é consenso na comunidade empresarial que ainda há desafios importantes no marco regulatório a serem superados, para alcançar o objetivo do aumento da taxa e da qualidade da inovação de empresas no Brasil.



5 PROPRIEDADE INTELECTUAL E INOVAÇÃO



A convergência tecnológica presente em nossas vidas passa pela indústria, cada vez mais movida pela inovação. Esse espírito inovador, por sua vez, alimenta a competitividade e impulsiona novos modelos de negócios, a partir da ascensão de novas tecnologias disruptivas, sendo um dos pilares da Bioeconomia.

A competitividade da indústria é realizada com inovação, cooperação entre o setor produtivo, o governo e os centros de conhecimento, e estratégia de longo prazo para o desenvolvimento do país. A indústria brasileira pode desenvolver competências, aproveitar oportunidades de competir em melhores condições, gerar empregos, criar novos serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida da população brasileira.

No âmbito da discussão sobre inovação, é imprescindível abordar o importante papel da Propriedade Intelectual (PI). É um conceito sofisticado, tratando-se de algo intangível, mas que está na base do desenvolvimento da sociedade moderna. A legislação de PI visa proteger e incentivar a ação dos agentes inovadores, atribuindo a eles alguns privilégios sobre suas criações, em particular o monopólio temporal para exploração de invenções.

Assim, a proteção por PI permite que os desenvolvedores se beneficiem do investimento feito para obtenção das inovações, tendo em contrapartida a divulgação daquela invenção, de forma a dar publicidade às ideias. Portanto, os direitos de PI são relevantes na promoção do desenvolvimento econômico e social.

PATENTES DA BIOECONOMIA

Globalmente, há uma tendência de aumento de depósito de pedidos de patente relacionados à Bioeconomia. O número de depósitos de patentes nas áreas de Biotecnologia e Fármacos aumentou em 12,1% e 13,9%, respectivamente, de 2017 para 2018, e não chegou a 10% em quase todas as outras áreas tecnológicas (EUROPEAN PATENT OFFICE, 2019). Esse número é referente a todos os pedidos de patente depositados no Escritório Europeu de Patentes (EPO), considerando-se tanto os depósitos diretos quanto os realizados via Patent Cooperation Treaty (Tratado de Cooperação em Patentes – PCT), representando, assim, os pedidos de patente originados em outras regiões e depositados na Europa.

Além disso, desde 2003, há uma tendência crescente na quantidade de pedidos de patente que envolvem microrganismos. Entretanto, essa taxa de crescimento representa não apenas novos microrganismos passíveis de aplicação industrial, mas também novos genes descobertos que passam a ser expressos em microrganismos geneticamente modificados para processos biotecnológicos. Esses números são bons indicadores da importância que as tecnologias relacionadas à Bioeconomia estão adquirindo internacionalmente.

Atento à tendência mundial de valorização de tecnologias com apelo ambiental e mudanças climáticas, o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) criou, em 2012, o Programa Prioritário de Patentes Verdes, visando à aceleração de exames de pedidos de patente relacionadas a esse tema. O serviço passou a ser permanentemente oferecido pelo INPI no final de 2016, e, atualmente, as tecnologias que participam desse programa podem ter patentes concedidas em poucos anos. Apesar de ser uma ação pontual, o programa possibilita maior agilidade para que tecnologias com potencial benéfico ao meio ambiente sejam disponibilizadas à sociedade, estimulando a inovação em áreas correlatas à Bioeconomia. Esse tipo de ação é importante, principalmente para startups que buscam a proteção de suas tecnologias como forma de alavancar o interesse de investidores e facilitar financiamentos que promovam seu crescimento.

OCDE, PROPRIEDADE INTELECTUAL E BIOECONOMIA

Segundo a OCDE, patentes são os principais ativos que atraem investimento em inovação quando se trata de PI relacionada à Bioeconomia. Portanto, leis e diretrizes aplicadas ao setor de biotecnologia devem ser atualizados constantemente, de forma a serem eficientes para proteção das novas tecnologias, principalmente porque essa é uma área que avança com muita rapidez (OECD, 2009). Como exemplo, as patentes são o ativo mais

valioso para empresas desenvolvedoras de enzimas, pois permitem a proteção de uma variedade de potenciais tecnologias para desenvolver novas enzimas, gerar diversidade molecular e realizar modificações genéticas de microrganismos, além de processos de fermentação e purificação (OECD, 2009).

Adicionalmente, para acompanhar o rápido avanço da Bioeconomia, é importante a criação de mecanismos de proteção em relação à concentração de ativos de PI e aos efeitos adversos decorrentes dessa prática. Ou seja, é interessante a elaboração de agrupamentos de patentes (*patent pools*) para negociação, de forma a facilitar iniciativas como disponibilização de recurso público para realização de pesquisas científicas, filantropia e políticas de apoio a mercados específicos, utilização inovadora dos sistemas de PI já existentes para fomentar colaborações e induzir inovação, criação de iniciativas de *open source* e *open science* ou práticas de licenciamento que permitam liberdade de operação, para, por exemplo, motivos humanitários e para pesquisa básica no setor público (HERDER; GOLD, 2008).

Um exemplo desse mecanismo de compartilhamento colaborativo de PI ocorreu com a tecnologia *cambia* (CAMBIA, 2007) para transferência de genes entre plantas, que é *open source* e atrativa para pequenas e médias empresas, além de institutos de pesquisas agrícolas.

O Consórcio Biomarker (*The Consortium Biomarker*), estabelecido pelo governo norte-americano, é um exemplo de colaboração *público-privada* para pesquisa no qual as diretrizes estabelecidas garantem que a PI pré-existente pode ser compartilhada quando requerida para pesquisa relacionada a biomarcadores. Adicionalmente, garante-se também que invenções derivadas de projetos de pesquisa que eram parte desse consórcio possam ser patenteadas desde que todos os membros recebam a licença não exclusiva e sem custo, enquanto os não-membros recebem apenas licença não exclusiva mediante pagamento de taxa (OECD, 2009). O sucesso desse tipo de colaboração depende do desenvolvimento de estratégias de gerenciamento para acessar conhecimento proprietário e compartilhar os benefícios das descobertas derivadas desse uso (OECD, 2009).

Ainda segundo a OCDE, para o desenvolvimento da Bioeconomia, é interessante considerar a concessão do direito de uso de um certo número de tecnologias-chave de manipulação genética para instituições relacionadas à produção primária. Isso deveria ser feito devido ao fato de um alto número de patentes para tecnologias relacionadas à manipulação e transmissão gênica pertencer a empresas. As instituições de pesquisa precisariam de grande tempo e custo para realizar esses tipos de modificação sem o uso de tais tecnologias protegidas, além do alto valor para obtenção de licenças das mesmas (OECD, 2009).

Países membros da OCDE e a indústria farmacêutica, por exemplo, já iniciaram discussões sobre as melhores formas de alinhar PI e desenvolvimento, o que torna ainda mais importante que países em desenvolvimento, como o Brasil, fortaleçam suas práticas locais e políticas de PI, de modo que também estejam aptos a propor reformas em nível internacional (HERDER; GOLD, 2008).

MECANISMOS DE INCENTIVO À INOVAÇÃO

É evidente a necessidade da mudança de cultura e do fortalecimento de políticas de estímulo a parcerias entre ICTs (Institutos de Ciência, Tecnologia e Inovação) com o setor privado, de modo que o potencial inovador brasileiro possa se realizar. Embora isso tenha se tornado senso comum já há algum tempo, apenas recentemente foram realizadas ações concretas para sua normatização a partir do Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei 13.243 de 2016, regulamentada pelo Decreto 9.238, de 2018).

O objetivo fundamental desse marco é reconhecer as diferenças no relacionamento entre empresa e ICTs com o objetivo de gerar inovação, em comparação a relações comerciais tradicionais entre o setor público e o privado, que, com alguma frequência, se desvirtuam em corrupção. Para tentar evitar isso, criou-se no país uma série de regras que reduzem fortemente o potencial de inovação das ICTs, que só se realiza por meio da parceria com o setor privado. Sem essa, a ICT se limita a descobrir e inventar, mas não a inovar. Embora todas as três atividades sejam fundamentais, é apenas com a inovação que se dá a captura de valor da descoberta e da invenção. É exatamente da inovação que vem a força política e financeira para defender e justificar as demais atividades, levando a sociedade a reconhecer a importância desse investimento.

O Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação foi criado com o propósito principal de estimular as parcerias entre instituições acadêmicas e o setor produtivo brasileiro. Tradicionalmente, esse tipo de parceria era considerado bastante engessado pela aplicação das normas gerais do Direito Administrativo brasileiro. Ao estabelecer um marco normativo próprio para a área de ciência, tecnologia e inovação e afastar as normas gerais anteriormente aplicáveis, criou-se um regime mais flexível para cessão de imóveis, licenciamento tecnológico, subvenção, convênios de pesquisa, desenvolvimento e inovação, compras públicas, modificações orçamentárias, entre outros temas.

A regulamentação da lei acima citada, o Decreto 9.283, de 2018, do ponto de vista objetivo, remove a aplicação de normas que dificultavam a execução de atividades na área de pesquisa, desenvolvimento e inovação, simplificando o regime de prestação de contas, de movimentação orçamentária, de recebimento de recursos de empresas para executar

projetos em ICTs e de cessão de imóveis para criar os denominados ambientes promotores de inovação. Entretanto, devido às questões culturais dentro das ICTs, essa legislação ainda não foi incorporada, havendo graves temores, por parte dos gestores, de eventuais consequências da sua aplicação no ambiente de profunda desconfiança que foi estabelecido nas instituições. Essa desconfiança acaba por gerar uma miríade de procedimentos internos, desnecessários em sua ampla maioria, e que acabam por retardar e complicar, de forma inaceitável, a celebração de acordos.

Esse é, hoje, um importante fator de inibição, por parte das empresas, na busca das ICTs para a solução dos seus problemas técnicos ou para o desenvolvimento de novos produtos. Embora a lei já tenha, teoricamente, resolvido a maior parte dos problemas, há ainda uma questão cultural importante a ser enfrentada para que o relacionamento ICTs-empresa prospere em benefício de toda a sociedade. Temos que priorizar esse tema, que é central para a Bioeconomia. Dessa forma ganham todos: a ICT, diretamente a partir do financiamento do desenvolvimento e dos prêmios; a empresa, pelo aumento da competitividade; e a sociedade, pela possibilidade da geração de novos empregos e impostos, o que fecha um ciclo virtuoso.

Para além do Marco Legal de CT&I, pode-se afirmar que diversos outros mecanismos de inovação precisam ser fortalecidos e criados para efetivamente fomentar o ecossistema. Assim, em que pese o reconhecimento dos avanços recentes, continua válida e imprescindível a defesa de uma atuação incisiva em favor da integração do conjunto de instrumentos e normativos da política de inovação e da redução da burocracia associada aos processos de concessão e usufruto de benefícios.

Entre as dificuldades dos mecanismos, identificam-se, por exemplo, as excessivas exigências dos processos de prestação de contas, que tornam mais custosas e morosas as atividades de inovação, criando formalidades dispensáveis e passíveis de simplificação. A própria Lei do Bem

Assim, em que pese o reconhecimento dos avanços recentes, continua válida e imprescindível a defesa de uma atuação incisiva em favor da integração do conjunto de instrumentos e normativos da política de inovação e da redução da burocracia associada aos processos de concessão e usufruto de benefícios.

(Lei 11.196/05) merece aprimoramentos voltados a ampliar a segurança das empresas, desburocratizar processos e, sobretudo, intensificar sua utilização.

Apesar do crescimento do número de empresas beneficiadas por esse dispositivo legal entre 2006 e 2017, a sua abrangência (1.476 empresas beneficiadas no último ano da série) ainda é reduzida quando se leva em consideração o universo de empresas brasileiras inovadoras, que totalizavam 47.693 em 2014, de acordo com dados da Pesquisa de Inovação Tecnológica (Pintec) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse número limitado de empresas atendidas pode ser explicado pelas restrições impostas pela lei para a concessão dos benefícios (CNI, 2019).

Os esforços de financiamento à inovação, de fato, são indispensáveis para a promoção do crescimento econômico e para a sustentação de trajetórias de desenvolvimento produtivo sustentáveis. Essa percepção é particularmente verdadeira no caso de países em desenvolvimento, que precisam superar restrições macroeconômicas, institucionais, regulatórias e de infraestrutura para aprimorar seu ambiente empresarial, científico e tecnológico, conquistando condições que os credenciem a atuar no âmbito de uma economia aberta e globalizada.

Pesquisas revelam que a escassez de financiamento é apontada pelas empresas como um dos principais obstáculos para inovar (CNI, 2016). De acordo com os resultados da Pesquisa de Inovação (Pintec) 2014, por exemplo, quase 70% das empresas brasileiras que inovaram em produto ou processo entre 2012 e 2014 apontaram a escassez de fontes de financiamento como uma das maiores dificuldades enfrentadas para a inovação.

A escassez de recursos é ainda mais acentuada no caso da subvenção econômica. Esse instrumento, amplamente utilizado em diversos países da OCDE, sofreu drasticamente com os cortes orçamentários da área de CT&I nos últimos anos, assim como com os sistemáticos contingenciamentos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT). Como resultado, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) não realizou chamadas públicas de subvenção nos anos 2016 e 2017, retomando timidamente os editais em 2018. Logo, as empresas deixaram de contar com o apoio do Estado para o desenvolvimento de projetos de maior risco tecnológico, como normalmente ocorre em outras partes do mundo.

É fundamental assegurar a disponibilidade de recursos para apoiar projetos de inovação tecnológica de grande relevância, sob pena de comprometer as condições necessárias para um movimento de retomada econômica nos médio e longo prazos.

Nesse sentido, cabe destacar algumas iniciativas de financiamento, como a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) (EMBRAPII, [2019]) e os Institutos SENAI de Inovação (SENAI, 2019) e o Inova Talentos

A EMBRAPPII é uma Organização Social, financiada pelo Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicação e pelo Ministério da Educação, que atua por meio da cooperação com instituições de pesquisa científica e tecnológica, públicas ou privadas, tendo como foco as demandas empresariais e como alvo o compartilhamento de risco na fase pré-competitiva da inovação. Ao compartilhar riscos de projetos com as empresas, tem objetivo de estimular o setor industrial a inovar mais e com maior intensidade tecnológica para, assim, potencializar a força competitiva das empresas tanto no mercado interno como no mercado internacional.

A rede dos Institutos SENAI de Inovação foi criada para ser uma ponte entre o meio acadêmico e as necessidades do empresariado nacional. Seu foco de atuação é a pesquisa aplicada, o emprego do conhecimento de forma prática, no desenvolvimento de novos produtos e soluções customizadas para as empresas ou de ideias que geram oportunidades de negócios. Os institutos trabalham desde a fase pré-competitiva do processo inovativo e atuam até a etapa final de desenvolvimento, quando o novo produto está prestes a ser fabricado pela indústria. O trabalho é realizado de forma multidisciplinar e complementar, com atendimento em todo o território nacional.

O Inova Talentos, iniciativa do CNPq e do Instituto Euvaldo Lodi (IEL), é um programa que visa ampliar o número de profissionais qualificados em atividades de inovação no setor empresarial brasileiro. O Programa foi idealizado com o objetivo de incentivar a criação de projetos de inovação nas empresas e institutos privados de pesquisa e desenvolvimento (P&D). A ideia é simples: selecionar, capacitar e inserir no mercado profissionais para exercerem atividades de inovação.

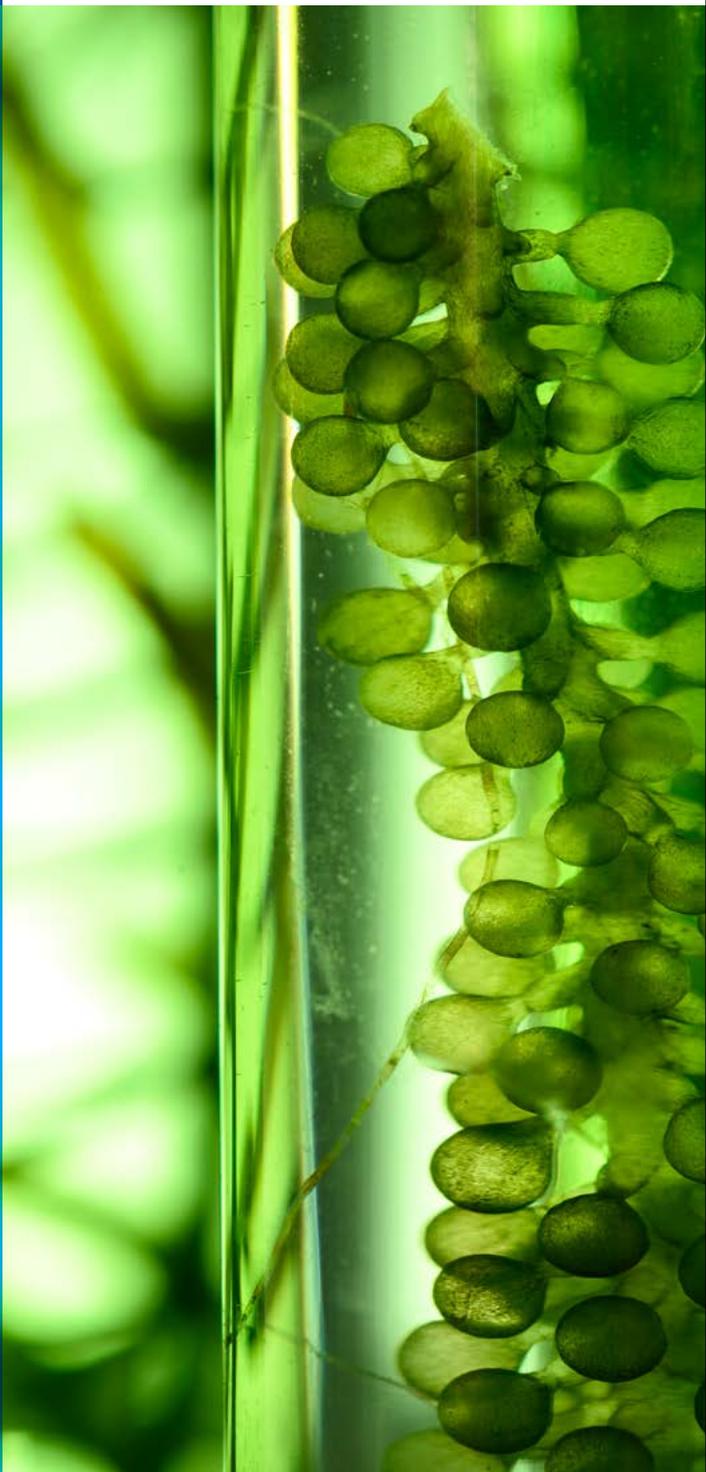
HUBS DE INOVAÇÃO EM BIOECONOMIA

Temos, agora, o arcabouço legal capaz de permitir maior interação entre ICTs e empresas, mas a materialização disso, para promover real impacto no desenvolvimento da Bioeconomia, terá que ir além das relações individuais para celebração de projetos específicos.

O caminho seria o desenvolvimento dos *Hubs de Inovação em Bioeconomia* (HIBs), que seriam a estruturação virtual das organizações públicas e privadas a partir de temas específicos. Os HIBs produziriam pesquisa pré-competitiva e colocariam a estrutura de pesquisa dos consorciados à disposição dos seus integrantes para desenvolvimentos específicos. Formaria-se, assim, um ambiente altamente propício para que as empresas estabelecidas identificassem novas oportunidades e desenvolvessem novos produtos, assim como para que pequenos empreendedores, a partir do conhecimento que possuem, formassem startups especializadas para ocupar nichos de mercado específicos.

Para se ter noção da força dessas organizações, a Espanha se valeu de tal princípio para superar sua mais recente e severa crise econômica, saindo dela como um país tecnologicamente avançado. O *South Summit*, feira criada em 2012, no auge da crise, reuniu startups e fundos de investimento com o objetivo inicial de formar os chamados unicórnios (startups cujo valor de mercado atingiu 1 bilhão de dólares). Na edição de 2018, a feira atraiu 16.000 visitantes e 175 fundos globais de investimento com carteiras de negócios superiores a 55 bilhões de dólares. Mais de 600 empresas estavam lá, disputando o interesse do público e de investidores, com consequências enormes para o setor produtivo de todo o país. Esse não foi o único fator para a extraordinária guinada da Espanha, mas seguramente foi o vetor e a inspiração para tal.

Um exemplo mais próximo de HIB vem da Holanda. Usando apenas cerca de 10 mil km² o país se tornou o segundo maior exportador de produtos agrícolas, somando US\$ 112 bilhões em 2017. A questão não é volume; o segredo está no alto valor agregado dos produtos holandeses, o que é obtido a partir da forte interação das organizações de produtores com as universidades, em particular com a *Wageningen University & Research* (WUR). Essa instituição é a sede de um *HUB* de inovação denominado *Food Valley*, um robusto conjunto formado por empresas tecnológicas inovadoras e explorações agrícolas experimentais. O nome é uma óbvia referência ao *Vale do Silício*, no qual a *Universidade de Stanford* desempenha o papel fundamental na fusão entre o mundo acadêmico e o espírito empresarial. É disso que precisamos.



6 BIOCOMBUSTÍVEIS E BIOENERGIA



No mundo, a maior fonte de emissões de gases do efeito estufa é decorrente da produção de energia, seguida pelo setor de transporte. Um dos caminhos mais rápidos e efetivos para a mitigação desse efeito é o uso dos biocombustíveis e a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis como biomassa, a chamada bioenergia.

O Brasil possui grande vantagem competitiva na produção de biocombustíveis, já desenvolvendo cadeias de valores inteiras para compostos como etanol e biodiesel. O país produz cerca de 38 bilhões de litros de biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel) (ANP, 2016), sendo o segundo maior produtor mundial – atrás apenas dos EUA. Além disso, a porcentagem de energia gerada por biocombustíveis no setor de transporte brasileiro é de 20%, aproximadamente sete vezes maior que a média mundial (IEA, 2018).

No contexto do desenvolvimento sustentável e da descarbonização da economia, o carvão vegetal oriundo de florestas plantadas também é uma importante fonte de bioenergia para a siderurgia, como tratado pela ONU no *Projeto Siderurgia Sustentável*.

A PRODUÇÃO DE ETANOL E O SETOR SUCROENERGÉTICO

A produção total de etanol, juntamente com a produção de açúcar e eletricidade gerada a partir da biomassa vegetal, compõe o setor sucroenergético, sendo este o segundo maior setor agropecuário do Brasil. Com um PIB de US\$ 40 bilhões, o setor apresenta grande importância estratégica para o

país, tendo em vista a quantidade de recursos movimentada, o número de empregos gerados e sua contribuição ambiental caracterizada pela baixa pegada de carbono fóssil (ÚNICA, 2016).

Apesar de ser um setor consolidado, a introdução de inovações significativas pode, em um curto espaço de tempo, multiplicar essa produção. Como exemplo, para a safra de 2019/2020 é prevista uma produção de cerca de 1,4 bilhões de litros de etanol de milho, produto que foi introduzido no país somente em 2016 (NOVACANA, 2019). Além disso, ainda são grandes as perspectivas de crescimento dessa tecnologia, visto que há um baixo custo de produção do etanol de milho quando comparado ao etanol de cana, além da possibilidade de instalação de usinas flex, caracterizadas pelo uso de cana-de-açúcar e milho (CONAB, 2019).

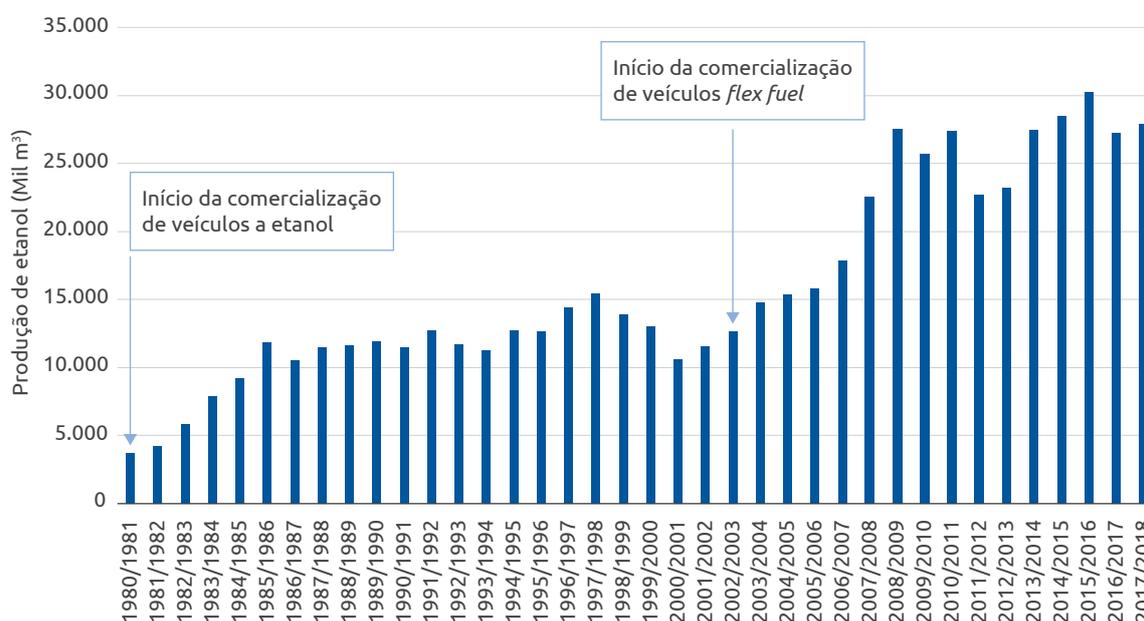
Atualmente no Brasil, existem 10 usinas de produção de etanol a partir de milho, localizadas principalmente nos estados do Centro-Oeste, locais com altas produções do grão. Neles, a exemplo do Mato Grosso, o milho é cultivado na entressafra da soja e utiliza as mesmas terras e os mesmo maquinários, sendo então chamado de milho de segunda safra. Por ter sua expansão definida sobre as terras de cultivo da soja, a produção de milho de segunda safra é caracterizada por ter um baixo impacto ambiental, sem alteração das fronteiras agrícolas, e baixos custos de produção. Essas são as principais características que tornam o etanol de milho um negócio altamente atrativo no Brasil. Considerando as terras atualmente utilizadas para o cultivo de soja no país, é possível expandir a produção de milho de segunda safra em cerca de 10 milhões de hectares, o que resultaria em 57 milhões de toneladas de milho e produção de até 22 bilhões de litros de etanol (GRUPO USJ, 2019).

Para o etanol de segunda geração, existem no Brasil duas grandes usinas em operação: a Usina Costa Pinto, do grupo Raízen, e a Usina BioFlex, do grupo GranBio. Juntas, elas apresentam capacidade de produção de mais de 100 milhões de litros de etanol de segunda geração. Essa tecnologia é relativamente nova e vem se consolidando nos últimos anos devido aos grandes impactos positivos, tanto no contexto ambiental quanto no socioeconômico. Usando resíduos lignocelulósicos ou biomassas como a cana-energia – variedade com produtividade de biomassa três vezes maior que a cana-de-açúcar convencional –, é possível produzir um etanol com baixa pegada de carbono (cerca de $7 \text{ g CO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$, três vezes menor que o etanol de primeira geração (GRANBIO, 2014) e a custos menores do que aqueles praticados para o etanol de primeira geração, ou tradicional. Segundo os produtores, o preço do litro de etanol de segunda geração varia entre R\$ 3,50 e R\$ 3,90. No entanto, estima-se que, em 2030, esse preço seja de R\$ 1,60, tornando a segunda geração uma rota competitiva para a produção desse biocombustível (GRANBIO, 2019; RAÍZEN, 2019).

Hoje, o Brasil apresenta uma produtividade média de 72,5 toneladas de cana/hectare, traduzida para etanol essa produtividade equivale a aproximadamente 6.800 litros/hectare. Considerando que a produtividade da cana-energia alcança níveis três vezes maiores que a cana-de-açúcar (cerca de 200 toneladas/hectare), e ainda a utilização de tecnologias de segunda geração, o Brasil tem potencial para produzir acima de 20.000 litros etanol/hectare (CGEE, 2016). Ou seja, novas tecnologias possibilitariam quadruplicar a produção de etanol no país, utilizando as mesmas áreas já cultivadas atualmente (sem expansão das culturas agrícolas).

É importante ressaltar que, ao longo dos anos, o crescimento e o estabelecimento do setor sucroenergético no Brasil se deu, principalmente, por demanda da indústria automobilística, além, é claro, da criação de políticas públicas. Até o início da década de 1970, o etanol produzido no Brasil era majoritariamente utilizado pela indústria farmacêutica e de cosméticos, de modo que a indústria da cana-de-açúcar voltava quase todos os seus esforços à produção de açúcar (MILANEZ; F. FILHO, 2008). Foi apenas em 1975, com a crise do petróleo e a implementação do Programa Brasileiro de Álcool (ProÁlcool), que a produção de etanol avançou. 10 anos após, em 1985, a produção de etanol triplicou e a frota de automóveis fabricados no Brasil era quase, em sua totalidade, movida a álcool. Com a queda dos preços do petróleo em 1989 e o aumento do preço e da demanda do açúcar, a produção de etanol ficou estagnada e só voltou a crescer novamente em 2003, com o lançamento dos veículos *flex fuel* (CGEE, 2009). A partir de então, a produção de etanol triplicou, atingindo os níveis atualmente reportados (Figura 2).

FIGURA 2 – Histórico da produção de etanol no Brasil e sua correlação com a demanda e as inovações da indústria automotiva.



Fonte: Elaborada pelo autor com base em dados da ÚNICA.

Hoje, com o estabelecimento de políticas públicas que visam à redução das emissões dos gases do efeito estufa (principalmente CO₂) e a busca por tecnologia que aumente a eficiência energética dos automóveis, a tendência é que, nos próximos 10 anos, a produção de etanol cresça consideravelmente, podendo atingir 50 bilhões de litros (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

A principal matéria-prima para a obtenção de biodiesel no Brasil é o óleo de soja, que corresponde a mais de 70% da produção (CÉSAR *et al.*, 2019). A conversão do óleo de soja em biodiesel é feita através de um processo químico denominado transesterificação, que resulta em dois principais produtos: o próprio biodiesel e a glicerina.

A produção e a utilização de biodiesel no Brasil são relativamente recentes, tendo sido motivadas pela busca do desenvolvimento de tecnologias alternativas aos combustíveis fósseis e pela busca da segurança energética nacional. A cadeia de produção de biodiesel foi alavancada de fato em 2004, com a criação do *Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel* (PNPB) (MDA, 2011). As principais diretrizes do programa se resumem a (MDA, 2011):

1. Produzir e fornecer biodiesel com qualidade e preço competitivo;
2. Incentivar a produção do biodiesel a partir de diferentes fontes de biomassa oleaginosas, visando ao desenvolvimento regional do país; e
3. Promover a inclusão social de pequenos agricultores por meio da geração de empregos e renda.

Esse último ponto é estimulado pela concessão do Selo Combustível Social, dado a produtores de biodiesel que fomentam a utilização de diferentes matérias-primas (girassol, mamona, dendê, entre outras) e promovem a agricultura familiar, empregando pequenos agricultores (MDA, 2011; ASBRAER, 2017). Com a posse do selo, o produtor tem vantagens tributárias, participação assegurada em leilões e melhores condições de financiamento.

O biodiesel é atualmente adquirido pelo governo federal – via Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) – por meio de leilões, nos quais são priorizadas as empresas contempladas com o *Selo Combustível Social*, sendo estas as responsáveis pelo fornecimento de 80% do biodiesel comercializado no país.

Desde o início do PNPB até dezembro de 2018, foram produzidos mais de 36 bilhões de litros de biodiesel nas 58 usinas espalhadas pelo país, sendo as regiões Centro-Oeste e Sul as principais produtoras e responsáveis por 82% do biodiesel produzido no Brasil (ANP, 2016).

Como resultado do PNPB, a partir de 2005 foi estipulada uma mistura facultativa de 2% de biodiesel, tornando-se compulsória em 2008 e atingindo o percentual de 11% (B11) nos dias atuais (ANP, 2019; EPE, 2017). Em outubro de 2018, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), por meio da resolução CNPE 16/2018, aprovou o cronograma para a evolução do B10 ao B15 até o ano de 2023, resultando em uma expectativa no aumento da produção de biodiesel de até 85% (UBRABIO, 2018).

Assim como na cadeia produtiva do etanol, ainda há grandes oportunidades e possibilidade de expansão do processamento interno da soja no Brasil e de aumento da produção de biodiesel, o que certamente pode suprir o crescimento da demanda previsto para os próximos anos. Hoje são produzidas cerca de 117 milhões de toneladas de soja no Brasil, utilizando 35 milhões de hectares, das quais 60% são exportadas. Apenas 40% da soja produzida no Brasil é processada internamente, resultando em, aproximadamente, 32 milhões de toneladas de farelo e 8,6 milhões de toneladas de óleo vegetal (ABIOVE, 2019). Dessa quantidade de óleo vegetal obtida, apenas 4,2 milhões de toneladas são utilizadas para produção de biodiesel, sendo o restante empregado no consumo doméstico, principalmente para alimentação (ABIOVE, 2019).

Commodities agrícolas, tais como a soja têm seu preço determinado pelo mercado, o que resulta em pequeno poder de negociação e torna a margem de lucro muito baixa para os produtores. O Brasil tem grande oportunidade de agregar valor aos seus produtos, expandir seus lucros ao aumentar o percentual de processamento de soja e, conseqüentemente, exportar produtos derivados, como o farelo e não o grão in natura. Atualmente, além de exportar mais de 70 milhões de toneladas de soja anualmente, há uma capacidade ociosa e/ou inativa de mais de 38% nas usinas esmagadoras de soja no Brasil (ABIOVE, 2019). Logo, acredita-se que o mercado de soja, de óleo vegetal e, conseqüentemente, de biodiesel, tenha grandes perspectivas para os próximos anos, principalmente devido ao aumento da mistura do biodiesel e à implementação do Programa RenovaBio.

A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Embora o Brasil possua uma grande quantidade de biomassa disponível para a produção de biogás, esse processo ainda é raro no país, constituindo assim uma grande oportunidade de negócio. Estima-se que seja possível produzir cerca de 85 bilhões de Nm³/ano (Normal metro cúbico por ano) de biogás somente com restos advindos do setor sucroenergético (41,4 bilhões), da agroindústria (37,4 bilhões) e do saneamento (5,8 bilhões) (ABILOGÁS, 2019).

O biogás pode ser aplicado para geração de energia térmica, energia elétrica ou como biocombustível. Do ponto de vista de equivalência energética, ele teria o potencial de suprir 38% da demanda de energia elétrica do país (480 GWh) ou 70 % da demanda de óleo diesel (60 bilhões de litros) (ABILOGÁS, 2019). Além disso, a produção de biogás pode ser descentralizada, sendo este ainda de fácil transporte e com forte geração de emprego nas suas unidades industriais.

Atualmente já existem iniciativas efetivas para a produção e o emprego de biogás na geração de energia elétrica. Como exemplo, a usina do *Bonfim*, no interior de São Paulo, está fazendo um investimento de R\$ 153 MM para a produção de 138.000 MWh/ano de energia elétrica a partir do biogás produzido de vinhaça e torta de filtro (um resíduo industrial da produção de etanol) (ABILOGÁS, 2019). Esse tipo de iniciativa pode ser seguido por boa parte do setor sucroenergético, iniciando assim uma expressiva cadeia de valor, que deve ter grandes consequências no desenvolvimento de novos processos biotecnológicos e na formação de produtos com maior valor agregado.

A GERAÇÃO DA BIOELETRICIDADE

O aumento da produção de etanol no Brasil devido ao Programa ProÁlcool, na década de 70, levou à formação de um subproduto inicialmente visto como um grande problema: o excesso de bagaço resultante da moagem da cana-de-açúcar. A primeira solução encontrada para o problema foi a queima do bagaço em caldeiras de baixa eficiência, eliminando a maior parte desse material e convertendo-o em CO₂. Esse quadro só se modificou a partir de 1987, quando alterações na legislação permitiram que as usinas vendessem a energia elétrica excedente para o grid. Isso gerou uma revolução no setor que, a partir daí, tornou a energia elétrica um novo produto, ao lado do etanol e do açúcar. Esse cenário aumentou a segurança dos investimentos e a flexibilidade da unidade industrial, que cada dia mais se configuraria na biorrefinaria.

Em 2016, a biomassa foi responsável por 8% da geração de energia elétrica no país, sendo a segunda fonte mais importante, atrás apenas da energia hidrelétrica (COELHO, 2017). Atualmente, a eletricidade é produzida em caldeiras e turbinas de alta eficiência e o setor se encontra em forte expansão, trabalhando para aumentar a quantidade de biomassa disponível para a geração de bioeletricidade a partir do recolhimento da palha da cana (folhas e ponteiros que sobram no campo após a colheita mecanizada) e do plantio de variedades de cana-de-açúcar com maior conteúdo de fibra, como a cana-energia. Além disso, existem grupos investindo diretamente na produção de biomassa para geração de energia elétrica, de modo que esta deixa de ser coproduto para se tornar o objetivo do negócio.

A produção de bioeletricidade conta com vantagens adicionais, uma vez que pode ser gerada a qualquer momento e em diversos locais, diferentemente das fontes eólica e solar. Além disso, a maior produção de bagaço da cana-de-açúcar ocorre em períodos secos – colheita – o que coincide com os picos de estresse das hidrelétricas, que dependem das chuvas para a geração de eletricidade. Em 2018 foram produzidos 51,3 TWh de energia a partir de biomassa, sendo 25,5 TWh ofertados para o Sistema Integrado Nacional, poupando em 15% a queda dos níveis dos reservatórios do Sudeste e do Centro-Oeste (DUARTE, 2019).

Embora o bagaço de cana-de-açúcar seja atualmente a principal fonte de biomassa para esse fim, correspondendo a 77% de toda a biomassa utilizada (EPE, 2018), existe também um grande potencial na lixívia (licor negro) e nas florestas plantadas de eucalipto. Só em 2018, o setor de base florestal plantada produziu 20,3 milhões de MWh, suficiente para abastecer uma população de 600 mil habitantes. Destes, vendeu 5,1 milhões de MWh para a rede. A energia produzida pelo setor é oriunda, principalmente, do segmento de celulose e papel. Apesar disso, há empresas com recurso disponível para investimento no plantio de florestas dedicadas para geração de bioenergia como seu negócio principal. Esses investimentos não se concretizam devido aos atuais modelos de leilões de energia não considerarem as especificidades da fonte, o que acaba por prejudicar o avanço da bioenergia.

Hoje, a energia elétrica utilizada na produção de etanol de milho no Brasil provém, principalmente, da queima da biomassa de eucalipto, diferentemente da produção de etanol de milho americana, na qual a energia elétrica necessária é gerada a partir do gás natural, penalizando significativamente a sustentabilidade do processo.

O PROGRAMA RENOVABIO

Atualmente no Brasil, existem ainda dois grandes programas governamentais que se conectam e articulam medidas para o uso sustentável e eficiente da energia gerada a partir de biocombustíveis: a Política Nacional dos Biocombustíveis (RenovaBio) e a Rota 2030. Resumidamente, os programas visam a uma redução na emissão de gases do efeito estufa a partir da redução na quantidade de CO₂ fóssil que os combustíveis emitem para gerar energia (gCO₂/MJ) e do consumo eficiente dessa energia (MJ/km). Em suma, como resultado final, os programas buscam uma menor emissão de CO₂ por quilômetro rodado, considerando todo o ciclo de vida do combustível, desde sua produção até seu uso final.

O RenovaBio é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), foi instituído em dezembro de 2017 com a aprovação da Lei 13.576 (BRASIL, 2017) e deve entrar em vigor no início de 2020. Baseado no *Acordo de Paris* e a partir do estabelecimento de

metas anuais de descarbonização do setor de transporte, o programa prevê incentivar a expansão dos biocombustíveis no país, garantindo previsibilidade, segurança energética e sustentabilidade ambiental e econômica.

O programa se baseia na análise do ciclo de vida do carbono do combustível, com a emissão e a compra de Créditos de Descarbonização (CBios) (BRASIL, 2017). Cada CBio equivale a 1 tonelada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ evitada. Os biocombustíveis (etanol, biodiesel e biogás) têm baixa intensidade de carbono quando comparados aos combustíveis fósseis (gasolina e diesel). O etanol e o biodiesel produzidos no Brasil emitem, em média e respectivamente, 20,8 $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ e 26,70 $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ para cada megajoule de energia produzido, enquanto a gasolina e o diesel de origem fóssil emitem cerca de 86,5 $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ (MME, 2018). Logo, ao produzirmos energia com o etanol ou com o biodiesel, ao invés de usarmos combustíveis fósseis, teremos evitado a emissão de cerca de 60 $\text{gCO}_{2\text{eq}}$.

De forma simplificada, um produtor ou importador de biocombustível autorizado pela ANP e habilitado para a emissão de CBio irá emitir 1 CBio ao produzir a quantidade de biocombustível que mitigue a emissão de 1 tonelada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, mas que produza a mesma quantidade de energia que o combustível fóssil equivalente. Para o etanol hidratado, essa quantidade é de, aproximadamente, 703 litros, e para o biodiesel, de 506 litros. Esse CBio emitido pelo produtor ou importador de biocombustível será comercializado na bolsa de valores. Os principais compradores de CBio serão os distribuidores de combustíveis, que terão uma meta anual de descarbonização definida de acordo com a meta de descarbonização estabelecida pelo Programa RenovaBio.

Hoje, a intensidade de carbono média da matriz de combustíveis do Brasil é próxima de 74,25 $\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$ e a meta é que, em 2028, seja atingida uma intensidade de 66,75 $\text{gCO}_{2\text{eq}}$ ou seja, uma redução de 10,1% (MME, 2018). Tendo como base essa meta de descarbonização, as previsões para o aumento da produção e do uso de biocombustíveis no Brasil são muito otimistas, com uma expansão da produção de etanol na ordem de 77%, o que significa cerca de 47 bilhões de litros em 2028. Com o início do RenovaBio e a instituição de mistura B15 até 2025, estima-se um cenário semelhante para o biodiesel, devendo sua produção atingir níveis de 11 bilhões de litros nos próximos 10 anos (MME, 2018).

Para calcular a emissão de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ pelos biocombustíveis, o Programa RenovaBio desenvolveu a ferramenta RenovaCalc (ANP, [s.d]), uma calculadora que avalia o desempenho ambiental da produção de biocombustíveis a partir do detalhamento dos aspectos agrícolas e industriais. Os produtores de biocombustíveis que participarem do Programa RenovaBio e utilizarem a calculadora serão certificados por certificadoras acreditadas à ANP para emissão de CBio. Com a avaliação detalhada dos aspectos agrícolas e industriais relativos à produção, quaisquer inovações tecnológicas que permitirem maior produtividade de biocombustível sem alteração ou com redução da emissão de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ trarão benefícios ao

produtor e, conseqüentemente, maior produção de CBios. Isso certamente acarretará novos investimentos, a busca por novas tecnologias e o aumento da produtividade de biocombustíveis, de modo a alavancar um crescimento sustentável da indústria de biocombustível e da Bioeconomia no Brasil.

O PROGRAMA ROTA 2030

O Programa Rota 2030 – Mobilidade e Logística, por sua vez, foi instituído em 10 de dezembro de 2018 pela Lei 13.755 (BRASIL, 2018) e apresenta-se como uma estratégia do governo federal para o desenvolvimento do setor automotivo no país e para a busca pela eficiência energética, ou seja, pelo desenvolvimento de novas tecnologias e pela utilização de menor quantidade de combustível para produção de mesma quantidade de energia.

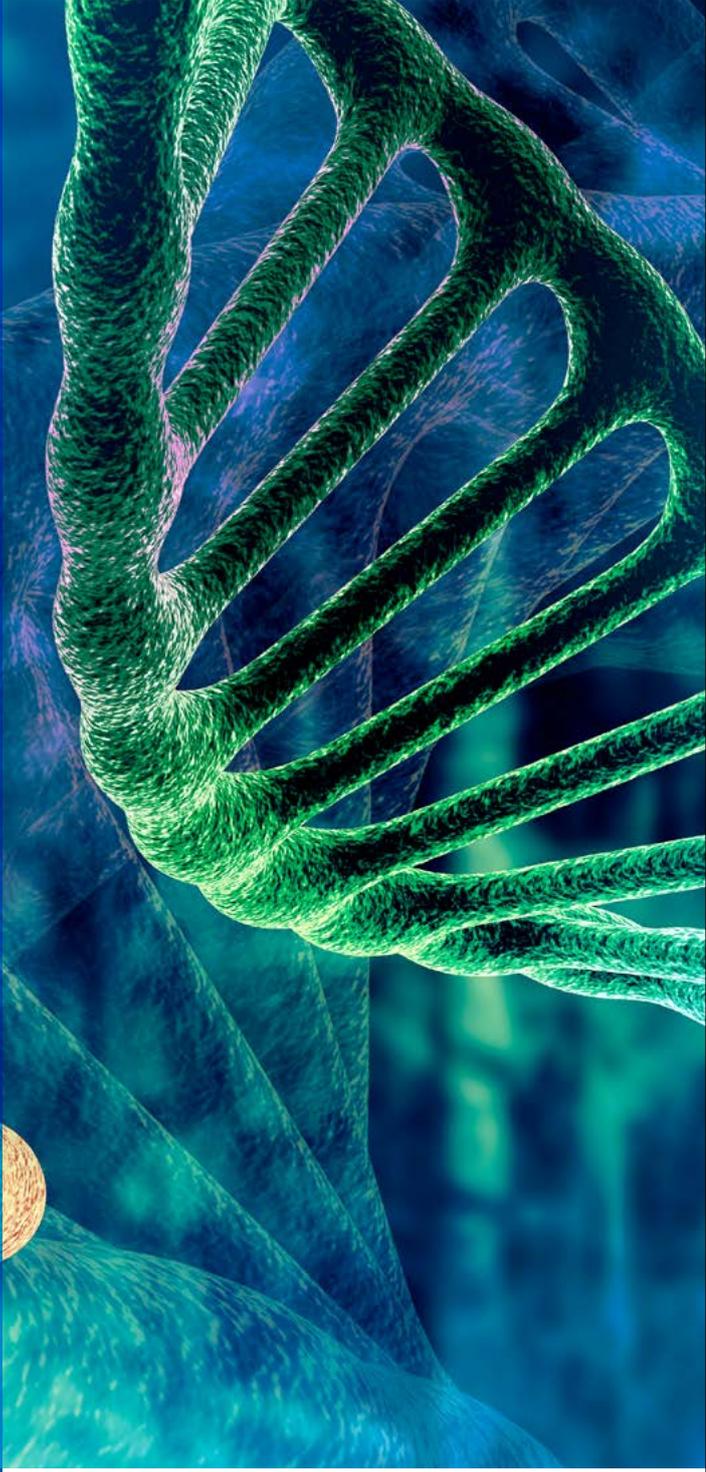
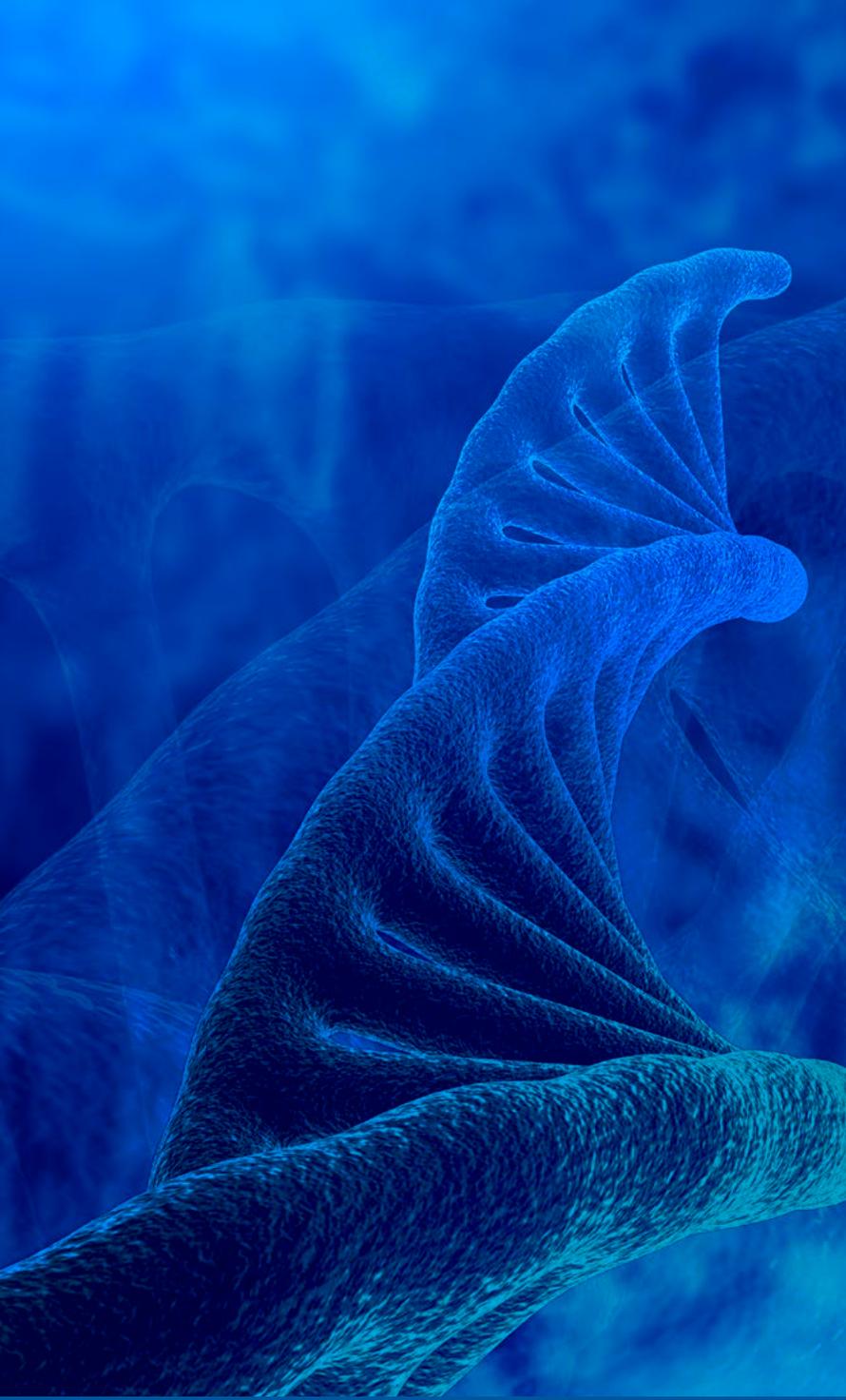
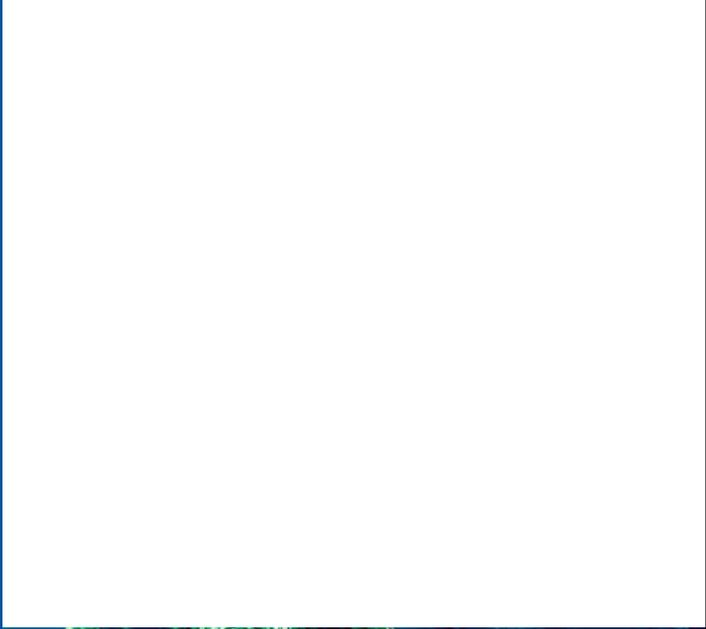
O programa tem vigência de 5 anos e, utilizando incentivos fiscais na ordem de até R\$ 1,5 bilhão por ano, visa incentivar o investimento da indústria automotiva em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e aumentar a eficiência energética dos veículos em 11% até o ano de 2022. Além disso, os veículos que apresentarem novas tecnologias e atenderem aos critérios de eficiência energética, terão uma redução na alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI). O programa ainda propõe isentar impostos de importação sobre peças sem produção equivalente nacional, frente a um investimento de 2% do valor aduaneiro em P&D. Esse investimento deverá ser feito em linhas prioritárias para o desenvolvimento da indústria nacional automotiva e engloba, ainda, a produção de biocombustíveis.

Atualmente, uma das principais frentes de investimento e desenvolvimento da indústria automotiva mundial é a eletrificação veicular, visando ao aumento da eficiência energética, à remoção de substâncias tóxicas da atmosfera das cidades e à redução de emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, existe uma confusão quando se fala do tema, de modo que se associa a eletrificação ao uso de baterias. O fato é que as baterias de lítio não são uma exigência para a eletrificação automobilística, embora sejam a opção considerada pela maioria dos executivos do setor. Na verdade, as baterias de lítio provavelmente serão apenas uma tecnologia para as células a combustível (CCs) (KPMG, 2019).

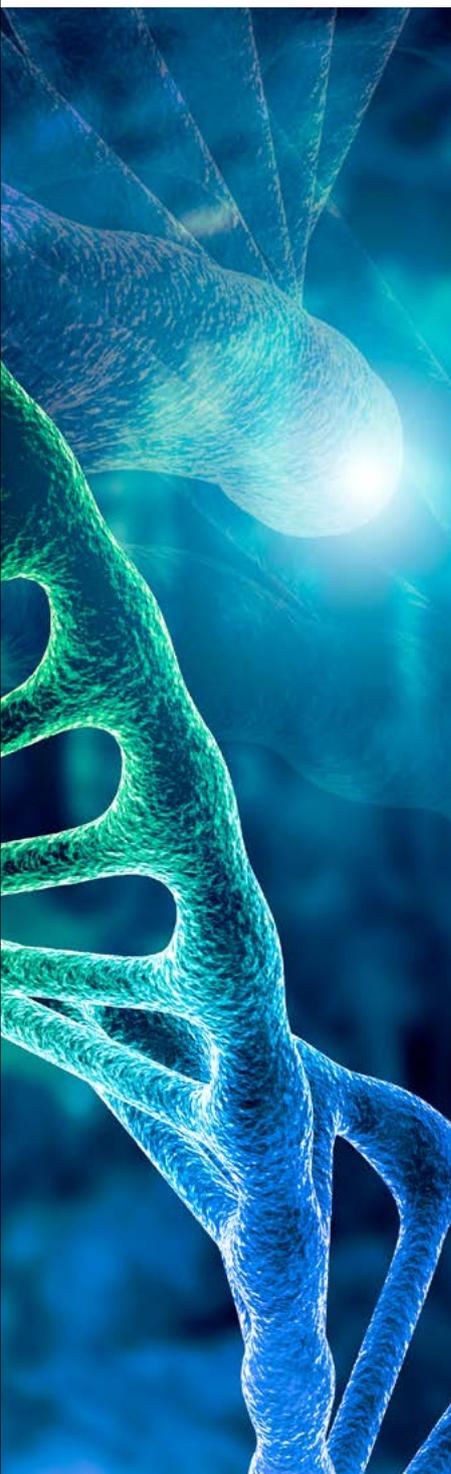
De forma simplificada, CCs utilizam o hidrogênio molecular (H_2) para a geração de uma corrente elétrica que alimenta o motor elétrico. Atualmente existem duas principais tecnologias: as CC-PEM (*proton exchange membrane fuel cell* ou célula combustível de membrana de troca de prótons), que utilizam metais raros na sua composição e exigem o uso de hidrogênio ultrapuro como combustível; e as CC-SOFC (*solid oxide fuel cell* ou célula combustível de óxido sólido), que retiram o hidrogênio de combustíveis para a geração da corrente elétrica (ELETROCELL, [s.d.]).

As CC-PEM têm uma tecnologia bem estabelecida para a indústria automobilística, de modo que há veículos no mercado que já a utilizam, como o Mirai da Toyota. Já a CC-SOFC está em franco desenvolvimento e sua tecnologia já é empregada em motores estacionários e para a indústria automotiva em um movimento liderado pela Nissan. Um carro protótipo usando essa tecnologia rodou no Brasil entre os anos de 2016/2017 (AUTO MAIS ENTRETENIMENTO, 2017). Isso causou euforia no setor sucroenergético, uma vez que esses veículos aumentam muito a eficiência do uso do etanol – o protótipo roda 600 km com 30 litros de etanol hidratado e a expectativa é que esse número se aproxime dos 30 km/l (AUTO MAIS ENTRETENIMENTO, 2017). Além disso, espera-se que seu preço de mercado seja significativamente inferior ao do carro elétrico à bateria.

Embora a CC seja uma inovação eletromecânica, há um impacto direto da CC na Bioeconomia. Semelhante ao verificado com o carro a etanol de combustão interna, que movimentou uma grande cadeia de valor no Brasil, a eventual adoção mundial dessa tecnologia levaria à estruturação da cadeia de produção de biocombustíveis em diversos países, com grandes benefícios para áreas tropicais – em particular na África, América Central e sul da Ásia. Além disso, o aumento da demanda pelo etanol seguramente levará à consolidação das tecnologias de segunda geração e mesmo das formas menos convencionais de produção de etanol – como o uso de gases de exaustão (LANZATECH, 2018). Essas tecnologias permitirão a descentralização da produção de biocombustíveis, possibilitando que todos os países do mundo, com maior ou menor eficiência, possam ser produtores.



7 COMMODITIES QUÍMICAS – “BUILDING BLOCK CHEMICALS”



As biorrefinarias² têm o potencial de reconstruir a indústria petroquímica em bases renováveis. Em teoria, todos os compostos químicos originados da indústria petroquímica podem também ser produzidos a partir de biomassa. Isso torna o processo renovável, reduz a emissão de gases do efeito estufa e reduz nossa dependência de fontes fósseis. É necessário, no entanto, desenvolver tecnologia para que tais feitos sejam alcançados. A boa notícia é que já dispomos de diversos exemplos de processos bem-sucedidos no mundo.

O desenvolvimento da Bioeconomia brasileira depende tanto da tecnologia quanto da aceitação da sociedade dos produtos oriundos da biomassa e, para tal, a divulgação desses produtos como benéficos ao meio ambiente, mantendo as mesmas qualidades, pode ser um passo estratégico nesse sentido. Além disso, a financeirização dessa atividade produtiva, semelhante ao que foi feito para os biocombustíveis, pode representar o incentivo que falta para que empresas nacionais mergulhem no novo caminho da inovação.

O desenvolvimento da Bioeconomia brasileira depende tanto da tecnologia quanto da aceitação da sociedade dos produtos oriundos da biomassa e, para tal, a divulgação desses produtos como benéficos ao meio ambiente, mantendo as mesmas qualidades, pode ser um passo estratégico nesse sentido.

² Biorrefinaria é uma usina que integra processos de conversão de biomassa em biocombustíveis, insumos químicos, materiais, alimentos, rações e energia, otimizando o uso de recursos, minimizando os efluentes e maximizando os benefícios e o lucro. As biorrefinarias integram diversas rotas de conversão – bioquímicas, microbianas, químicas e termoquímicas – em busca do melhor aproveitamento da biomassa e da energia nela contida.

Do ponto de vista molecular, a diferença entre petróleo e biomassa é a presença de oxigênio, eliminado durante o processo de fossilização da matéria orgânica. A presença de oxigênio na biomassa reduz a densidade energética de cadeias carbônicas de mesmo comprimento quando comparadas às dos combustíveis fósseis, trazendo desafios para as conversões da matéria orgânica em produtos de interesse quando são utilizadas apenas tecnologias tradicionais da engenharia química.

O desenvolvimento da biotecnologia possibilitou mudança significativas nesse cenário de modo que, atualmente, é possível utilizar células como reatores bioquímicos, modificando-as para que realizem conversões que normalmente não são feitas na natureza, de forma comercialmente eficiente. Isso tornou possível produzir diversos insumos oriundos da indústria petroquímica utilizando fontes renováveis de carbono e energia – a biomassa.

Uma vez que a tecnologia não é mais o empecilho para essa transição, a questão que se coloca é a competitividade dos processos, considerando-se o baixo custo de exploração do petróleo, a volatilidade do seu preço e o fato de que as refinarias já têm uma longa história de sucesso. De maneira prática, é importante que o valor final do produto derivado de biomassa seja menor – ou pelo menos igual – ao mesmo produto derivado de recurso fóssil. Para isso, três pontos são fundamentais:

1. A existência de um processo de conversão eficiente;
2. Mecanismos de mercado para proteção contra a volatilidade do petróleo; e
3. O custo da biomassa em relação ao petróleo.

Para um produto ser economicamente viável e barato, sua matéria-prima e seu processo de produção devem também ser baratos. Considerando esse fato, percebe-se a vantagem competitiva que o Brasil tem na área dos produtos oriundos da biomassa, uma vez que o país é um destino desejado para a instalação de diversas empresas que possuem tecnologias de conversão e que estão interessadas tanto em produzir como em licenciar as suas tecnologias. Temos as matérias-primas mais competitivas do mundo, como a cana-de-açúcar, a cana-energia, o milho e mesmo a madeira de reflorestamento (LAP *et al.*; SILVA; BOMTEMPO; ALVES, 2019), sendo que em todas elas a maior parte do açúcar se encontra na forma insolúvel.

Embora seja possível desenvolver inúmeros processos a partir apenas do açúcar de primeira geração, como a sacarose e o amido, é ideal utilizar todo o potencial produtivo das plantas, combinando processos biológicos e físico-químicos para gerar açúcares de segunda geração. Esses açúcares, provenientes da celulose e da hemicelulose, são obtidos por

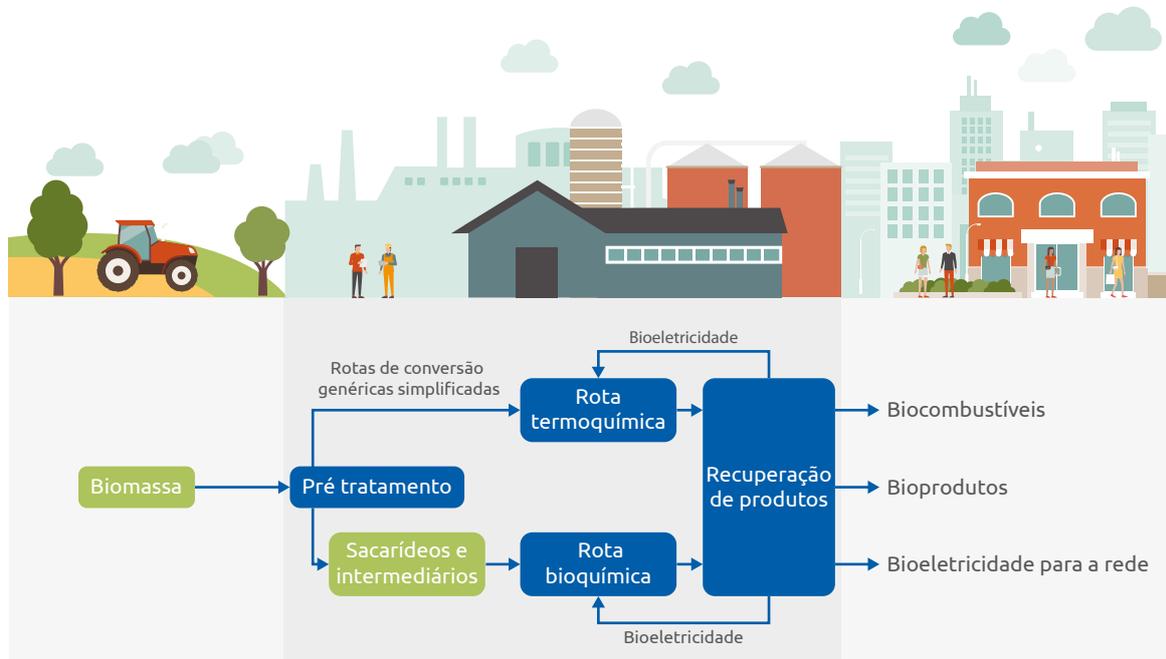
meio do pré-tratamento e da hidrólise enzimática. Com técnicas de engenharia genética e evolução acelerada, os microrganismos podem se tornar reatores capazes de transformar o açúcar diretamente na molécula de interesse ou em algum precursor. Por fim, processos químicos podem ser utilizados para dar acabamento às moléculas de interesse (CNI, 2013).

As moléculas produzidas nesses processos são conhecidas como *building block chemicals*, ou blocos químicos, e possibilitam a obtenção de uma infinidade de produtos finais, tais como garrafas, tintas, telefones celulares, carros ou mesmo edifícios. Assim, usando uma combinação de diferentes reações e catalisadores, um pequeno número de compostos químicos – os *building block chemicals* – podem ser usados para sintetizar uma miríade de diferentes químicos que, por sua vez, são matérias-primas para a formulação de outros vários produtos (CHEN; WESELAKE; SINGER, 2018). Para ilustrar o potencial da indústria, a Tabela 1 apresenta uma lista dos 12 blocos químicos de grande importância atual (CHEN; WESELAKE; SINGER, 2018), que podem ser derivados de biomassa e têm grande potencial para produção no Brasil.

Além dos blocos químicos apresentados, outras moléculas oriundas da indústria petroquímica podem ser facilmente obtidas da biomassa, como o etileno. Essa molécula é normalmente produzida pela indústria petroquímica a partir do craqueamento da *Nafta* e é empregado na síntese do polietileno utilizado em um grande número de plásticos. Entretanto, o etileno pode ser produzido a partir da hidrogenação do etanol obtido da fermentação do açúcar.

Assim, uma biorrefinaria que comumente produz etanol, poderia produzir praticamente qualquer tipo de molécula que hoje é ainda produzida a partir de substrato fóssil (Figura 3). Esse processo apresenta a grande vantagem de capturar carbono de médio ou longo prazo durante sua execução, do mesmo modo que o etanol combustível tem uma capacidade de mitigação de emissões fósseis quando comparado à gasolina, conforme apresentado anteriormente. Entretanto, esse processo não promove captura líquida de carbono; ele apenas evita um aumento das emissões de gases do efeito estufa.

Considerando o etileno produzido a partir do etanol, essa lógica é diferente, principalmente quando tal composto é empregado em um produto com longo tempo de uso, como móveis ou componentes para a construção civil. Além disso, esse processo é de especial interesse quando utilizado para produção de plástico e seus derivados, uma vez que são versáteis e muito utilizados atualmente.

FIGURA 3 – Diferentes rotas de conversão em uma biorrefinaria

Fonte: Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Utilizando processos renováveis, ao invés de acabar com o plástico, a Bioeconomia nos apresenta, por exemplo, uma alternativa de substituição de seu processo de produção. Um exemplo recente no Brasil, e de grande repercussão, se deu pelo uso de sacolinhas plásticas no comércio. O uso de monômeros vindos do petróleo, como o etileno, torna essas sacolinhas bastante resistentes, sendo extremamente persistentes na natureza. Isso provoca grandes distúrbios, dada a dificuldade de compostagem nos aterros sanitários.

Utilizando a Bioeconomia como base, esse problema poderia ser resolvido sem grandes distúrbios. Por exemplo, a utilização de monômeros com oxigênio na composição geraria uma degradação das sacolas após algum tempo. Um bom exemplo nesse sentido é a produção de polímeros plásticos oriundos de ácido láctico (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Tal processo é conhecido há bastante tempo, mas ainda relativamente pouco utilizado. Além do ácido láctico, outros insumos da Bioeconomia, como a nano celulose (GEA, 2016), são capazes de originar plásticos em geral com as mais diversas propriedades, semelhantes àsquelas obtidas em seus similares de origem petroquímica e que são biodegradáveis.

TABELA 1 – 12 blocos químicos mais importantes atualmente que podem ser derivados de biomassa e com potencial para produção no Brasil

Bloco químico	Aplicação	Maiores produtores (em ordem alfabética)	Fonte
1,3-butadieno	Produção de borracha de estireno-butadieno (SBR) para pneus, goma de mascar, solados de sapato, selantes para alimentos e brinquedos de borracha.	BASF; Borealis; Equistar Chemical; ExxonMobil; Ineos; Polimeri Europa; Reliance Industries; Repsol YPF; Sabic; Shanghai Petrochemical; Shell; Sinopec.	[119]
1,3-propanodiol	Polímeros, incluindo poliuretano, politereftaleno tereftalato (PTT) e poliéster insaturado, bem como anticongelante, fluidos de transferência de calor e aplicações farmacêuticas na forma de um umectante e solvente.	DuPont Tate & Lyle Bioproducts; Metabolic Explorer SA; Zhangjiagang Glory Biomaterial Co. Ltd.; Zouping Mingxing Chemical Co. Ltd.	[120]
1,4-butanodiol	Produção de PBS, tetraidrofurano e polibutileno tereftalato (PBT) para aplicações nas indústrias eletrônica e automotiva.	BASF; Dairen Chemical; Markor Chem.	[121]
Ácido láctico	Indústria farmacêutica, alimentícia, médica, ácido polilático (PLA), plástico biodegradável, entre outros.	Corbion–Purac; Galactic; NatureWorks LLC – Cargill.	[117]
Ácido succínico	Indústria farmacêutica, alimentícia e química, incluindo bioplástico de polibutileno succinato (PBS) biodegradável, entre outros.	BioAmber.	[122]
Álcoois gordurosos	Surfactantes para detergentes, matéria-prima na fabricação de lubrificantes e plastificantes.	Emery Oleochemicals; Godrej Industries Limited; Kao Corporation; Kuala Lumpur Kepong Berhad; Musim Mas Holdings; Procter & Gamble; Royal Dutch Shell Plc.; Sasol; VVF Ltd; Wilmar International Ltd.	[123]
Furfural	Precursor para solventes em tintas de impressão, aplicações agrícolas, cromatografia, drogas farmacêuticas, inseticidas, componentes de biocombustíveis e resinas de fundição, que podem ser usadas para plásticos reforçados com fibras de furano.	Arcoy Industries Pvt. Ltd.; Central Romana Corporation, Ltd.; Hongye Holding Group Corporation.	[124]
Glicerol	Cosméticos, alimentos, detergentes, explosivos, produtos de tabaco, poliésteres, indústria têxtil, metionina, entre outros.	Diversos	[125]

Bloco químico	Aplicação	Maiores produtores (em ordem alfabética)	Fonte
Isopreno	Produção de poliisopreno (borracha sintética) para pneus, luvas cirúrgicas, sapatos, etc.	Nizhnekamskneftekhim; SIBUR Togliatti; Synthez-Kauchuk.	[126]
Lactato de etila	Produto final usado principalmente como solvente para revestimentos. Tem propriedades químicas melhoradas em comparação com a maioria das derivadas do petróleo e é biodegradável, não tóxico, reciclável e até mesmo aprovado pela FDA dos EUA para ser usado como um aditivo de sabor.	Empresas de ácido láctico.	[117]
Para-xileno	Produção de ácido tereftálico usado como matéria-prima na produção de diversos poliésteres, como PTT, PBT e PET.	ExxonMobil; Reliance Industries; SINOPEC.	[127]
Propileno glicol	Seguro para consumo humano com ampla gama de aplicações em indústrias farmacêuticas e de alimentos. Matéria-prima de resinas de poliéster insaturado para painéis de fibra, cascos de barcos, contêineres e outras aplicações.	Dow Chemical; Lyondell Chemical.	[128]

* Mais detalhes sobre cada uma dessas moléculas podem ser encontrados em CHEN; WESELAKE; SINGER, 2018.

Fonte: CHEN; WESELAKE; SINGER, 2018.

Outros exemplos de compostos que substituem seus análogos petroquímicos, alguns já disponíveis no mercado, são:

- Polietileno verde produzido com fonte 100% renovável – cana-de-açúcar – e com as mesmas propriedades, desempenho e versatilidade de aplicações do polietileno de origem fóssil, sendo, inclusive, reciclável dentro da mesma cadeia de reciclagem do polietileno tradicional (BRASKEM, [s.d.]);
- EVA (copolímero etileno acetato de vinila) produzido a partir da cana-de-açúcar e utilizado para calçados, automóveis, entre outros (BRASKEM, [s.d.]); e
- MEG (monoetilenoglicol) produzido a partir de açúcar e utilizado para produção de PET, resina empregada nos setores têxtil e de embalagens, com destaque para a fabricação de garrafas (BRASKEM, [s.d.]).

Portanto, assumindo que, com tecnologia, qualquer produto petroquímico poderia ter o seu correspondente renovável, é importante que a indústria identifique a demanda e, a partir dela, organize os planos de negócio para desenvolvimento de novas tecnologias ou licenciamento de processos já existentes. Mais uma vez, a interação da universidade com o setor produtivo será um fator essencial para os novos desenvolvimentos e a redução de custos da inovação.

Considerando que esse mercado tem grande potencial no Brasil, para aprofundamento e obtenção de mais exemplos de produtos e processos, recomenda-se a leitura do relatório “*Bio-based Chemicals Value Added Products from a Report*”, preparado pela *International Energy Agency Bioenergy – Task42 Biorefinery* (JONG, [s.d.]).

Por fim, sabe-se que a entrada no mercado desses novos produtos renováveis é sempre algo desafiador, considerando-se, em especial, a exposição do mesmo ao concorrente fóssil. Um possível modo de facilitar e incentivar sua produção e entrada no mercado pode ser baseado no Renova-Bio, anteriormente detalhado. Assim, se desenvolveria um mecanismo de mercado bastante atrativo para precificar as externalidades positivas relacionadas à produção e ao uso dos químicos renováveis, associando a emissão dos títulos financeiros ao seu processo produtivo. Esses títulos, pela sua natureza de captura e armazenamento, poderiam ter uma formação de valor que refletisse, por exemplo, a eficiência do processo produtivo e o ciclo de vida médio do produto. Dessa forma, os empresários teriam um produto financeiro associado ao seu processo produtivo, aumentando a atratividade e a sustentabilidade do negócio e valorizado as externalidades positivas geradas na atividade.

Com tecnologia, qualquer produto petroquímico poderia ter o seu correspondente renovável, é importante que a indústria identifique a demanda e, a partir dela, organize os planos de negócio para desenvolvimento de novas tecnologias ou licenciamento de processos já existentes. Mais uma vez, a interação da universidade com o setor produtivo será um fator essencial para os novos desenvolvimentos e a redução de custos da inovação.



8 QUÍMICOS DE ALTO VALOR AGREGADO – FÁRMACOS E COSMÉTICOS



Diferentemente do que acontece com a produção de novos biocombustíveis e químicos derivados de biomassa, o desenvolvimento de fármacos e cosméticos, derivam de processos muito bem estabelecidos mundialmente. Assim, o mais relevante para esse setor é o desenvolvimento de um arcabouço legal e de infraestrutura que possibilite a aceleração do desenvolvimento de novos produtos.

Ao longo de sua existência, a humanidade tem feito uso da natureza para curar doenças e amenizar desconfortos, baseando-se na biodiversidade local e no método de tentativa e erro. Os resultados desse processo foram passados através das gerações e hoje são chamados de conhecimentos tradicionais. Estes, bem como a biodiversidade, têm grande valor para a identificação de novas moléculas e novos processos úteis para o desenvolvimento de novos produtos fármacos e cosméticos.

Apesar da grande biodiversidade disponível no território brasileiro, são raros os fármacos derivados da biodiversidade brasileira que estão no mercado. Somente em 2019 a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) aprovou o primeiro biossimilar 100% brasileiro, um hormônio do crescimento humano desenvolvido com tecnologia 100% nacional a partir da parceria entre uma universidade federal (que desenvolveu o microrganismo recombinante para produção do composto) e uma instituição privada (responsável pelo desenvolvimento do restante do processo) (PROFISSÃO BIOTEC, 2019; CRISTÁLIA, 2019).

Na área de cosméticos, temos que considerar que o Brasil possui um dos maiores mercados consumidores mundiais de produtos de beleza do mundo. Esse mercado movimentou US\$ 14,68 bilhões de dólares em 2017, e tem uma tendência de crescimento de quase 5% ao ano até 2025 (GOLDSTEIN RESEARCH, 2019). Nesse cenário, empresas brasileiras já se destacam em inovação com produtos derivados da biodiversidade brasileira, que têm grande aceitação de consumidores nacionais e estrangeiros. Esse é um mercado com grande potencial, no qual inovação é a chave do sucesso. O apoio do setor público, nas etapas pré-competitivas desses desenvolvimentos, pode tornar o Brasil um grande exportador desses produtos, especialmente quando associados à apresentação de uma imagem de país que protege e faz o uso adequado de sua natureza e biodiversidade.

Quando olhamos para a biodiversidade usando a lupa do conhecimento vemos uma infinidade de substâncias e reações bioquímicas, muitas das quais seriam muito difíceis reproduzir usando a química fina tradicional. Para usar esse potencial precisamos desenvolver mecanismos para coleccionar, fracionar e discriminar plantas e microrganismos, atendendo a regulamentação ambiental e recompensando o conhecimento tradicional

Quando olhamos para a biodiversidade usando a lupa do conhecimento vemos uma infinidade de substâncias e reações bioquímicas, muitas das quais seriam muito difíceis reproduzir usando a química fina tradicional. Para usar esse potencial precisamos desenvolver mecanismos para coleccionar, fracionar e discriminar plantas e microrganismos, atendendo a regulamentação ambiental e recompensando o conhecimento tradicional. A partir da organização desse acervo natural, será mais fácil empreender e desenvolver produtos inovadores, que trazem consigo os valores da conservação e a valorização da biodiversidade nacional. Portanto é estratégico para o Brasil transformar a sua diversidade e exuberância biológicas em uma espécie de biblioteca de químicos, possibilitando que empresas e centros de pesquisa tenham acesso às informações para aceleração da identificação de possíveis usos para os mais diversos químicos derivados da biodiversidade nacional brasileira.

Aqui, abre-se um parêntese para a importância da legislação de Propriedade Intelectual e a repartição de benefícios, entre outros processos legais que permitam que essas ideias e oportunidades sejam exploradas de forma ordenada e justa, gerando riqueza para a nação. Assim, mais uma vez

destaca-se a necessidade da interação entre os setores público e privado e o desenvolvimento de um arcabouço regulatório que discipline o desenvolvimento e o uso das coleções.

A criação dessas bibliotecas de químicos faz parte de atividades naturais de Institutos de Ciência e Tecnologia, que trabalham na identificação e catalogação dos mais diversos materiais biológicos, tanto de microrganismos como de plantas e animais. Tal processo é baseado na individualização e no fracionamento de substâncias. Entretanto, o sistema atual de financiamento dessas atividades se dá normalmente por projetos com duração definida, o que faz com que todo o trabalho seja normalmente convertido em relatórios e publicações científicas.

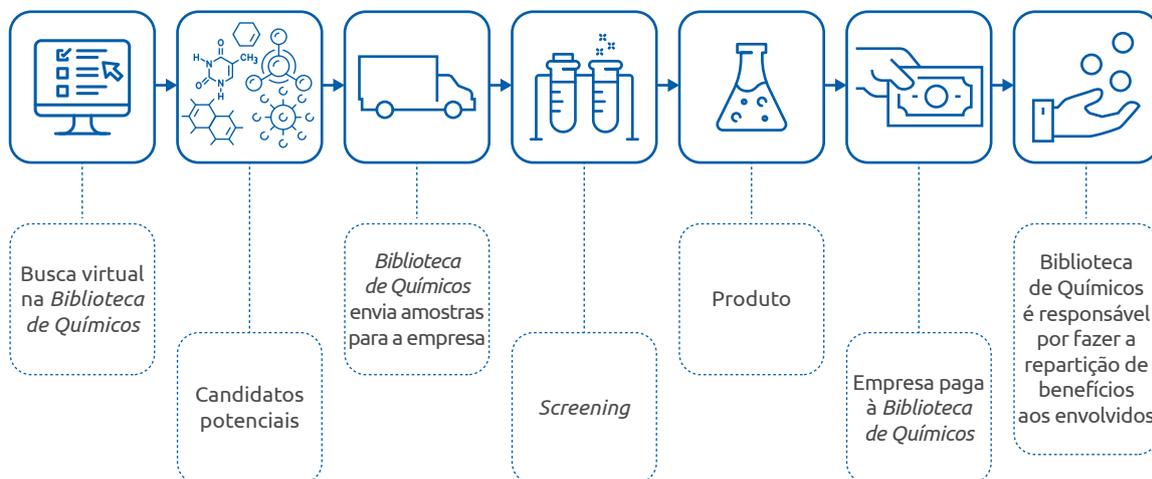
Para entender a problemática desse tipo de sistema, imagine que uma determinada amostra de solo encerra grande quantidade de microrganismos, muitos dos quais podem ser identificados e armazenados. De forma semelhante, diversas plantas podem ser fracionadas e seus componentes armazenados para análise futura. Entretanto, quando essas atividades são realizadas em laboratórios individuais, a falta de estrutura resulta normalmente em perda do material, com uma perda ainda maior de esforço e conhecimento.

Como resolução do problema, é necessário criar uma rede interligada de coleções biológicas, com acesso para o público e para as empresas, que poderiam, por exemplo, financiar a iniciativa visando à retribuição com resultados comerciais alcançados. Assim, seriam criadas estruturas dedicadas a abrigar essas coleções biológicas e analisá-las com detalhes, permitindo que os pesquisadores, além de publicarem seus resultados em revistas científicas, pudessem depositá-las nesses centros, mesmo as partes do material ainda não analisadas, para que empresas e outras instituições pudessem encontrá-las com facilidade e, quem sabe, torná-las um novo negócio.

Para exemplificar essa proposta, imaginemos que uma empresa está buscando um novo corante para ser empregado em um cosmético. A busca virtual nessa biblioteca de químicos permitiria a identificação de potenciais candidatos para essa finalidade derivados da biodiversidade brasileira. Os candidatos poderiam, então, ser remetidos à empresa para serem testados a partir dos seus sistemas de rastreamento. Uma vez que um candidato fosse escolhido para ser usado como o corante, a empresa contribuiria financeiramente para a coleção, a qual, por sua vez, faria a repartição de benefícios a partir de regras pré-estabelecidas com os coletores das amostras (Figura 4).

O mesmo processo seria aplicado a microrganismos, de modo que empresas interessadas em obter novos produtos de fermentação ou em aumentar a eficiência de processos já existentes poderiam lançar mão dessas coleções e aumentar suas chances de desenvolver novos produtos e processos mais rapidamente.

FIGURA 4 – Fluxograma exemplificando o uso das bibliotecas de químicos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Num sistema bem estruturado, o setor público desenvolveria, também, facilidades pré-competitivas para o rastreamento de produtos utilizando equipamentos sofisticados e de alto custo, que não são acessíveis para a absoluta maioria das empresas, mesmo as com maior capacidade econômica. Essas organizações poderiam ser utilizadas tanto por instituições públicas quanto privadas, permitindo assim o acesso a essas tecnologias para toda a nação.

Embora já existam algumas iniciativas, tanto de coleções biológicas como de facilidades, não há ainda uma governança estruturada para esse fim, de modo que as mesmas ficam expostas a um financiamento incerto e a gestões intempestivas. Assim, além do desenvolvimento da parte física, é essencial a implementação de um sistema de gestão integrado e robusto, que permita compreender e organizar o que existe na natureza, de modo a gerar um acervo que possa ser utilizado por toda a indústria, independentemente de seu porte. Sem isso, continuaremos tendo um conhecimento fragmentado, com produção episódica de novos produtos – especialmente no que se refere ao desenvolvimento de fármacos.



9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



A Bioeconomia é uma excelente oportunidade de negócio, pois congrega soluções para segurança alimentar e nutricional, gerenciamento dos recursos naturais, dependência de recursos fósseis e não renováveis, mitigação das mudanças climáticas, falta de competitividade e desemprego.

O Brasil apresenta inúmeras vantagens que o permitem liderar esse movimento, tais como: vasta área cultivável; agricultura bem desenvolvida, com produção agrícola em larga escala (grande produtor de alimentos, mas também de fibras e bioenergia); maior concentração de biodiversidade e a maior floresta tropical do planeta; além de uma bem-sucedida experiência em bicompostíveis. Com o desenvolvimento da Bioeconomia, há uma oportunidade única para o Brasil se tornar uma das grandes potências do mundo (DEATHWATCH, 2019).

Ao contrário de outros países, o Brasil abriga uma alta diversidade de recursos naturais de todos os tipos; a questão é como explorá-los de forma eficiente. Nesse sentido, podemos pensar na região amazônica, berço de grande parte dessa diversidade de recursos, como um modelo para a Bioeconomia, já que 60% da Floresta Amazônica encontra-se em território brasileiro.

A Bioeconomia é uma excelente oportunidade de negócio, pois congrega soluções para segurança alimentar e nutricional, gerenciamento dos recursos naturais, dependência de recursos fósseis e não renováveis, mitigação das mudanças climáticas, falta de competitividade e desemprego

O primeiro passo para o desenvolvimento dessa agenda é a estruturação de uma Política Nacional de Bioeconomia, que contemple estrutura de governança, definição do escopo de atuação no tema, objetivos pretendidos e instrumentos para o seu alcance, pensando, assim, na Bioeconomia como uma estratégia de país.

Um bom exemplo que pode ser seguido são as metas da estratégia regional europeia, desenvolvidas em 2018, onde o foco está em fazer investimentos para que cada região da Europa se especialize em determinada área da Bioeconomia. Isso pode ser replicado no Brasil, especializando cada região de acordo com suas potencialidades e recursos naturais predominantes.

O primeiro passo para o desenvolvimento dessa agenda é a estruturação de uma Política Nacional de Bioeconomia, que contemple estrutura de governança, definição do escopo de atuação no tema, objetivos pretendidos e instrumentos para o seu alcance, pensando, assim, na Bioeconomia como uma estratégia de país.

A amplitude do conceito requer uma coordenação interinstitucional, que contemple diferentes áreas de governo e do setor privado. Precisaremos de um marco regulatório sem muita burocracia, capaz de estimular investimentos em ciência, tecnologia e inovação, via políticas de apoio ao desenvolvimento privado e à cooperação internacional (RODRIGUES, 2017).

O mapeamento das competências instaladas no Brasil e no exterior, identificando modelos colaborativos em fase pré-competitiva, é um vetor para explorar o potencial latente da Bioeconomia brasileira. Conjuntamente à criação da Política Nacional, esse movimento, com indução de investimentos e grande abertura para o mercado internacional, conectado a demandas globais por ativos de alto valor agregado, representa uma estratégia poderosa para posicionar o país como líder nessa agenda.

Um bom exemplo que pode ser seguido são as metas da estratégia regional europeia, desenvolvidas em 2018, onde o foco está em fazer investimentos para que cada região da Europa se especialize em determinada área da Bioeconomia. Isso pode ser replicado no Brasil, especializando cada região de acordo com suas potencialidades e recursos naturais predominantes.

Um fato importante que também pode auxiliar para impulsionar essa agenda é a percepção pública sobre a importância e a necessidade de conservar a natureza e combater o aquecimento global, que vem aumentando nos últimos anos, bem como a necessidade de promover o desenvolvimento econômico. Isso vai ao encontro do conceito de Bioeconomia: geração de riqueza a partir de recursos da biodiversidade geridos de maneira sustentável.

Diante desse cenário, três pilares são fundamentais para o desenvolvimento da Bioeconomia no Brasil: regulamentação, ciência e desenvolvimento tecnológico e investimentos.

REGULAMENTAÇÃO

Existe no Brasil uma falta de governança em Bioeconomia - o que se vê são iniciativas distintas em diferentes órgãos do governo federal. Construir uma estrutura de governança é imprescindível para alavancar essa agenda no país. A modernização do marco regulatório, com a construção de uma Política Nacional de Bioeconomia, é o ponto de partida para o desenvolvimento de uma estratégia de país no uso de recursos biológicos, firmando o Brasil como potência competitiva nessa nova era da Bioeconomia.

Alguns aspectos como a relação ICTs-empresa e a concessão de patentes poderiam, com esse novo marco regulatório, ser revistos e aprimorados. Uma mudança cultural e estrutural nas relações ICTs-empresa deve ser articulada e desenvolvida no Brasil. As pesquisas desenvolvidas nos ICTs devem, cada vez mais, gerar soluções factíveis aos problemas globais e atender às demandas de mercado, sendo imprescindível diminuir a burocracia existente em muitos institutos na construção da relação com as empresas.

Para a propriedade intelectual, agilidade na concessão de patentes é vital para a segurança jurídica de empresas de tecnologia, principalmente nessa agenda, na qual a base para o desenvolvimento de produtos é a inovação no uso dos recursos biológicos.

Por fim, é importante dar maior atenção à exploração desenfreada da biodiversidade, que gera preocupação real em relação à biopirataria e aos direitos de populações tradicionais. A solução para tais problemas, no entanto, não deve imobilizar ou criar regras que, na prática, inviabilizem a exploração racional e sustentável das riquezas da biodiversidade brasileira. Por isso, é fundamental que os novos marcos regulatórios desenvolvidos estejam em consonância com os já existentes, como a Lei da Biodiversidade (lei 13.123/2015).

PONTOS-CHAVE

1. Definir uma estrutura de governança para a biodiversidade.
2. Simplificar e fomentar a relação dos ICTs com o setor produtivo, a partir do mapeamento do regramento existente, da identificação dos gargalos à saudável relação entre instituições, e da proposição de documentos normalizadores e orientadores que disseminem regras balizadoras dos investimentos em pesquisa, inovação e desenvolvimento produtivo.

3. Apoiar as iniciativas para aumentar a eficiência do INPI na concessão ágil e equilibrada de patentes da Bioeconomia.
4. Capacitar e alinhar os órgãos fiscalizadores e os usuários de recursos da biodiversidade (empresas, ICTs e usuários internacionais), estabelecendo metodologias e critérios de reconhecimento de conhecimento tradicional associado e alinhando os marcos regulatórios nacionais aos internacionais, bem como melhorar o canal de comunicação entre os atores envolvidos.

DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Para que problemas de importância nacional possam ser trazidos para dentro do ambiente científico, é importante que haja articulação do setor produtivo com os ICTs. Nesse sentido, a formação e o engajamento de doutores, que podem ser definidos como *resolvedores de problemas complexos e inéditos*, é um processo crucial.

O Brasil vive hoje um paradoxo. Temos cerca de 7,6 doutores para cada 100 mil habitantes, um número bem inferior àqueles de países desenvolvidos. A Itália, por exemplo, tem 17,5, a Alemanha, 34,4 e a Inglaterra, 41 (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, [s.d.]). Apesar disso, o país tem uma das maiores taxas de desemprego entre doutores do mundo. Enquanto a taxa de desocupação global desse grupo gira em torno de 2%, por aqui, a média é de 25%. Entre os que possuem mestrado, a situação é ainda pior: 35% não conseguem emprego (ROSCOE; SOARES, 2019).

A razão para essa situação reside na ideia de que o doutor é formado exclusivamente para o trabalho na academia. Isso não é o que acontece em países desenvolvidos, como os EUA, em que a maior parte dos doutores atua em empresas. É ainda mais raro que empresas brasileiras tenham um cientista-chefe (Chief Scientific Officer – CSO), figura integrante do *Conselho de Diretores* de empresas de tecnologia capaz de conectar o setor acadêmico com o empresarial e de utilizar linhas de financiamento específicas para o desenvolvimento tecnológico. No Vale do Silício, por exemplo, que concentra o maior centro mundial atual de produção de riquezas, os empreendedores possuem uma relação umbilical com as universidades, sendo muitas vezes professores e cientistas que se tornaram empresários.

Nesse sentido, é fundamental que o Brasil estimule e favoreça a interação e convivência entre indústrias e ICTs, garantindo confiança mútua para o desenvolvimento de projetos conjuntos. Assim, o empresário com boa formação acadêmica, não necessariamente

especialista, seria capaz de avaliar uma proposta sem ter que arbitrar por aparências. Esse sistema se torna ainda mais efetivo a partir do momento em que as empresas possuem o cientista-chefe, um executivo capacitado para identificar e avaliar essas oportunidades.

PONTOS-CHAVE

1. Aproximar a indústria de todos os níveis da educação, levando a cultura da Bioeconomia para a sociedade com os elementos de empreendedorismo do conhecimento.
2. Incorporar doutores às indústrias como forma de gerar uma efetiva cultura de inovação, ao mesmo tempo em que se formam empresários com essa cultura.
3. Disseminar as oportunidades de negócio da Bioeconomia para a sociedade como forma de atrair investimentos e desenvolver políticas públicas.
4. Fazer a bioprospecção e o mapeamento de novas espécies da biodiversidade com potencial de gerar valor agregado para a indústria.
5. Encontrar novos usos para produtos de origem biológica, gerando uma diversificação das cadeias produtivas de diferentes setores industriais.
6. Desenvolver estratégias de bioconversão consorciada (microusinas e biorrefinarias), atreladas ao potencial amazônico.

INVESTIMENTOS

Levando em consideração a ideia de que a Bioeconomia é baseada no conhecimento, o investimento em inovação e mão de obra altamente qualificada é fundamental.

A atividade de inovação é reconhecida como base de sustentação para o crescimento econômico, uma vez que exerce impactos positivos sobre os níveis de produtividade e competitividade das empresas. Em função da sua natureza transversal, os resultados das políticas de CT&I são abrangentes, gerando efeitos multiplicadores para o conjunto da sociedade que, de diversas maneiras, se beneficia do progresso tecnológico.

A produção de tecnologias inovadoras, sejam incrementais ou disruptivas, é onerosa e requer financiamento especial. Três diferentes tipos de empresas fazem a inovação utilizando capital inovador de origem pública ou privada, vindo de bancos tradicionais ou de fundos especializados: as startups; as pequenas e médias empresas; e as grandes empresas. Em razão de suas diferenças estruturais, há necessidades específicas de capital e regulamentação para cada uma delas.

As startups são fundamentais para essa economia do conhecimento, ainda mais com o avanço da indústria 4.0, que é a base para a Bioeconomia. Muitas nascem nas universidades a partir de descobertas e tecnologias desenvolvidas ao longo dos cursos. Nesses casos, a relação com a universidade é muito forte, assim como a participação de professores ou pesquisadores das instituições. O perfil tradicional desses empreendimentos é o de pessoas muito motivadas, mas sem recursos para desenvolver as ideias e sem as garantias necessárias para conseguir empréstimos no sistema financeiro tradicional.

Atualmente, existe um esforço de algumas instituições, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), na promoção de programas especiais para tais empreendedores. Esses ciclos de financiamento permitem o desenvolvimento de protótipos e até a estruturação efetiva da empresa, uma vez que a etapa inicial do programa tenha sido bem-sucedida. Essa é uma iniciativa que pode servir de modelo para o país, a ser adotada pelas diversas fundações de pesquisa estaduais.

Existe, no país, um volume significativo de capital privado em busca de oportunidades de investimento. Diversos gestores desses fundos privados trabalham minerando possibilidades de maior rentabilidade, mas normalmente não possuem o conhecimento para apostar em empresas de inovação da Bioeconomia. Esse quadro pode ser alterado a partir de políticas de conexão desses atores.

A geração de *spin-offs* a partir das ICTs, como no Vale do Silício, deve ser estimulada. Essas startups de base tecnológica/científica necessitam de programas como o PIPE (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas), da FAPESP, em nível nacional, e também da existência de laboratórios públicos compartilhados, para possam desenvolver tecnologias sem precisar de investimento em bens de capital.

As **pequenas e médias empresas** que não passaram pela fase de startup são negócios que percebem a necessidade de inovar e oferecer novos produtos, mas que não têm capital suficiente para realizar esse movimento. Para esses casos, há duas propostas importantes: o estreitamento da relação dessas empresas com as ICTs, reduzindo significativamente os custos de desenvolvimento; e a oferta de financiamentos específicos para a inovação. Nesse caso, a estruturação das garantias com base no valor do projeto, o tempo de carência e as taxas de juros são centrais para o sucesso do empreendimento, sendo esta uma prioridade nas políticas voltadas ao tema.

Sobre as **grandes empresas**, a dificuldade de inovar frequentemente reside no excesso de procedimentos administrativos, que aumentam a segurança jurídica da empresa, mas também retiram grande parte da agilidade requerida para o processo. Entretanto, tais empresas sabem que sua sobrevivência depende fortemente da inovação.

Existem três estratégias para lidar com essa situação: (i) o desenvolvimento interno, que normalmente demanda grandes investimentos para a elaboração de um novo produto; (ii) o financiamento de projetos com a academia, no qual se investe para o desenvolvimento de novos produtos, pesquisas disruptivas ou pré-competitivas; e (iii) a aquisição ou o financiamento de startups, criando-se, em muitos casos, parques de incubação e aceleradoras.

As grandes empresas são importantes para a inovação por terem credibilidade e contarem com garantias que possibilitam a obtenção de empréstimos de maior vulto para ações de longo prazo. Apesar disso, mesmo elas precisam de apoio para a inovação, a exemplo do que ocorre nos EUA e em países europeus, onde há uma série de incentivos para projetos de inovação, incluindo recursos não reembolsáveis, afrouxamento de garantias, maiores tempos de carência e de pagamento, e taxas de juros especiais.

Em um passado recente, boa parte desse receituário estava sendo empregado pelos agentes públicos de desenvolvimento. Como exemplos, podemos citar o Plano de Apoio Conjunto à Inovação Tecnológica Agrícola no Setor Sucroenergético (PAISS Agrícola) e o Plano de Apoio ao Desenvolvimento da Indústria Química (PADIQ). Lançados em 2014 e 2016, respectivamente, os programas foram coordenados pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Eles financiaram empresas de médio e grande porte para que estas efetivamente inovassem no setor, especialmente para o desenvolvimento de etanol de segunda geração e químicos vindos de material renovável, como enzimas e solventes. Esses programas apresentaram sucessos importantes e devem ser aperfeiçoados e continuados.

Os esforços de financiamento à inovação, de fato, são indispensáveis para a promoção do crescimento econômico e para a sustentação de trajetórias de desenvolvimento produtivo sustentáveis. Essa percepção é particularmente verdadeira no caso de países em desenvolvimento, que precisam superar restrições macroeconômicas, institucionais, regulatórias e de infraestrutura para aprimorar seu ambiente empresarial, científico e tecnológico, conquistando condições que os credenciem a atuar no âmbito de uma economia aberta e globalizada.

Como sugere a experiência internacional, dificilmente o Brasil conseguirá ocupar um espaço tecnológico relevante e condizente com sua posição na economia mundial se não elevar significativamente os seus níveis de investimento público e privado em P&D como proporção do PIB. Esses níveis situaram-se em uma faixa que se estende de 1,16% a 1,27% entre os anos de 2010 e 2016, mantendo o país em posição muito desfavorável em relação a nações que são referência mundial em inovação.

É central que o país desenvolva mecanismos de financiamento de longo prazo, com qualidade, volume e perenidade. Especial atenção deve ser dada aos recursos destinados à pesquisa oriundos da exploração do petróleo e da geração da energia elétrica. São recursos volumosos, que constituem fundos cuja utilização é disciplinada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), respectivamente. Diversos outros fundos setoriais existem também pelo país, mas, o uso de tais recursos, embora regulamentados de forma rígida, não está alinhado a uma estratégia clara de desenvolvimento nacional.

Esse cenário reforça a necessidade de discutir e reestruturar o sistema de financiamento à inovação no Brasil, com especial atenção para os seguintes aspectos prioritários:

- Qualidade do investimento em P&D - de um lado, os agentes financeiros privados participam de forma muito limitada das operações de financiamento de médio e longo prazos; de outro, a alocação dos recursos de suporte a investimentos é extremamente pulverizada no país. Como resultado, observa-se um reduzido número de projetos robustos, de longa duração e alto impacto, o que enfraquece o ecossistema de inovação e compromete a qualidade e os resultados dos investimentos realizados.;
- Critérios de seleção, acompanhamento e avaliação dos projetos de P&D financiados - a cultura que orienta a concessão de financiamentos às atividades de P&D no Brasil ainda é pautada por critérios majoritariamente acadêmicos, nem sempre adequados para selecionar, acompanhar, avaliar e apoiar os projetos a serem executados por empresas ou as pesquisas voltadas ao atendimento das necessidades do setor produtivo.;
- Definição de prioridades para investimentos em P&D - a multiplicidade de instituições e fundos responsáveis pelo apoio à inovação e a ausência de diretrizes claras para a aplicação dos valores disponíveis alimentam a dispersão de recursos e a fragmentação dos focos de investimento.

Apesar da grande produção de conhecimento do país, da abundância de matérias-primas a serem convertidas em produtos com valor agregado e da existência de recursos privados que poderiam ser empregados para esse fim, ainda existem lacunas nos investimentos públicos e privados voltados à inovação. Isso indica que o conhecimento gerado não está sendo adequadamente comunicado e conectado ao setor produtivo. Devemos fomentar essa mudança de cultura, promovendo e viabilizando as parcerias entre os setores acadêmico, empresarial e financeiro.

Atualmente, há um forte movimento em direção às *Fintechs*, que são, majoritariamente, startups que trabalham para inovar e otimizar serviços do sistema financeiro, e que podem ter seu apetite de investimento direcionado ao financiamento da inovação em

Bioeconomia. De forma semelhante, há um grande número de fundos patrimoniais com apetite ao risco, mas que normalmente acabam por investir em carteiras de ações ou em setores consolidados da economia. Para que isso se modifique, é importante criar ferramentas que permitam aos detentores de capital prospectar oportunidades em negócios inovadores, identificar pesquisadores e ter a segurança jurídica para realizar tais investimentos.

Além disso, cabe ao Estado criar incentivos tributários para atrair investimentos nos citados fundos patrimoniais e possibilitar o alavanque da inovação. É importante estabelecer uma Política Nacional em Bioeconomia na qual a alocação de recursos leve em conta três princípios norteadores:

1. Desafios e problemas estratégicos nacionais - ações baseadas em grandes problemas que o país considera estratégicos e nos quais a indústria tem papel central em contribuir com soluções nos diversos setores da economia;
2. Tecnologias transversais - tecnologias-base para o desenvolvimento da indústria no curto, médio e longo prazos, como inteligência artificial, conectividade, novos materiais, robótica, biotecnologia e nanotecnologia; e
3. Demandas das empresas - priorizar rotas e estratégias internas de inovação do setor empresarial.

Assim, uma Política Nacional em Bioeconomia, com a atuação conjunta de entes públicos e privados, poderia definir as diretrizes que orientem a aplicação desses recursos para o empreendedorismo baseado em conhecimento, capaz de converter o potencial da nossa natureza, das nossas ICTs e dos nossos empreendedores em riqueza a ser usufruída por toda a sociedade.

PONTOS-CHAVE

1. Fomentar a articulação de *hubs* de inovação em Bioeconomia que integrem os ICTs e o setor produtivo com a geração de pesquisa pré-competitiva e pesquisa dirigida, que, ao mesmo tempo, favoreça o aumento de capacitação de empresas já estabelecidas e a formação de startups.
2. Desenvolver mecanismos especializados de financiamento para inovação, considerando os diferentes portes das empresas, customizando garantias, tempos de carência e pagamentos e taxas de juros.
3. Estimular a divisão de riscos dos investimentos entre o governo e a indústria ou em projetos pré-competitivos por meio de consórcios de empresas, pois estamos trabalhando em áreas de fronteira tecnológica.

4. Estimular o capital de risco corporativo, ou seja, o investimento de fundos corporativos diretamente em empresas iniciantes.
5. Atrair fundos estrangeiros para o Brasil.
6. Fomentar P&D nos diversos estágios do desenvolvimento de novos bens e serviços baseados em recursos da biodiversidade.

A Bioeconomia é uma excelente oportunidade de desenvolvimento econômico para o Brasil. O país apresenta inúmeras vantagens que o permitem liderar esse movimento. Nosso grande desafio é, por meio de uma agenda conjunta entre governo, setor privado e academia, transformar nosso potencial em vantagens competitivas capazes de viabilizar a geração de emprego e renda e, paralelamente, conservar o meio ambiente.



REFERÊNCIAS

ABBI. **Bioeconomia**. 2019. Disponível em: <http://www.abbi.org.br/pt/bioeconomia/>. Acesso em: 14 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS - ABIOGÁS. **Abiogás**. 2019. Disponível em: http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk3-dia2-pn18-01-alessandro_gardemann-converted.pdf. Acesso em: 11 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS - ABIOGÁS. **Assoc. Bras. Do Biogás**. [2019]. Disponível em: <https://abiogas.org.br/>. Acesso em: 31 maio 2019.

ABIOVE. **EMBRAPA reúne especialistas para debater a competitividade da cadeia produtiva da soja**. 17 set. 2019. Disponível em: <http://abiove.org.br/palestras/>. Acesso em: 11 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **Dados Estatísticos**, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>. Acesso em: 31 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **ANP publica resolução sobre especificação do biodiesel**. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/noticias/5292-anp-publica-resolucao-sobre-especificacao-do-biodiesel>. Acesso em: 12 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **RenovaCalc**, [Brasília]: [s.d.]. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/Consultas_publicas/2018/n10/CP10-2018_Calculadora.xlsm. Acesso em: 11 jun, 2019.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0: o Brasil preparado para os desafios do futuro**. Brasília: ABDI, [s.d.]. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

AGUILAR, A.; WOHLGEMUTH, R.; TWARDOWSKI, T. Perspectives on bioeconomy. **N. Biotechnol.** v. 40, 2018. p. 181–184.

APPUNN, Kerstine; HAAS, Yannick; WETTENGEL, Julian. Germany's energy consumption and power mix in charts. **Journal Energy Transit.** 2019. Disponível em: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-energy-consumption-and-power-mix-charts>. Acesso em: 19 mar. 2020.

ASBRAER. **Alteração no selo combustível social beneficia mais agricultores familiares.** [2017]. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/alteração-no-selo-combustível-social-beneficia-mais-agricultores-familiares>. Acesso em: 12 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INTERNET INDUSTRIAL. **A nova era da internet industrial.** Brasil: ABII, 2019. Disponível em: <https://www.abii.com.br/faq>. Acesso em: 19 ago. 2019.

AUTO MAIS ENTRETENIMENTO. **Nissan apresenta protótipo SOFC.** 10 maio 2017. Disponível em: <https://www.automaistv.com.br/nissan-apresenta-prototipo-sofc/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BAGNATO, Giuseppe; IULIANELLI, Adolfo; SANNA, Aimaro; BASILE, Angelo. Glycerol production and transformation: a critical review with particular emphasis on glycerol reforming reaction for producing hydrogen in conventional and membrane reactors. **Membranes**, Suíça, vol. 7, n. 2, 17 mar. 2017. DOI:10.3390/membranes7020017. Acesso em: 20 mar. 2020.

BALVANERA, P. *et al.* Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. **Ecol. Lett.** n. 9 (2006) p. 1146–1156. DOI:10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16972878>. Acesso em: 19 mar. 2020.

BASTIN, J. *et al.* The global tree restoration potential. **Science**, v. 365, n. 6448, jul. 2019. p. 76-79.

BIOÖKONOMIERAT. **Bioeconomy policy (part I):** synopsis and analysis of strategies in the G7. Berlin: Bioeconomy Council, 2015a.

BIOÖKONOMIERAT. **Bioeconomy policy (part II):** synopsis of national strategies around the world. Berlin: Bioeconomy Council, 2015b.

BIOMASS RESEARCH AND DEVELOPMENT. **Federal activities report on the bioeconomy.** Washington, DC, 2016. https://www.biomassboard.gov/pdfs/farb_2_18_16.pdf. Acesso em: 17 mar. 2020.

BRASIL. **Lei N° 13.576, de 26 de Dezembro de 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em: 11 jun. 2019.

BRASIL precisa dobrar número de doutores para atingir o nível mais baixo dos países desenvolvidos, **Carta Campinas**, Campinas, 24 maio 2019. Disponível em: <https://carta-campinas.com.br/2019/05/brasil-precisa-dobrar-numero-de-doutores-para-atingir-o-nivel-mais-baixo-dos-paises-desenvolvidos/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BRASIL. Programa rota 2030: lei nº 13.755. **Diário Oficial da União**, 11 dez. 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13755.htm. Acesso em: 20 mar. 2020.

BRASKEM. **Investir no desenvolvimento de novos produtos renováveis a fim de apoiar a economia circular no início da cadeia de valor**, [S.l.]: Braskem, [s.d.]. Disponível em: <https://www.braskem.com/questoes-fundamentais-2>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BROOKER, R. W. *et al.* Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytol.**, v. 206, 2015. p. 107–117. doi:10.1111/nph.13132.

CAMBIA. **Agrobacterium Mediated Transfer of Plants**. 2007. Disponível em: www.patentlens.net/daist/AgroTran/3139/version/default/part/AttachmentData/data/patentlens_techlandscape_agrobacterium.pdf. Acesso em: 25 ago. 2019.

CAPACITY of leading global bio-succinic acid producers as of 2016 (in 1,000 tons per year). **Statistica**, Estados Unidos: mar. 2016. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/538465/leading-bio-succinic-acid-producers-worldwide-by-capacity/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

CENT. ESTUD. AVANÇADOS EM ECON. APL. - CEPEA. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. [2019]. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 13 jul. 2019.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. [S.l.: s.n.], 2009.

CENTER FOR STRATEGIC STUDIES AND MANAGEMENT - CGEE. **Second generation sugarcane bioenergy & biochemicals: advanced low-carbon fuels for transport and industry**. Brasília: CGEE, 2016. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/2395_E2G+CGEE+2016+vf.pdf/83c16e65-d55f-46ee-820b-e556771bcbb6?version=1.0. Acesso em: 20 mar. 2020.

CÉSAR, A. da Silva *et al.* Competitiveness analysis of “social soybeans” in biodiesel production in Brazil. **Renewable Energy**, v. 133, abr. 2019. p. 1147–1157. doi:10.1016/j.renene.2018.08.108.

CETESB - CIA. AMBIENT. DO ESTADO SÃO PAULO. **Biogás**. 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>. Acesso em: 25 ago. 2019.

CHEN, Guanqun; WESELAKE, Randall J.; SINGER, Stacy D. (Eds.). **Plant Bioproducts**. Springer, Estados Unidos, 2018. DOI:10.1007/978-1-4939-8616-3. Acesso em: 20 mar. 2020.

CISION. **Global and China 1,4-Butanediol (BDO) Industry Report, 2017-2021.**, Estados Unidos, 2017. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-and-china-14-butanediol-bdo-industry-report-2017-2021-300500709.html>. Acesso em: 20 mar. 2020.

COELHO, J. M. **A bioeletricidade e o planejamento energético.** VII SEMIN. BIOELETRICIDADE., 7. 2017. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-244/topico-255/EPE_FENASUCRO_2017_JOSE MAURO_2017_2308.pdf. Acesso em: 25 ago. 2019.

COHEN, Jon. How the battle lines over CRISPR were drawn. **Science**, Estados Unidos, 15 february 2017. DOI:10.1126/science.aal0763. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2017/02/how-battle-lines-over-crispr-were-drawn>. Acesso em 19 mar. 2020.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 19 mar. 2020.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** cana-de-açúcar e milho. 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/25867_e7b65379cb36b-7b74f5cc8bc47b84974. Acesso em: 20 mar. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Agenda da mobilização empresarial pela inovação 2019-2020.** Brasília: CNI, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Biodiversidade:** As Oportunidades do Uso Econômico e Sustentável. Brasília: CNI, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Bioeconomia:** uma agenda para o Brasil. Brasília: CNI, 2013.

COSTANZA, R. *et al.* Changes in the global value of ecosystem services. **Glob. Environ. Chang.** v. 26, 2014. p. 152–158.

CPMA - CHEMICALS & PETROCHEMICALS MANUFACTURERS' ASSOCIATION. **Butadiene.** [s.d.]. Disponível em: http://cpmaindia.com/butadiene_about.php. Acesso em: 20 mar. 2020.

CRISTÁLIA. **ANVISA aprova o primeiro biossimilar 100% brasileiro do Hormônio do Crescimento Humano.** 2019. Disponível em: <https://www.cristalia.com.br/releases/417>. Acesso em: 20 mar. 2020.

CYRANOSKI, David. Russian biologist plans more CRISPR-edited babies, **Nature Research**, n. 570 (2019), p. 145–146. DOI: 10.1038/d41586-019-01770-x. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01770-x>. Acesso em: 19 mar. 2020.

DEATHWATCH for the Amazon: Brazil has the power to save earth's greatest forest or destroy it. **The Economist**, 01 ago. 2019. Disponível em: <https://www.economist.com/leaders/2019/08/01/deathwatch-for-the-amazon>. Acesso em: 20 mar. 2020.

DIETZ, T.; BÖRNER, J.; FÖRSTER, J. J.; VON BRAUN, J. Governance of the bioeconomy: a global comparative study of national bioeconomy strategies. **Sustainability**, v. 10, n. 9, 2018.

DUARTE, N. J. L. **Um novo setor elétrico para a bioeletricidade, COGEN**. 2019. Disponível em: <http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk3-dia1-pn8-03-newton-duarte-ethanol-summit-2019-cogen.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

ECO.NOMIA. **O que é a economia circular?**. Portugal: Eco.Nomia, [s.d.]. Disponível em: <https://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias>. Acesso em: 19 mar. 2020.

EL-CHICHAKLI, B. Five cornerstones of a global bioeconomy. **Springer Nat**, v. 535, 2016. p. 221–223.

ELETROCELL. **O que é a célula combustível**. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: http://www.electrocell.com.br/oqueeacc_pt.htm. Acesso em: 26 ago. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial. Reino Unido: Ellen Macarthur Foundation, jan. 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E INOVAÇÃO INDUSTRIAL - EMBRAPPII. EMBRAPPII. [2019]. Disponível em: <https://embrappii.org.br/>. Acesso em: 9 jul. 2019).

EMBRAPA. Biorrefinarias. **Embrapa Agroenergia**, Brasília: [s.d.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/48750/1/biorrefinaria-modificado-web.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.

ENRIQUEZ, Juan. Genomics and the world's economy, **Science**, v. 281, n. 5379, ago. 1998, p. 925-926. doi:10.1126/science.281.5379.925.

EPE. **Análise da conjuntura dos biocombustíveis**. 2018. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 31 maio 2019.

EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2026**: oferta de biocombustíveis, [S.l.]: EPE, 2017.

EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2027**. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2027>. Acesso em: 11 set. 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **EU Bioeconomy Breakdown**. 2018. Disponível em: <https://lamprinakis.wordpress.com/2018/09/19/eu-bioeconomy-breakdown/>. Acesso em: 24 maio, 2019.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **Annual Report 2018**. 2019. Disponível em: <https://www.epo.org/about-us/annual-reports-statistics/annual-report/2018.html>. Acesso em: 2 jul. 2019.

EXPANSIONS and mergers & acquisitions are the key development strategies adopted by leading players in the global fatty alcohols market,. **Markets and Markets**, Estados Unidos: [s.d.]. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/fatty-alcohol-market.asp>. Acesso em: 20 mar. 2020.

FAO. **The state of fisheries and aquaculture in the world 2018: meeting the sustainable development goals**, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA0191EN/CA0191EN.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020.

FERREIRA, S. N.; SAMPAIO, M. J. A. M. **Biodiversidade e conhecimentos tradicionais associados: implementação da legislação de acesso e repartição de benefícios no Brasil**. Brasília: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, 2013.

FUNDO AMAZ. **Total de doações recebidas pelo fundo Amazônia (valores históricos)**. 2018. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/pt/fundo-amazonia/doacoes/>. Acesso em: 12 set. 2019.

GEA. **A natureza oferece uma alternativa ecológica às matérias não renováveis**. 13 dez. 2016. Disponível em: <https://www.gea.com/pt/technology-talks/nanocellulose.jsp>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GIBBS, H. K. Brazil's soy moratorium. **Science** v. 347, 2015. p. 377–378. doi:10.1126/science.aaa0181.

GIZ. **Sumário para tomadores de decisão: biodiversidade e serviços ecossistêmicos: desafios e oportunidades para o Brasil**. Brasília: GIZ, 2019.

GOLDSTEIN RESEARCH. **Brazil cosmetics market report: key players, future prospects, industry outlook, segmentation (by products, pricing, gender, distribution channel), forecast period 2017-2025**. Estados Unidos: Goldstein Research, 2019. Disponível em: <https://www.goldsteinresearch.com/report/brazil-cosmetics-market-report-industry-analysis>. Acesso em: 20 mar. 2020.

GRANBIO. **GranBio begins producing second-generation ethanol**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.granbio.com.br/en/wp-content/uploads/sites/2/2014/09/partida_english.pdf. Acesso em: 5 jul. 2019.

GRANBIO. **Etanol celulósico: avanços e perspectivas**. ETHANOL SUMMIT 2019. 2019. Disponível em: <http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk1-dia1-pn6-01-bernardo-gradin-converted.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

GRUPO USJ. **Planta flex cana / milho**. 2019. ETHANOL SUMMIT 2019. Disponível em: <http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk1-dia2-pn11-01-maria-carolina-converted.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

GUIMARÃES, João Luis Bitencourt. *et al.* **Soluções baseadas na natureza para aumento da resiliência hídrica: quantificação e valoração dos benefícios da infraestrutura natural no município de São Bento do Sul (SC)**. Curitiba: Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, 2018. ISBN: 978-85-88912-28-1.

HEIN, L. *et al.* Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. **Ecol. Econ.** v. 57, 2006. p. 209–228.

HERDER, M.; GOLD, E. R. **Intellectual property issues in biotechnology: health and industry**. [S.l.: s.n.], 2008.

HUBBELL, S. P. *et al.* How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 105, 2008. p. 11498–11504.

IEA. **Bioenergy countries' report: update 2018**. 2018. Disponível em: <http://www.iea.org/statistics/resources/balanceddefinitions/>. Acesso em: 31 maio, 2019.

IHS MARKIT. Isoprene. **Chemical economics handbook**, jun. 2017. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/products/isoprene-chemical-economics-handbook.html> Acesso em: 20 mar. 2020.

IHS MARKIT. Para-xylene. **Chemical economics handbook**, ago. 2018. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/products/paraxylene-chemical-economics-handbook.html>. Acesso em: 20 mar. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. **As árvores plantadas e seus múltiplos usos**. 2017. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Multiplos_Usos_da_Madeira.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Produção da Extração vegetal e da silvicultura - PEVS**. 2017. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 17 ago. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **PEVS 2017**: produção da silvicultura e da extração vegetal chega a R\$ 19,1 bilhões e cresce 3,4% em relação a 2016. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22620-pevs-2017-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-chega-a-r-19-1-bilhoes-e-cresce-3-4-em-relacao-a-2016>. Acesso em: 19 mar. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: **Climate Change 2013: the physical science basis: working group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. DOI:10.1017/CBO9781107415324. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2013-the-physical-science-basis/summary-for-policymakers/356E277FD1FBC887845FB9E8CBC90CCD#>. Acesso em: 19 mar. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems: summary for policymakers**. Suíça: IPCC, 2019. DOI:10.4337/9781784710644. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srccl/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

IPEF. Modelos de florestas nativas ou mistas: Indicadores de avaliação de funções ecológicas em florestas plantadas. **Florestas Nativ. Com Final. Econômica**, São Paulo, v. 1, n. 1, 2012.

ISBELL, F. *et al.* The biodiversity-dependent ecosystem service debt. **Ecol. Lett.**, 2014. doi:10.1111/ele.12393.

JONG, Ed de *et al.* **Bio-based chemicals value added products from biorefineries report**. IEA Bioenergy: Wageningen, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ieabioenergy.com/publications/bio-based-chemicals-value-added-products-from-biorefineries/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

KPMG. **Quais são as principais transformações do ecossistema de mobilidade no Brasil?** 2019. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2019/06/gaes-2019-brazilian-chapter.html>. Acesso em: 20 mar. 2020.

LAP, T. *et al.* Pathways for a Brazilian biobased economy: towards optimal utilization of biomass. **Biofuels, bioproducts biorefining**, n. 13, 2019 p. 673–689. doi:10.1002/bbb.1978. Acesso em: 20 mar. 2020.

LANZATECH. **World's first commercial waste gas to ethanol plant starts up**. 08 jun. 2018. Disponível em: <https://www.lanzatech.com/2018/06/08/worlds-first-commercial-waste-gas-ethanol-plant-starts/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

LEDFORD, Heidi. Pivotal CRISPR patent battle won by Broad Institute. **Nature Research**, Alemanha, 10 september 2018. DOI:10.1038/d41586-018-06656-y. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06656-y>. Acesso em: 19 mar. 2020.

MAPBIOMAS. **Dados de cobertura. 2019. Disponível em:** <http://mapbiomas.org/map#-coverage>. Acesso em: 16 ago. 2019).

MILANEZ, A. Y.; F. FILHO, P. de S. C.; DA ROSA, S. E. S. Perspectivas para o Etanol Brasileiro. **BNDES Setorial**, 2008. p. 21–38.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. SEE. **Finanças verdes no Brasil**. Brasília, Ministério da Economia, 2019.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Fundo verde do clima**. Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/assuntos/atuacao-internacional/fundo-verde-do-clima>. Acesso em: 20 mar. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Cenários da oferta de etanol e demanda de ciclo Otto 2018-2030**. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-392/EPE-DPG-SGB-Bios-NT-01-2017-r0_Cenarios_de_Oferta_de_Etanol.pdf. Acesso em: 11 set. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Proposta de metas compulsórias anuais de redução de emissões na comercialização de combustíveis**. 2018. Disponível em: https://www.novacana.com/pdf/07052018080500_Proposta_de_Metas_de_Reducacao_de_Emissoes_GEE_-_RenovaBio.pdf. Acesso em: 11 jun. 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO - MDA. **Programa nacional de produção e uso do biodiesel: inclusão social e desenvolvimento territorial**. 2011. Disponível em: http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf. Acesso em: 11 jun. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Legislação**. [2015]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/patrimonio-genetico/legislação.html>. Acesso em: 14 jun. 2018.

NATIONAL HUMAN GENOME RESEARCH INSTITUTE. **DNA Sequencing Costs**. Estados Unidos: National Human Genome Resarch Institute . Disponível em: <https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/DNA-Sequencing-Costs-Data>. Acesso em: 19 mar. 2020.

NATHWANI, Sneha. Furfural market by raw material (corn cob, rice husk, sugarcane bagasse, and others), application (furfuryl alcohol and solvent), and end user industry (petroleum refineries, agricultural formulations, paints & coatings, pharmaceuticals, and others), **Allied Market Research**, dez. 2016. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/furfural-market>. Acesso em: 20 mar. 2020.

NEWMAN, K. When money grows on trees. In: **Secret Financ. Life Food**, [S.l.]: Columbia University Press, 2014. p. 123–138. doi:10.7312/columbia/9780231156714.003.0009.

NEWTON, A. *et al.* **Review of the EU bioeconomy strategy and its action plan**. Brussels: NILU, 2017.

NOBRE, A. D. **The future climate of Amazonia scientific assessment report**. [S.l.: s.n.], 2014.

NOVACANA. **Produção de etanol de milho deve atingir 1,4 bi de litros em 2019, diz Unem**. 2019. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/etanol/alternativas/producao-etanol-milho-atingir-1-4-bi-litros-2019-unem-140319>. Acesso em: 11 set. 2019.

PLATAFORMA AGENDA 2030. **O que é a Agenda 2030?** [2017?]. <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 4 jun. 2019.

PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTEMICOS. **Sumário para tomadores de decisão: 1º diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos**. Campinas: Edição do autor, 2018.

PROPYLENE Glycol Production Will Be Dominated by the US Companies. **Merchant Research & Consulting Ltd**, 10 set. 2015. Disponível em: <https://mcgroup.co.uk/news/20150910/propylene-glycol-production-dominated-companies.html>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **O que é automação industrial**. São Paulo: Citisystems Automação Industrial, [s.d.]. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>. Acesso em 19 mar. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Sobre a economia verde**. [S.l.]: ONU, [s.d.]. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/pt-br/node/19231>. Acesso em: 19 mar. 2020.

PROFISSÃO BIOTEC. **Primeiro biossimilar 100% brasileiro é aprovado pela ANVISA**. 30 jun. 2019. Disponível em: <http://profissaobiotec.com.br/primeiro-biossimilar-nacional/>. Disponível em: 20 mar. 2020.

RODRIGUES, Roberto. Bioeconomia: novidade conhecida. **Globo Rural**, n. 2, [S.l.]: Globo Rural, jun. 2017.

SAATCHI, N. L. *et al.* Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proc. Natl. Acad. Sci.** v. 108, 2011. p. 9899–9904. doi:10.1073/pnas.1019576108.

SASSON, A.; MALPICA, C. Bioeconomy in Latin America. **N. Biotechnol.**, v. 40, 2018, p. 40-45.

SCARANO, F. R. *et al.* Potência ambiental da biodiversidade : um caminho inovador para o Brasil. Rio de Janeiro: PBMC/COPPE-UFRJ, 2018.

SILVA, M. F. de O. e; PEREIRA, F. dos S.; MARTINS, J. V. B. A bioeconomia Brasileira em Números 2018. **BNDES Setorial**, v. 47, mar. 2018. p. 277-332.

SCHEITERLE, L. *et al.* From commodity-based value chains to biomass-based value webs: the case of sugarcane in Brazil's bioeconomy. **J. Clean. Prod.**, v. 172, 2018. p. 3851–3863.

OECD. **Meeting policy challenges for a sustainable bioeconomy**. [S.l.]: OECD, 2018.

OECD - Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **The bioeconomy to 2030**. [S.l.]: OECD, 2009.

OECD. **World energy balances 2018**. 2018. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-balances-2018_world_energy_bal-2018-en. Acesso em: 19 mar. 2020. doi:10.1787/world_energy_bal-2018-en.

OLIVEIRA, Regiane Alves de; KOMESU, Andrea; ROSSELL, Carlos Eduardo Vaz; MACIEL FILHO, Rubens. Challenges and opportunities in lactic acid bioprocess design: from economic to production aspects. **Biochemical Engineering Journal**, vol. 133, maio 2018, p. 219–239. DOI:10.1016/j.bej.2018.03.003. Acesso em: 20 mar. 2020.

PLATIAU, A. F. B.; VARELLA, M. D. **Diversidade biológica e conhecimentos tradicionais**. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.

RAÍZEN. **E2G RAÍZEN**. ETHANOL SUMMIT 2019. 2019. Disponível em: <http://ethanolsummit.com.br/2019/programa/ppt/trk1-dia1-pn6-03-pedro-mizutani-converted.pdf>. Acesso em: 11 set. 2019.

ROLIM, S. G.; PIOTTO, D. *Silvicultura e tecnologia de espécies da Mata Atlântica*, Belo Horizonte: [s.n.], 2018.

ROSCOE, Beatriz; SOARES, Ingrid. Desemprego entre mestres e doutores no Brasil chega a 25%. **Correio Braziliense**, Brasília, 10 mar. 2019. Disponível em: <https://www.correio-braziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/03/10/interna-brasil,741968/desemprego-entre-mestres-e-doutores-no-brasil-chega-a-25.shtml>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SERVIÇO SOCIAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Institutos SENAI de Inovação**. 2019. Disponível em: <http://institutos.senai.br/>. Acesso em: 9 jul. 2019.

SILVA, L. B. É possível negociar a Biodiversidade? Conhecimentos Tradicionais, Propriedade Intelectual e Biopirataria, *In: Prop. Intelect. e Desenvol.* Florianópolis: Fundação Boiteaux, 2007. p. 299–328.

SILVA, Daniella Fartes dos Santos e; BOMTEMPO, José Vitor; ALVES, Flávia Chaves. Innovation opportunities in the brazilian sugar-energy sector. **Journal of Cleaner Production**, vol. 218, 01 maio 2019, p. 871–879. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.02.062. Acesso em: 20 mar. 2020.

TERRABRASILIS. **Análise Amaz.** 2019. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>. Acesso em: 4 jul. 2019.

UBRABIO. **Brasil ganha cronograma para evolução do biodiesel até 2023.** 2018. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/2018/10/29/brasil-ganha-cronograma-para-evolucao-do-biodiesel/>. Acesso em: 11 jun. 2019.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - ÚNICA. **UNICADATA.** [s.d.]. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/>. Acesso em: 31 maio 2019.

ÚNICA. **Setor sucroenergético no Brasil: uma visão para 2030.** 2016. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/7948692/UNICA-CEISE_Setor+Sucroenergético+no+Brasil_Uma+Visão+para+2030.pdf/80da9580=60-7c4-53f-afaf030-a01d3febfjjsessionid-AC802B166C93389BED1AB445EAB7CD10.srv155. Acesso em: 31 maio 2019.

UNITED NATIONS. **About the sustainable development goals.** [2019?]. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acesso em: 4 jun. 2019.

UNITED NATIONS. **Paris agreement:** sustain. dev. goals. [20--?]. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/frameworks/parisagreement>. Acesso em: 4 jun. 2019.

UNITED NATIONS. **GHG Profiles.** [s.d.]. Disponível em: https://di.unfccc.int/ghg_profile_non_annex1. Acesso em: 13 jul. 2019.

VALLI, Marília; RUSSO, Helena M.; BOLZANI, Vanderlan S. The potential contribution of the natural products from brazilian biodiversity to bioeconomy. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 90, n. 1, supl. 1, abr. 2018, p. 763–778. DOI:10.1590/0001-3765201820170653. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652018000200763. Acesso em: 20 mar. 2020.

VIVEK, Narisetty; PANDEY, Ashok; PARAMESWARAN, Binod. Production and applications of 1,3-Propanediol. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. **Elsevier**, jan. 2017, p. 719–738. DOI:10.1016/B978-0-444-63662-1.00031-2. Acesso em: 20 mar. 2020.

VOLPONI, Letícia. **Relatório da indústria brasileira de árvores.** Brasília: IBA, 2017. 80 p.

WBA. **Global bioenergy statistics 2018.** [2018]. Disponível em: www.worldbioenergy.org. Acesso em: 31 maio 2019.

WORLD'S first gene-edited babies created in China, claims scientist. **The Guardian**, Londres, 26 november 2018. Disponível em: <https://www.theguardian.com/science/2018/nov/26/worlds-first-gene-edited-babies-created-in-china-claims-scientist>. Acesso em: 19 mar. 2020.

WORLD TRADE ORGAN. **Intellectual property**: protection and enforcement,. [s.d.]. Disponível em: https://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/tif_e/agrm7_e.htm. Acesso em: 13 set. 2019.



Status: Analysis

H₂

GLOSSÁRIO

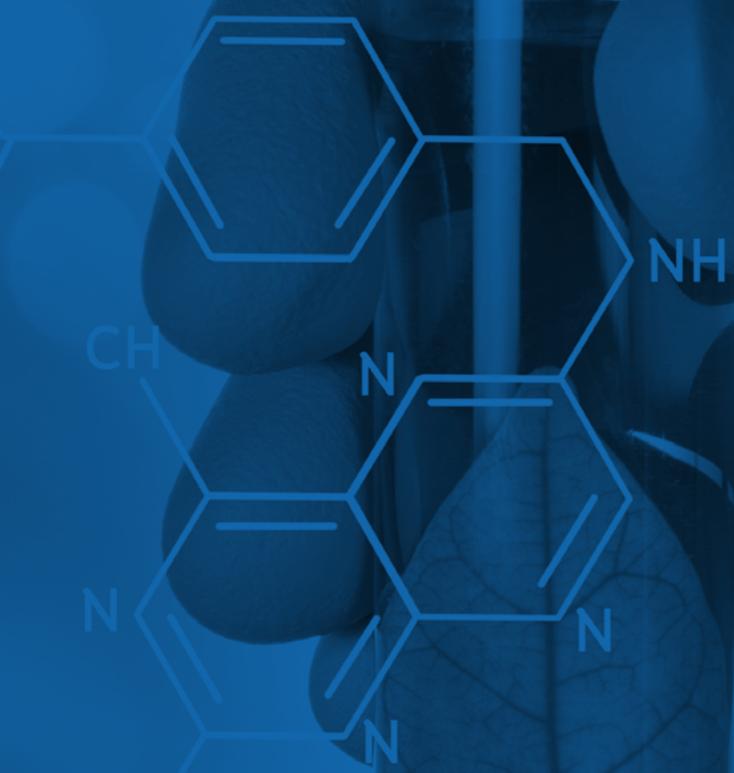
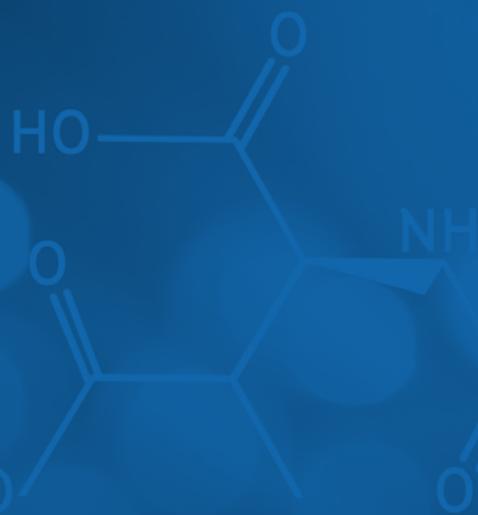
- **Atividade Catalítica ou Catálise:** Ação de um catalisador, aumentando a velocidade de uma reação (uma enzima, por exemplo).
- **Automação Industrial:** Uso de máquinas eletromecânicas, softwares e equipamentos específicos para automatizar processos industriais.
- **Bactérias Recombinantes:** Bactérias geneticamente modificadas, que contém em seu DNA genes oriundos de outros organismos. Podem ser usadas para codificar, por exemplo, proteínas humanas, produto da expressão dos genes humanos recombinantes inseridos.
- **Big Data:** Área do conhecimento que estuda como tratar, analisar e obter informações a partir de conjuntos de dados grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais.
- **Bioinformática:** Ciência multidisciplinar, responsável por armazenar e relacionar dados biológicos, geralmente em biologia molecular ou genética, com o auxílio de métodos computacionais e algoritmos matemáticos. Assim, os cientistas conseguem reconhecer padrões que provavelmente seriam impossíveis de serem analisados sem tal ajuda.
- **Biologia de Sistemas:** Também chamada de Biologia Sistêmica, busca entender as propriedades que emergem da interação entre as partes dos sistemas biológicos, ao invés de analisar funcionamento destas de forma isolada.
- **Biologia Sintética:** Consiste no uso de bioinformática e técnicas de engenharia genética e bioquímica, usadas de forma a redesenhar circuitos biológicos modulares. Isso é feito pelo redirecionamento ou a construção de novas rotas metabólicas, ou até mesmo organismos artificiais, visando maximizar o seu funcionamento.
- **Biopirataria:** Exploração, manipulação, exportação e/ou comercialização internacional de recursos biológicos em desacordo com as normas da *Convenção sobre Diversidade Biológica*, de 1992. De modo geral, biopirataria significa a apropriação de conhecimento e de recursos naturais, inclusive os genéticos, de comunidades de agricultores e comunidades indígenas por indivíduos ou por instituições que procuram o controle exclusivo do monopólio sobre estes recursos e conhecimentos.
- **Biorrefinaria:** Unidade industrial que integra equipamentos e processos de conversão de biomassa na produção de combustíveis, eletricidade, calor, e derivados refinados. O conceito de uma biorrefinaria é análogo às atuais refinarias de petróleo, que produzem combustíveis e derivados de petróleo.

- **Biotecnologia:** Conjunto de técnicas que envolvem a manipulação de organismos vivos para modificação de produtos, com aplicação em genética, microbiologia e biologia molecular.
- **Célula combustível (CC):** Baterias (pilhas) químicas, ou seja, dispositivos que convertem energia química diretamente em energia elétrica e térmica.
- **Chief Scientific Officer (CSO):** Tipicamente responsável pelo desenvolvimento de atividades de pesquisa em processos industriais, geralmente possuindo uma trajetória acadêmica sólida e um diploma de estudos avançados.
- **CO_{2eq}:** Equivalência em dióxido de carbono é uma medida que expressa a quantidade de gases de efeito estufa em termos equivalentes da quantidade de dióxido de carbono.
- **Conhecimento Tradicional Associado (CTA):** Qualquer informação ou prática individual ou coletiva de comunidade indígena ou de comunidade local, com valor real ou potencial, associada ao Patrimônio Genético.
- **CRISPR-Cas9:** Consiste em pequenas porções do DNA bacteriano compostas por repetições de nucleotídeos. Também é frequentemente usado como um termo geral para se referir à edição genômica.
- **Economia circular:** Conceito estratégico baseado em promover um modelo que minimize a geração de resíduos, com uso de fontes renováveis, utilização cíclica de produtos e materiais, novos modelos de negócio e redesenho de processos e produtos. Este novo modelo contrapõe a tradicional Economia Linear baseada no processo composto por extração dos insumos, produção, distribuição dos produtos, consumo e descarte de rejeitos e produtos pós-consumo.
- **Efeito estufa:** Fenômeno natural, pelo qual a Terra mantém em sua superfície parte da radiação infravermelha que recebe do sol, por meio da reflexão por gases da atmosfera. Porém, gases emitidos pela ação humana têm intensificado esse processo, aumentando a temperatura do planeta.
- **Energias renováveis e não-renováveis:** Energia renovável é aquela que vem de recursos naturais que são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica. Energia não-renovável é aquela proveniente de um recurso que existe em quantidade limitada, ainda que seja natural, por exemplo, o urânio, carvão e petróleo.
- **Engenharia Genética:** Manipulação e recombinação dos genes, através de um conjunto de conhecimentos científicos (genética, biologia molecular, bioquímica, entre outros), que reformulam, reconstituem, reproduzem e até criam seres vivos.
- **Enzimas:** Grupo de substâncias orgânicas de natureza normalmente proteica que agem como catalisadoras, ou seja, aumentam a velocidade de reações que, sem a sua presença, dificilmente aconteceriam.

- **Financeirização:** Aumento da complexidade financeira do dia a dia das pessoas, em que os assuntos financeiros passam a ser mais frequentes entre os assuntos cotidianos.
- **Fintechs (*finance and technology*):** Termo que surgiu da união das palavras *financeira* (financeiro) e *technology* (tecnologia). *Fintech* são majoritariamente Startups que trabalham para inovar e otimizar serviços do Sistema financeiro. Para ser definida *Fintech*, a empresa precisa ter base tecnológica e modelo de negócio altamente escalável. A definição para o termo é ser uma “empresa que use tecnologia intensiva para oferecer produtos na área financeira”.
- **Flex Fuel:** Tipo de sistema de armazenamento de combustível em veículos automotores, capaz de reconhecer e adaptar, automaticamente, as funções de gerenciamento do motor para qualquer proporção de mistura de álcool e de gasolina que esteja no tanque.
- **Gases do efeito estufa:** São os gases responsáveis pelo efeito estufa, como o gás carbônico e o metano.
- **Genes:** Unidade fundamental da hereditariedade. Cada gene é formado por uma sequência específica de ácidos nucleicos - as biomoléculas mais importantes do controle celular, pois contêm a informação genética.
- **Genoma:** Toda a informação hereditária de um organismo, codificada em uma sequência de DNA completa de um conjunto de cromossomos.
- **Inteligência Artificial (IA):** Resultado de modelos que imitam a inteligência humana, ao “aprender” com o sistema, analisando-o por diferentes “ângulos”. Exibida por mecanismos ou software, além de também ser um campo de estudo acadêmico.
- **Internet das Coisas (IoT):** Interconexão digital de objetos cotidianos com a internet, ou uma rede de objetos físicos capaz de reunir e de transmitir dados.
- **Machine Learning ou aprendizado de máquina:** Método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana.
- **Manufatura Aditiva (3D):** Termo genérico usado para descrever o processo de “manufatura”, através do qual operam diversas ferramentas. Ficou conhecido também como “impressora 3D”.
- **Megadiverso:** Designação para os países que abrigam a maioria das espécies da Terra e são, portanto, considerado extremamente biodiversos, cuja maioria localizada nos trópicos.
- **Mudanças Climáticas:** Variação do clima (temperatura e precipitação), geralmente medida em escala global e ao longo de, pelo menos, algumas décadas.

- **Mutações:** Erros ou modificações na sequência dos nucleotídeos, que geralmente ocorre durante a divisão celular.
- **Open Science:** Modelo de prática científica que, em consonância com o desenvolvimento da cultura digital, visa a disponibilização das informações em rede de forma oposta à pesquisa fechada dos laboratórios.
- **Open Source:** Código aberto, ou tudo aquilo cujo código fonte foi disponibilizado com uma licença de código aberto no qual o direito autoral fornece o direito de estudar, modificar e distribuir o software de graça para qualquer um e para qualquer finalidade.
- **Organismos Geneticamente Modificados (OGMs):** Organismos manipulados geneticamente de modo a selecionar características desejadas, como a cor, tamanho, etc. Os OGMs possuem alteração em trechos de seu genoma realizadas por meio de engenharia genética.
- **Patent Pools:** Acordo entre dois ou mais autores de patentes para licenciar uma ou mais de suas patentes um ao outro ou a uma terceira parte. Geralmente associadas a tecnologias complexas que requerem patentes complementares para promover soluções técnicas.
- **Pegada de carbono:** Medida que calcula a emissão de carbono equivalente emitida na atmosfera por uma pessoa, atividade, evento, empresa, organização ou governo.
- **Recursos fósseis:** Materiais formados pela decomposição de organismos mortos soterrados, ao longo de milhares de anos. Por conterem alta quantidade de carbono, são usados em processos de combustão, gerando energia.
- **Redes Neurais:** Sistemas de computação com nós interconectados que funcionam como os neurônios do cérebro humano. Usando algoritmos, elas podem reconhecer padrões escondidos e correlações em dados brutos, agrupá-los e classificá-los, além de aprender a cada ciclo iterativo, melhorando continuamente suas previsões.
- **Regulação Gênica:** Processo pelo qual se determinam quais genes presentes no DNA de uma célula são expressos (geralmente para produzir um produto funcional como uma proteína).
- **Rios Voadores:** Fluxos concentrados de vapores atmosféricos formados por massas de ar, principalmente na região da Floresta Amazônica, sendo carregados pelo continente Sul-Americano e responsáveis por parte do aporte de chuvas na região.
- **Seleção Artificial:** É um conjunto de cruzamentos conduzido pelo ser humano com o objetivo de selecionar características desejáveis em animais e plantas. Estas características podem ser, por exemplo, um aumento da produção de carne, leite, lã, seda ou frutas.

- **Seleção Natural:** Consiste em selecionar indivíduos (fenótipos ou genótipos) mais adaptados a determinada condição ecológica, eliminando aqueles inaptos a tolerar essa mesma condição.
- **Serviços Ambientais:** Aqui são consideradas as atividades humanas que contribuem para a manutenção, recuperação ou melhoria dos serviços ecossistêmicos providos pelo meio ambiente.
- **Serviços de Fornecimento:** São serviços ecossistêmicos relacionados com a capacidade dos ecossistemas em prover bens aos seres humanos, sendo eles, alimentos (frutos, raízes, mel), matéria-prima para produção de energia (carvão, lenha), recursos bioquímicos e genéticos, água pura e outros derivados da biodiversidade.
- **Serviços de Regulação:** São serviços ecossistêmicos que geram benefícios obtidos da regulação de processos ecossistêmicos, como controle do clima, purificação do ar, purificação e regulação dos ciclos das águas, controle de erosão e enchentes, controle de pragas e doenças.
- **Serviços Ecossistêmicos:** São os benefícios que a natureza fornece ao homem, pelo conjunto de sua biodiversidade, e que são indispensáveis à sua sobrevivência, estando associados à qualidade de vida e bem-estar da sociedade.
- **Setor de serviços:** Em economia, o setor terciário corresponde às atividades de comércio de bens e à prestação de serviços.
- **Sistemas Ciber Físicos (CPS):** Sistemas compostos por elementos computacionais colaborativos com o intuito de controlar entidades físicas. Enfatizam o papel das ligações entre os elementos computacionais e elementos físicos.
- **Startups:** São empresas jovens com um modelo de negócios repetível e escalável, em um cenário de incertezas e soluções a serem desenvolvidas. Embora não se limite apenas a negócios digitais, uma startup necessita de inovação para não ser considerada uma empresa de modelo tradicional.
- **Tesouras Moleculares:** Endonucleases ou enzimas de restrição que agem no interior das moléculas de DNA, cortando-as em locais bem definidos.
- **Transgenia:** Processo de alteração do material genético de uma espécie pela introdução de uma ou mais sequências de genes provenientes de outra espécie, pelo uso de técnicas de engenharia genética
- **Vetores:** Moléculas transportadoras de genes que serão inseridos em um genoma, para substituir um gene específico (por exemplo, um gene causador de doença). Um vetor comum atualmente é um vírus que foi geneticamente alterado para transportar DNA humano normal. Células-alvo são, então, infectadas com o vetor, que descarrega seu material genético na célula-alvo.



APÊNDICE: OS FUNDAMENTOS PARA ENTENDER E OPERAR A BIOECONOMIA

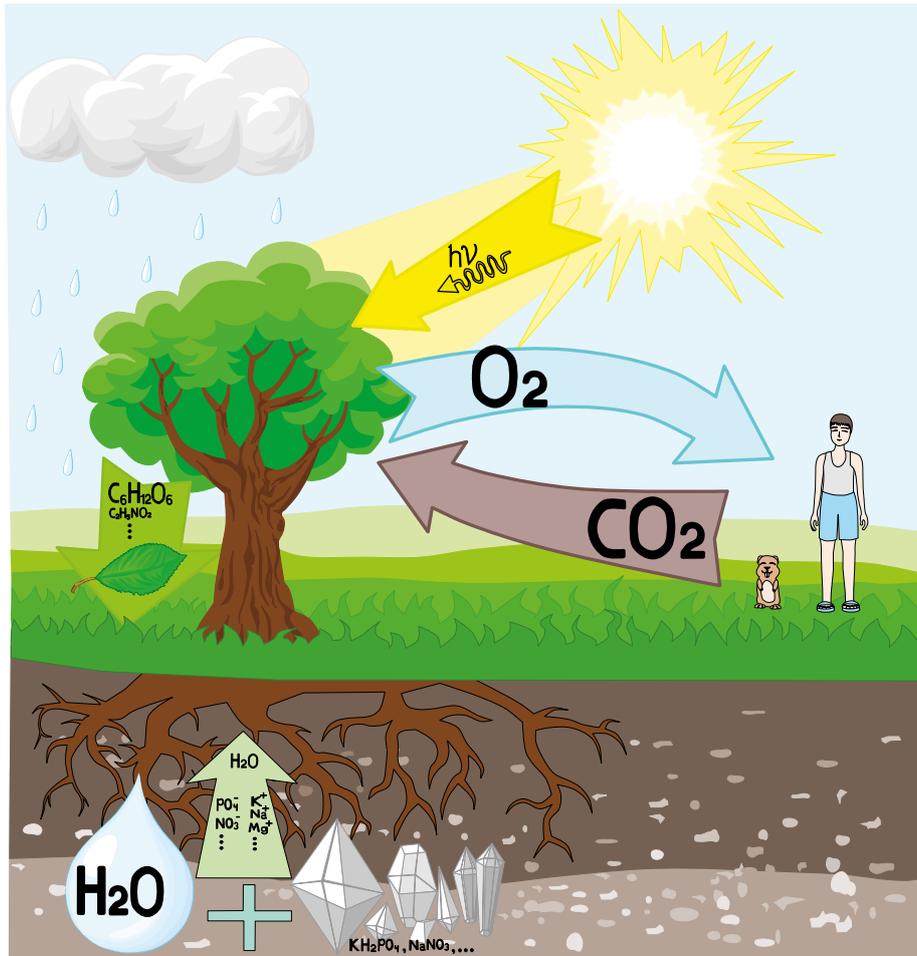
O homem é um ser social, com pouca proteção natural, que para sobreviver sempre se organizou ao redor de espaços protegidos convencionados como casa. Assim, a palavra Economia origina-se no grego antigo e significa “administração de uma casa, lar”. Já a vida é uma forma de gestão de recursos e de energia. Deste modo, a Bioeconomia pode ser compreendida a partir da acepção da palavra: gestão do espaço – neste caso o planeta – utilizando o arsenal de ferramentas e produtos desenvolvidos a partir do domínio dos sistemas biológicos.

Tudo é energia, seja sob a forma de eletricidade ou matéria de qualquer natureza, um princípio que foi sintetizado por Einstein, a partir da expressão $E=mc^2$. A vida nada mais é que uma forma particular de gestão do fluxo de energia do sol, com infinitas possibilidades de interações e combinações, que resultam em toda a complexidade que percebemos em nosso planeta. Sua operação se dá a partir do metabolismo, um conjunto complexo e intrincado de reações bioquímicas catalisadas de forma ordenada por enzimas, as quais operam a baixas temperaturas e interagem com os elementos físico-químicos do planeta.

Uma célula funciona como um reator no qual diversas reações são catalisadas para manter seu funcionamento. Nas plantas, uma das funções primordiais do metabolismo é a fotossíntese.

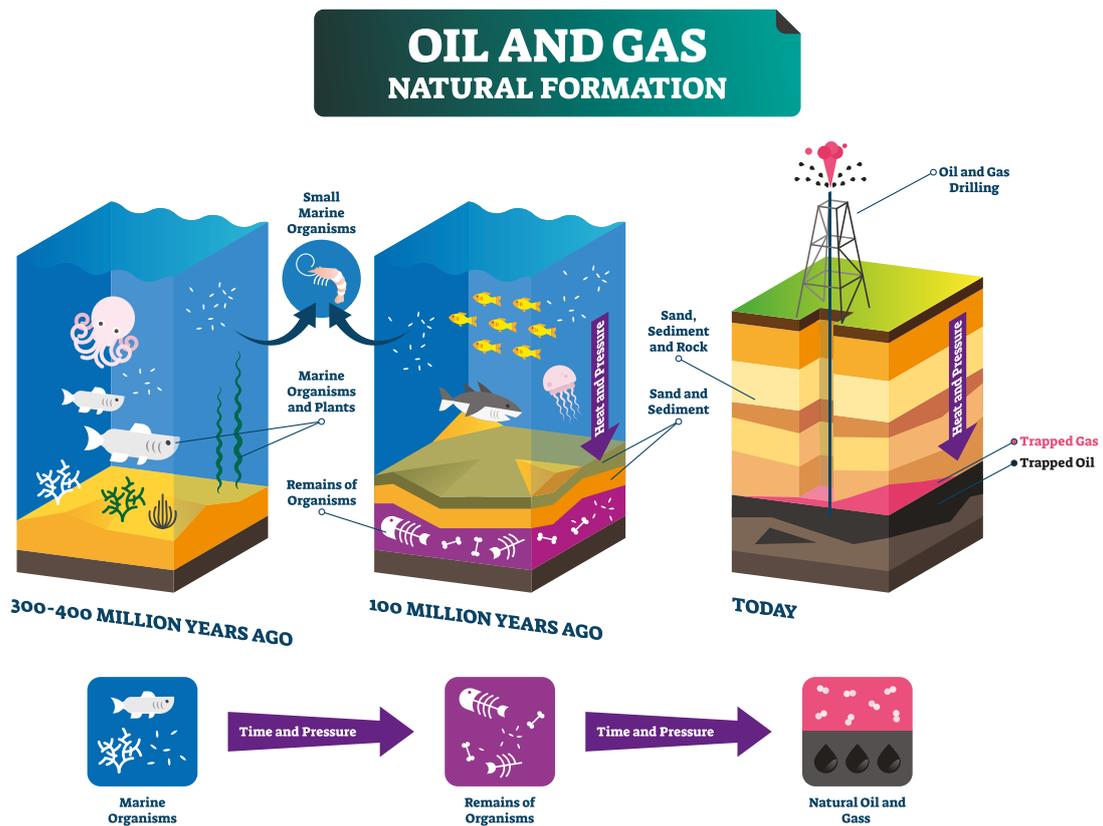
A fotossíntese é o processo primordial da Bioeconomia. Por meio dela, parte da energia solar pode ser convertida em energia química, que ocorre através da passagem de elétrons da água para o CO_2 . Dessa forma, o CO_2 é capturado sob a forma de uma substância sólida rica em energia, a glicose, e liberado oxigênio para a atmosfera. Essa glicose é então utilizada para a produção de energia e biomassa pelos mais diversos organismos, sejam eles fotossintetizantes ou não (Figura 1).

FIGURA 1 – A fotossíntese é um processo físico-químico, a nível celular, realizado pelos seres vivos clorofilados, que utilizam CO_2 e água, para obter glicose através da energia da luz solar ao mesmo tempo em que libera O_2 para a atmosfera. Esse processo é a base do ciclo biológico do carbono, no qual o CO_2 é removido da atmosfera pela fotossíntese, sendo devolvido à atmosfera por meio da respiração.



Um ponto interessante, é o balanço de gases em uma floresta. Embora elas sejam fundamentais para diversos fenômenos ecológicos, como regime de chuvas ou manutenção da biodiversidade, florestas maduras não contribuem diretamente para a produção líquida de oxigênio, o qual é consumido pela sua respiração. Entretanto, elas capturaram, ao longo do tempo, grandes quantidades de CO_2 que foram convertidos na sua biomassa. No decorrer da história terrestre, diversos fenômenos geológicos, como soterramento e alagamento, acabaram por imobilizar boa parte dessa biomassa e transformá-la, ao longo de milhões de anos, sob condições extremas de temperatura e pressão, nas reservas fósseis de carvão e petróleo (Figura 2). O mesmo aconteceu com diversos outros organismos, imobilizados a partir das mais diversas ocorrências geológicas e climáticas.

FIGURA 2 – Petróleo é um composto formado pela transformação de matéria orgânica de origem animal e vegetal soterrados a milhões de anos em ambientes aquáticos. Após a morte, os organismos são soterrados pelos sedimentos. Com a contínua deposição de sedimentos no fundo, a pressão e a temperatura sobre esta matéria orgânica irão aumentar, e as ligações químicas serão quebradas.



Percebe-se, assim, que a atmosfera, na qual a nossa civilização evoluiu, não é um ambiente estático, mas sim uma consequência de fenômenos geológicos e do ciclo do carbono, ao longo dos últimos 3,5 bilhões de anos. Como resultado, a concentração de CO₂ na atmosfera foi reduzida dos mais de 90% iniciais aos cerca de 250 a 300 partes por milhão (ppm), ou 0,025 a 0,030%, detectados nos últimos 2 milhões de anos. Ao mesmo tempo, a fotossíntese levou ao aumento da concentração do oxigênio, que passou de praticamente zero até os cerca 20% atuais, o que permite a vida existir como hoje a conhecemos.

Na natureza, produtividade não é um conceito que faça sentido. Cada organismo vivo busca produzir apenas aquilo que precisa, evitando gerar excedentes que poderão ser utilizados por seus competidores. O homem, entretanto, subverteu essa ordem ao perceber que a energia pode ser produzida, acumulada e armazenada, o que teve início com o uso e o domínio do fogo pelo *Homo erectus*, há cerca de 400.000 anos.

Aproximadamente 12.000 anos atrás, o surgimento da agropecuária tornou possível o adensamento populacional e o surgimento de comunidades maiores e mais complexas. A reunião de humanos em grandes comunidades possibilitou a complementação de ideias e a formação da inteligência coletiva, cujos resultados foram sendo traduzidos em desenvolvimento científico, tecnológico e cultural, que permitiram o contínuo avanço da população. Mas o grande ponto de inflexão ocorre com a Revolução Industrial. O desenvolvimento da máquina a vapor aumentou a capacidade de trabalho da civilização, ao mesmo tempo em que aumentou, de forma definitiva, o consumo de energia. A partir daquele momento, os biocombustíveis, até então utilizados como principal fonte de energia, tiveram que ser substituídos pelas fontes fósseis de carbono, que eram muito mais abundantes e tinham maior densidade energética. Entretanto, o uso deles gerou um grande problema, que foi trazer de volta à atmosfera o CO₂ fixado ao longo de bilhões de anos.

Vemos, então, que a civilização humana se desenvolveu sob de forma em que o uso da energia levava ao aumento da população que por sua vez levava ao uso de mais energia. O uso das fontes fósseis levou ao aumento das emissões de CO₂ e ao uso não sustentável dos recursos naturais.

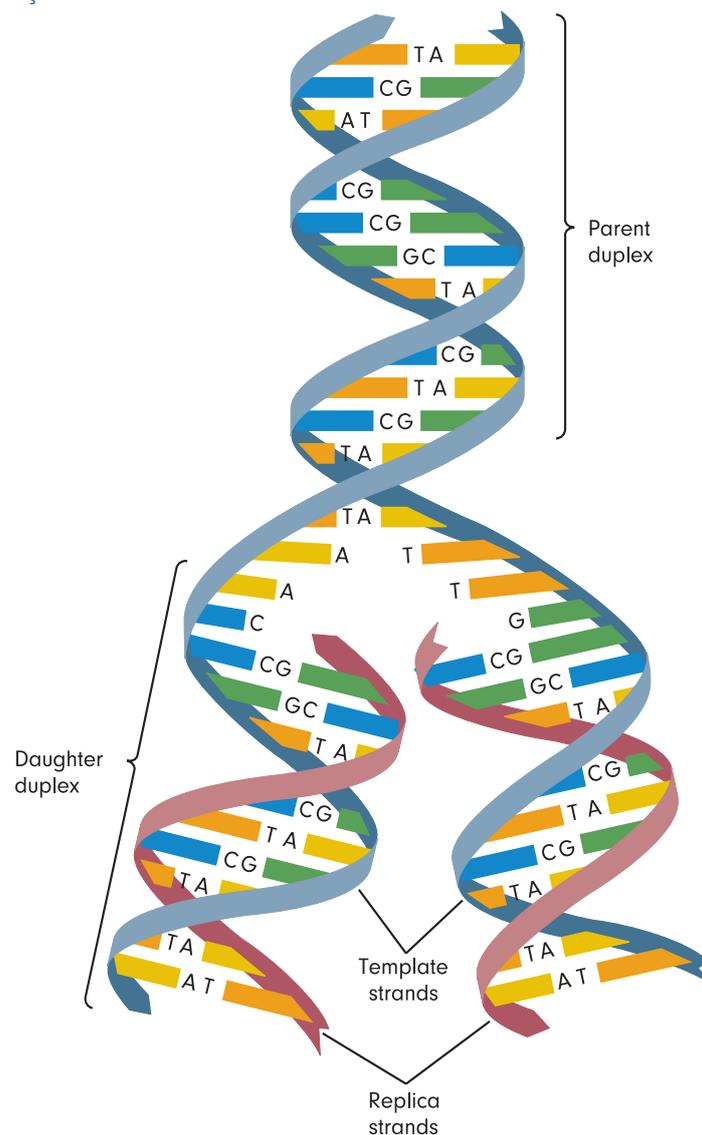
Entretanto, ao mesmo tempo em que gerou emissões CO₂, o uso das fontes fósseis permitiu um desenvolvimento científico e tecnológico que hoje torna a sociedade capaz de produzir e transformar a biomassa e outras fontes renováveis em energia e produtos capazes de suportar a população do planeta.

BIOLOGIA DE SISTEMAS: LENDO A VIDA

A vida é um algoritmo, e como tal, tem um fluxo de informações que começa no genoma e termina nos sistemas de interação entre os organismos e o meio ambiente. A lógica da vida é um processo extremamente poderoso, que foi curiosamente capturado pelo homem para ser a base da sua civilização. Nesta lógica, poucos elementos definidos são combinados para gerar quantidades infinitas de informação, assim como fazemos na nossa escrita a partir das letras do alfabeto. No DNA, a combinação das letras gera as unidades de informação – ou genes – que correspondem às palavras dentro de um texto. Assim, o núcleo de uma célula é como se fosse um livro, nos quais estão escritos diversos capítulos formados pelos genes. Esses genes são lidos pela maquinaria celular de forma organizada, no que chamamos de regulação gênica, e geram como produto as proteínas estruturais, responsáveis pelos arcabouços das células, tecidos e órgãos; e as enzimas, que são catalisadores, capazes de converter uma determinada substância em outra.

Para se multiplicar, as células inicialmente replicam seu DNA (pareando A=T e G=C), de modo a criar duas novas moléculas de DNA idênticas à molécula parental (Figura 3). Uma vez que o material genético foi duplicado, a célula pode então se dividir formando duas células idênticas. Esse processo ocorre em todos os organismos vivos, em diferentes níveis de complexidade

FIGURA 3 – Multiplicação do DNA.



Embora este seja um processo básico da vida, sabemos que os organismos vivos não são todos iguais. A origem das diferenças está nas mutações, que são resultados de erros na duplicação das fitas, um processo fundamental na geração da variabilidade. Portanto, esses erros são os responsáveis por gerar a diversidade dos organismos, que permite às

espécies se adaptarem, frente às variações ambientais que ocorrem dentro da dinâmica do planeta. Podemos criar uma analogia com empresas: são as mudanças de procedimento realizadas pelos inovadores que permitem que as organizações sobrevivam às alterações no cenário socioeconômico que ocorrem ao longo do tempo.

A leitura da vida, representada pelo sequenciamento de DNA, sofreu uma verdadeira revolução nos últimos anos. O primeiro genoma, com apenas 5.400 letras, foi desvendado em 1976 após vários anos de trabalho. Apesar da precariedade técnica, em 1985 foi proposto o sequenciamento do Genoma Humano, que contém 3 bilhões de letras, e era virtualmente impossível de ser sequenciado com a tecnologia da época. Ainda assim, 15 anos depois esse objetivo foi concretizado e unificou três mundos aparentemente tão distintos: *Academia – Setor Privado – Governo*.

O Projeto Genoma Humano foi tão importante por duas razões: ele representou um marco na biotecnologia, resultando no aumento de eficiência e barateamento das tecnologias de sequenciamento, tendência que ainda continua; e, talvez ainda mais importante, foi um divisor de águas para as políticas públicas mundiais, mostrando que a correta integração entre academia, governo e setor privado pode levar ao sucesso de projetos que parecem impossíveis.

É importante, ainda, mencionar que o desenvolvimento das técnicas de genômica foi paralelo ao desenvolvimento da capacidade computacional de processamento de informações, o que gerou a bioinformática. Essa área dá sentido à grande quantidade de dados produzido pelas técnicas da leitura de moléculas, permitindo que a *ômica* – que vem da palavra grega soma, que significa corpo ou conjunto – se expandisse para vários níveis da organização celular: transcriptômica, relacionado ao “corpo” de RNAs transcritos pela célula; proteômica, “corpo” de proteínas; secretômica, “corpo” de secretados, e assim sucessivamente. A integração dessas diversas *ômicas*, é hoje denominado de Biologia de Sistemas.

BIOLOGIA SINTÉTICA: ESCRREVENDO A VIDA

Na natureza, a autora de variabilidade genética é a seleção natural, um vetor que reforça a presença dos indivíduos mais adaptados a uma determinada condição ambiental, ao mesmo tempo em que inibe a multiplicação dos organismos menos aptos. A diversidade causada pelas mutações e a atuação da seleção natural possibilitou que a vida

exista nas mais diversas situações, se adaptando ao longo do tempo (bilhões de anos) na medida que o planeta sofre mudanças. A percepção da existência dessa força possibilitou que o homem criasse a seleção artificial, o que culminou no desenvolvimento da agropecuária. A seleção artificial gera organismos comerciais mais produtivos e adaptados às exigências da nossa civilização, como vacas capazes de produzir dezenas de litros de leite, variedades de milho gerando várias toneladas de grãos por hectare, e microrganismos expressando dezenas de gramas de enzima por litro de cultura.

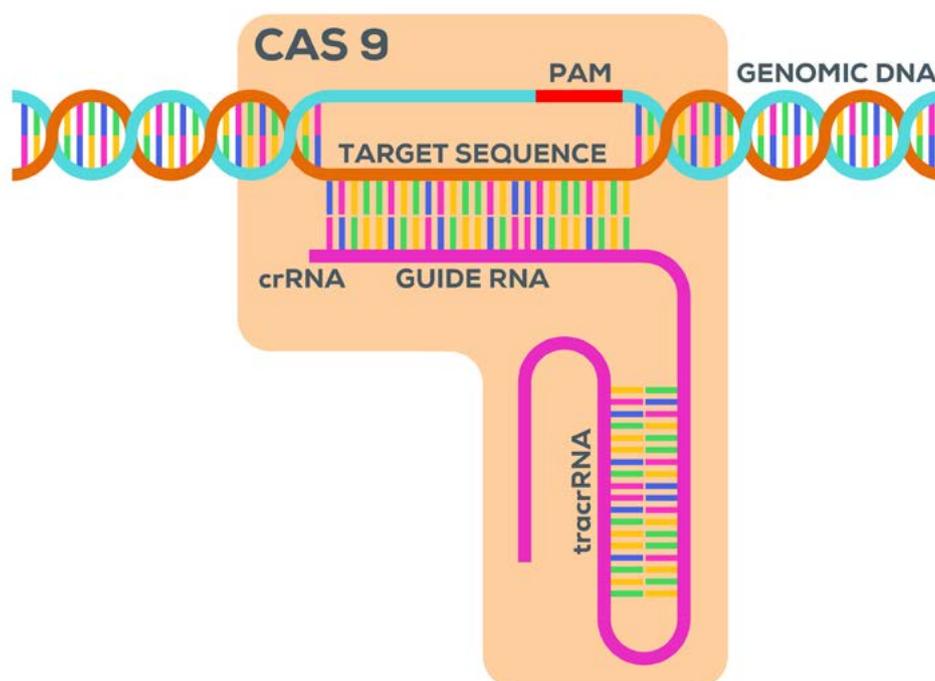
Apesar de poderosa, essa seleção artificial foi feita usando o “estilo” da natureza. Na década de 70 esse cenário começa a mudar com o desenvolvimento das primeiras técnicas de Engenharia Genética: foram descobertas diversas enzimas capazes de cortar ou ligar sequências específicas de DNA, além de vetores capazes de multiplicar fragmentos artificialmente construídos. Essas descobertas possibilitaram a construção de moléculas de DNA específicas e originaram a transgenia, o que trouxe consigo uma série de preocupações de natureza ética e ambiental, que são endereçadas a partir das regulamentações para os chamados Organismos Geneticamente Modificados (OGMs). Portanto, após aprender a ler a vida, o homem se tornou capaz de escrevê-la, no que é hoje denominado Biologia Sintética.

Nos últimos anos, as tecnologias do DNA viveram uma nova revolução: a descoberta e utilização de CRISPR-Cas9 para edição gênica. CRISPR (sigla em inglês para *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*) são Repetições Palindrômicas Curtas Agrupadas e Regularmente Interespaçadas, um padrão descoberto no início da década de 90 com a detecção de um conjunto de pequenas sequências interespaçadas no genoma de uma bactéria. A análise cuidadosa dessas sequências indicou que elas eram idênticas a partes do genoma de vírus que infectam bactérias. Essas sequências eram vizinhas a genes que codificavam proteínas com atividade catalítica sob o DNA, entre elas a enzima Cas9.

Análises de bioinformática sugeriram que essas proteínas deveriam ser enzimas capazes de degradar as sequências dos vírus que invadem bactérias. Essa conclusão foi rapidamente convertida em tecnologia, e hoje é possível, a partir do CRISPR-Cas9, realizar edição gênica para se reescrever a vida de modo eficiente e preciso: substituindo-se as sequências do vírus por uma sequência específica do genoma do organismo que se quer modificar, a proteína Cas9 é guiada para cortar essa sequência com precisão. Feito o corte, o sistema natural de reparo das células se encarregará de inativar aquele gene específico ou modificá-lo a partir de um molde artificialmente introduzido nessa mesma célula (Figura 4).

FIGURA 4 – CRISPRs são trechos especializados de DNA. A proteína Cas9 (ou “CRISPR-associado”) é uma enzima que age como um par de tesouras moleculares, capaz de cortar fios de DNA. CRISPR-Cas9 fornece um meio para a edição do genoma envolvendo mudança de sequências através de um corte no DNA, enganando os mecanismos naturais de reparo do DNA de uma célula para introduzir as mudanças desejadas.

CRISPR-CAS9



Por fim, o desenvolvimento dessa tecnologia trouxe consigo novas preocupações uma vez que ela pode ser empregada para todos os organismos e a sua utilização muitas vezes não deixa rastros moleculares, como sequências de vetores ou de outros genomas. Esse fato tem o potencial de neutralizar legislações de OGMs ao redor do mundo e traz um grande desafio regulatório para os atuais governos. Em 2018, *He Jiankui*, da *Southern University of Science and Technology* na China, declarou ter criado o primeiro bebê geneticamente modificado para ser resistente à infecção ao HIV [GUARD, 2018], o que gerou uma grande comoção mundial. Já em 2019, e baseado no experimento do chinês, um biólogo russo, *Denis Rebrikov*, declarou aberto um novo programa científico para a edição genética humana, usando também a tecnologia CRISPR para adicionar resistência ao HIV em bebês cujos pais são portadores do vírus [NATURE, 2019]. Nos próximos anos vivenciaremos acaloradas discussões em busca de um ponto de equilíbrio para a utilização dessas tecnologias, tanto do ponto de vista legal quanto ético. Em todo caso, trata-se de algo já está revolucionando a biotecnologia e é uma ferramenta central para a Bioeconomia.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E AS REDES NEURAIS

Inteligência artificial (IA) é um termo complexo e, de forma geral, trata-se da simulação de processos cognitivos humanos em máquinas, incluindo aprendizado (aquisição de informações e regras para o uso das informações), raciocínio (ato pelo qual se deduz algo a partir de informações e premissas) e, mais importante, autocorreção.

Não é simples estabelecer qual o limite entre automação e IA. Para a primeira, há a tendência de se considerar as atividades repetitivas e a operação. Mesmo os sistemas complexos, como os utilizados em reconhecimento facial, já não são mais considerados IA. Por outro lado, a compreensão da linguagem humana é um ponto de extrema relevância e foco dessas tecnologias.

Objetivamente, a pesquisa em IA trata da percepção (coleta de dados), aprendizado, raciocínio, planejamento, processamento de linguagem natural, e a capacidade de mover e manipular objetos (robótica). A inspiração fundamental vem da neurociência, que nos últimos anos avançou vertiginosamente a partir da Biologia de Sistemas e das novas técnicas de imageamento.

Uma dificuldade para a simulação total é o fato que correntes elétricas, em um ambiente biológico, são formadas a partir de diferenças de potencial mínimas, que não são – pelo menos por enquanto – mimetizáveis com os materiais atualmente existentes. Por exemplo, o cérebro consome uma energia equivalente à de uma lâmpada de geladeira. Para que máquinas consigam fazer o mesmo trabalho, seria necessário a potência de uma hidrelétrica. Essa é a razão para a concentração da indústria na busca de novos materiais, essenciais para aumentar a capacidade da computação de alto desempenho e reduzir o seu gasto de energia. Muitas ferramentas são usadas na IA, incluindo otimização matemática, redes neurais artificiais e métodos baseados em estatística, probabilidade e economia. O campo da IA baseia-se em ciência exatas, como computação, engenharia da informação e matemática, mas depende pesadamente das ciências humanas, como psicologia, linguística, filosofia e muitos outros campos.

Na biotecnologia, as redes neurais artificiais são fundamentais para a bioinformática industrial, um campo no qual são desenvolvidos genes e redes metabólicas para que, diferentes organismos, em particular microrganismos e plantas, possam produzir substâncias complexas, torando-se assim fábricas vivas. A partir dela, será possível se reconstituir praticamente toda a indústria petroquímica, farmacêutica e de cosméticos.

INDÚSTRIA 4.0

A Revolução Industrial transformou a vida das pessoas, permitindo o acesso a grande variedade de produtos, energia, meios de transporte mais eficientes e a vida em grandes cidades [6]. Dentro dessa Revolução são reconhecidas 4 fases, também chamadas de Revoluções, que são marcadas pelos seguintes fatos: (1) Uso da máquina a vapor; (2) Produção em massa, com linha de montagem e emprego da eletricidade; (3) Uso de computadores e automação; (4) Uso da conectividade e sistemas cibernéticos [ABII, 2019].

A terceira Revolução Industrial foi baseada na automação industrial, no qual as tarefas de produção que são realizadas por operadores humanos são transferidas a um conjunto de elementos tecnológicos [SILVEIRA, 2013]. Entretanto, esses sistemas computacionais não têm capacidade de aprendizado, tomada de decisões, ou mesmo de processamento automático de *big data*, de modo que não são considerados Indústria 4.0.

O aprendizado de máquina (*machine learning*) é uma das tecnologias da quarta Revolução Industrial, sendo esta a aplicação industrial da IA, mas não é sinônimo dela. A IA possibilita que máquinas aprendam com experiências, se ajustem a novas entradas de dados e executem tarefas como seres humanos. Ela, em grande parte, substitui a criatividade pela velocidade de analisar grandes volumes de dados brutos, verificando padrões e corrigindo inconsistências. O uso de modelos matemáticos sofisticados, em grande parte baseados em algoritmos genéticos, permite uma adaptação independente da máquina e um aprendizado progressivo.

Atualmente, as principais tecnologias que permitem a fusão dos mundos físico, digital e biológico são a IA, a Manufatura Aditiva (3D), a Internet das Coisas (IoT), a Biologia Sintética e os Sistemas Ciber Físicos [ABDI, 2019].

CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS - DRI

Mônica Messenberg Guimarães
Diretora de Relações Internacionais

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade - GEMAS

Davi Bomtempo
Gerente-Executivo de Meio Ambiente e Sustentabilidade

Millena de Albuquerque Saturnino
Mário Augusto de Campos Cardoso
Equipe Técnica

DIRETORIA DE INOVAÇÃO

Gianna Sagazio
Diretora de Inovação

Gerência Executiva de Inovação

Suely Lima Pereira
Gerente Executiva de Inovação

Débora Mendes Carvalho
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO - DIRCOM

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Gerência de Publicidade e Propaganda

Armando Uema
Gerente de Publicidade e Propaganda

Katia Rocha
Coordenadora de Gestão Editorial

André Oliveira
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Superintendência de Administração - SUPAD

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Superintendente Administrativo

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

Laboratório de Genômica e bioEnergia da Unicamp.

Gonçalo Pereira
Coordenador do Estudo

Maria Carolina Grassi - Biocombustíveis e Bioenergia
Regiane Alves - Commodities químicas e Química Fina
Lilian Sales - Meio Ambiente
Consultoria

Renata Portella
Revisão Gramatical

Editorar Multimídia
Projeto Gráfico e Diagramação

 .cni.com.br

 /cniBrasil

 @CNI_br

 @cniBr

 /cniweb

 /company/cni-brasil

ISBN 978-65-86075-32-8



9 786586 075328 >



Confederação Nacional da Indústria

PELO FUTURO DA INDÚSTRIA