

# FAPESP 60 Anos: A Ciência no Desenvolvimento Nacional

60 Years of FAPESP:  
Advancing Science  
for National  
Development



Uma homenagem da  
**Academia de Ciências do Estado de São Paulo**  
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences



# Capítulo 4

## Desafios da segurança alimentar global e equilíbrio ambiental

### Chapter 4

Challenges for global food security and environmental balance

#### INTRODUÇÃO

O conceito de Segurança Alimentar é dinâmico, usado para indicar diferentes situações e tem passado por atualizações constantes para refletir diferentes pensamentos políticos. O termo surgiu nos anos 1970, quando a World Food Conference de 1974 definiu segurança alimentar como a garantia de disponibilidade e

estabilidade de preço de alimentos básicos. Em 1983, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) adicionou a essa definição o componente de acessibilidade física e econômica aos alimentos básicos, estabelecendo o equilíbrio entre demanda e fornecimento. Em 1986, incorporou-se uma distinção entre insegurança alimentar crônica, associada à pobreza e baixa renda, e insegurança alimentar transitória, causada por desastres naturais, colapsos econômicos ou conflitos. Na World Food Summit de 1996, a natureza multidimensional da segurança alimentar foi reconhecida, incluindo acesso, disponibilidade, valor nutricional, utilização e estabilidade dos alimentos na definição. Mais recentemente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) incluiu o aspecto social e o conceito de sustentabilidade, ou seja:

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000004>

Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

#### INTRODUCTION

The concept of Food Security is dynamic, used to point out different situations, being constantly updated to reflect different political perspectives. The term emerged in the 1970s, when the 1974 World Food Conference defined food security as ensuring the availability and price stability for basic foods, both nationally and internationally. In 1983, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) added to this definition the component of physical and economic accessibility to basic food, establishing a balance between demand and supply. In 1986, a distinction was made between chronic food insecurity, associated with poverty and low income, and transient food insecurity - caused by natural disasters, economic collapses, or conflicts. At the 1996 World Food Summit, the multidimensional nature of food security was recognized, and included access, availability, nutritional value, use and stability of food in the definition. Recently, the

World Health Organization (WHO) included the social aspect and the concept of sustainability, which is:

Food security exists when all people, at all times, have physical, social, and economic access to sufficient, safe, and nutritious food which meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life. Household food security is the application of this concept to the family level, with individuals within households as the focus of concern (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002, Official Concepts of Food Security).

At the beginning of the 21<sup>st</sup> century, the United Nations (UN), whose main objective is the defense of global peace and prosperity, released a study showing

Segurança alimentar é a condição em que a população tem acesso físico, contínuo e econômico a alimentos seguros, em quantidades adequadas para atender suas preferências alimentares e as necessidades nutricionais para uma vida ativa e saudável, tendo como bases práticas alimentares promotoras de saúde, que respeitem a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002, Official Concepts of Food Security). Para atender a essa demanda, o aumento na produção agrícola deverá ocorrer em áreas onde as condições climáticas são mais adversas e a qualidade do solo e a disponibilidade de água são limitadas. É evidente que, se o modelo de desenvolvimento agropecuário a ser seguido continuar como o atual, ameaças à disponibilidade de água, energia e outros recursos críticos deverão surgir, com comprometimento da biodiversidade e do provimento de serviços ecossistêmicos, ou seja, dos



© ALEXRATHS / ISTOCKPHOTO.COM



benefícios gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais. O setor produtivo de alimentos tem dado importantes contribuições à agenda ambiental, como redução da emissão de gases de efeito estufa através de investimentos em pesquisa e inovação, uso racional dos recursos naturais e estímulo à adoção de práticas sustentáveis, bem como ações rumo a uma economia de baixo carbono, baseada em transição energética, mercado de carbono, economia circular e conservação florestal (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2021). Falhas em qualquer destes elementos significam riscos reais de intensificar crises econômicas, ecológicas e sociais, gerando um potencial de emergências humanitárias em escala global, o que comprova que alimentar quase 10 bilhões de pessoas de forma adequada e sustentável é, sem dúvida, o maior desafio que a humanidade enfrenta atualmente. Portanto, um novo modelo de produção e consumo de alimentos é essencial para a paz e prosperidade global.

O tema segurança alimentar não tem sido priorizado, em função de a oferta global

de alimentos pode ser considerada adequada, creditando-se a persistência da fome à pobreza, falta de renda, desigualdades sociais e deficiências estruturais nas políticas públicas para acesso aos alimentos. Entretanto, a recente pandemia de covid-19 teve um papel importante no aumento da preocupação com a segurança alimentar e sustentabilidade em nível global, evidenciando que nem todos os países são capazes de garantir segurança alimentar aos seus habitantes. O protecionismo no mercado de alimentos em alguns países decorrente da pandemia afetou as regras do comércio agrícola internacional. Assim, a pandemia deixou explícito que segurança alimentar é um importante elemento para a manutenção da estabilidade política e social no planeta.

A garantia da segurança alimentar em nível global depende do aproveitamento adequado dos avanços científicos e tecnológicos na agricultura e da redução de perdas e desperdício, com hábitos alimentares mais saudáveis, manutenção do equilíbrio ambiental e sustentabilidade, de forma integrada (Figura 1).

As últimas estatísticas globais indicam que a produção global de culturas agrícolas

que the greatest challenge for the next century would be to ensure food security for a growing global population, without harming existing natural resources. Still, according to the UN, global population will increase by 2 billion people over the next thirty years, reaching 9.7 billion inhabitants by 2050. It is estimated that global food production will increase by 60% to 70%, or even 100% to 110% according to some authors, such as Tilman et al. (2011). To meet this demand, growth in agricultural production must take place in areas where climatic conditions are less favorable and soil quality and water availability are limited. The current model for agricultural development poses threats to water and energy availability as well as to other vital resources, harming biodiversity and the provision of ecosystem services, that is, the benefits generated by ecosystems to maintain, restore and improve environmental conditions. The food production sector has made significant contributions to the environmental agenda, such as a reduction in greenhouse gas emissions by means of investment in research and innovation, rational use of natural resources and encouragement of sustainable practices. Additionally, measures seeking a low-carbon economy, based on energy transition, carbon market, circular economy and forest conservation have also been adopted (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2021). Failure in any one of these aspects implies actual risks of intensifying economic, ecological, and social crises, leading to potential humanitarian emergencies on a global scale, which proves that feeding nearly 10 billion people in an adequate and sustainable way is, without a doubt, the biggest challenge currently faced by humankind. Therefore, a new food production and consumption model is crucial for global peace and prosperity.

Since global food supply is possibly considered adequate, the issue of food security has not been prioritized, with ongoing hunger being attributed to poverty, lack of income, social inequality and structural shortcomings of public policies for access to food. However, the recent COVID-19 pandemic played an important role in increasing concerns regarding food security and sustainability at a global level, highlighting that not all countries are capable of ensuring food security for their citizens. Because of the pandemic, protectionism in the food market in some countries has affected the rules of international agricultural trade. Thus, the pan-

## UM PLANETA MENOS PREVISÍVEL A LESS PREDICTABLE PLANET

- Quantidade e qualidade limitada e decrescente dos recursos naturais  
*Limited and decreasing amount and quality of natural resources*
- Eventos climáticos extremos cada vez mais instáveis  
*Increasingly unstable and extreme weather events*
- Diminuição da biodiversidade  
*Decreasing biodiversity*
- Aumento da virulência de micro-organismos e parasitas e da resistência a antimicrobianos  
*Increasing virulence of microorganism and parasites, and increased antimicrobial resistance*
- Aumento da demanda do consumidor por credenciais ambientais e sociais  
*Increasing consumer demand for environmental and social credentials*

## SAÚDE EM MENTE HEALTH ON THE MIND

- Envelhecimento da população  
*Aging population*
- Aumento das doenças crônicas  
*Rise in chronic illness*
- Aumento da consciência social sobre saúde e bem-estar  
*Increasing social awareness for improved health and wellbeing*
- Aumento da demanda por alimentos que visam resultados holísticos (corpo + mente) de saúde e bem-estar  
*Increasing demand for food products that target holistic (mind + body) health and wellbeing outcomes*

## CADEIAS MAIS INTELIGENTES DE ALIMENTOS SMARTER FOOD CHAINS

- Demanda global crescente por alimentos  
*Rising global food demand*
- Preocupações com a segurança alimentar  
*Food security concerns*
- Ascensão de big data e data analysis  
*Rise of big data and data analysis*
- Aumento da conectividade digital e uso de soluções de e-commerce  
*Increasing digital connectedness and use of e-commerce solutions*
- Cadeias de valor verticalmente integradas, descentralizadas, não lineares e mais ágeis  
*Vertically integrated, decentralised, non-linear and more agile value chains*

## UM ÚNICO MUNDO ONE WORLD

- Cadeias de valor cada vez mais conectadas  
*Increasingly connected global value chains*
- Maior exposição a alimentos e bebidas de outros locais e culturas  
*Greater exposure to foods and beverages from other regions and cultures*
- Maior concorrência internacional  
*Greater international competition*
- Mais riscos de biossegurança  
*Increased biosecurity risks*
- Maior suscetibilidade a problemas de abastecimento  
*Greater susceptibility to supply shocks*

## CONSUMIDORES MAIS EXIGENTES CHOOSEY CUSTOMERS

- Classe média asiática crescente e mais rica  
*Rising wealth and Asian middle class*
- Urbanização  
*Urbanisation*
- Aumento da demanda por conveniência, consumo fora do lar e novas experiências com alimentos  
*Greater demand for convenience, out-of-home consumption, food-based experiences and customised offerings*
- Aumento da demanda por informações sobre origem e declarações precisas do vendedor  
*Increasing demand for provenance information and accurate vendor claims*
- Consumidores mais dispostos a mudanças  
*Greater consumer willingness to switch*

**Figura 1.** Principais motivadores e impactos das tendências globais em alimentos e agricultura.

Fonte: Esta “Figura 1” é derivada de “Fig. 2” por Cole et al. (2018), originalmente publicada sob a licença CC BY 4.0 com indicação de “Adaptada de Hajkowicz & Eady (2015); CSIRO Futures (2017)”. Esta “Figura 1” é licenciada sob CC BY 4.0.  
**Figure 1.** Main drivers and impacts of global tendencies in food and agriculture  
Source: This “Figure 1” is a derivative of “Fig. 2” by Cole et al. (2018), originally published under CC BY 4.0 with the following note: “Adapted from Hajkowicz & Eady (2015); CSIRO Futures (2017)”. This “Figure 1” is licensed under CC BY 4.0.

cresceu 53% entre 2000 e 2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Nesse mesmo período, a produção de óleos vegetais cresceu 118%, e a produção de carne aumentou 44%. Enquanto isso, a quantidade de pessoas subnutridas ou desnutridas subiu em 160 milhões entre 2014 e 2020, a obesidade aumentou em todos os continentes, e o índice global de preços de alimentos mais que dobrou entre 2000 e 2020. Combinados, esses números indicam um aumento da demanda maior que o da oferta, e uma crescente má distribuição dos alimentos no mundo.

Por outro lado, a sustentabilidade tornou-se um ponto essencial nos seus três pilares: o social, o econômico e o ambiental (Figura 2). A ênfase no pilar ambiental vem aumentando fortemente nas últimas décadas, transformando-se em uma demanda global, sobretudo entre os jovens.

Tanto segurança alimentar quanto sustentabilidade na produção de alimentos são assuntos relacionados à agropecuária, prioritariamente à agropecuária tropical, na América Latina, na África subsaariana

e nos países do Sul da Ásia. Nesse cinturão tropical do planeta ainda existe área suficiente a ser incorporada aos sistemas produtivos e muito potencial para o aumento da produtividade com a introdução de novas tecnologias. Entretanto, a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo normalmente está associada ao desmatamento e à emissão de gases de efeito estufa, não se configurando como uma atividade sustentável no longo prazo. Embora alguns autores considerem que as tendências de longo prazo de aumento da produtividade agrícola sejam insuficientes para dobrar a produção agrícola global até 2050 (Ray et al., 2013), esse argumento desconsidera uma importante característica da agricultura tropical: a capacidade de produzir duas ou, em alguns casos, até três safras ao ano.

A descarbonização, as mudanças climáticas e os recorrentes eventos extremos ligados ao clima (secas, geadas, furacões) são temas frequentes em debates internacionais, tais como a Conferência do Clima 2021 (COP 26), em Glasgow, Escócia, onde foi reafirmado que as soluções pa-

demic made clear that food security is an important aspect for political and social stability on the planet.

Ensuring food security globally depends on the adequate use of technological and scientific advances in agriculture and on a reduction of loss and waste, by adopting healthier eating habits and maintaining an environmental balance and sustainability in an integrated manner (Figure 1).

The latest global statistics indicate that global production of agricultural cultivars has increased by 53% between 2000 and 2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). During this same period, vegetable oil production grew 118%, and meat production increased by 44%. Meanwhile, the number of malnourished or undernourished people increased by 160 million people between 2014 and 2020, while obesity increased on all continents, and the global food price index more than doubled between 2000 and 2020. Combined, these numbers indicate an increase in demand above supply, and a growing maldistribution of food in the world.

On the other hand, sustainability has become a crucial aspect for the three pillars: social, environmental, and economic (Figure 2). The emphasis on the environmental pillar has significantly increased over recent decades, becoming a global demand, especially among young people.

Both food security and sustainable food production are issues related to agriculture, primarily tropical agriculture, in Latin America, sub-Saharan Africa and South Asian countries. In this tropical belt of the planet, there is still enough area to be incorporated into productive systems, and a great potential to increase productivity with the use of new technologies. However, given that the incorporation of new areas into the productive system is usually associated with deforestation and greenhouse gas emissions, it is unsustainable in the long-term. Although some authors consider that long-term trends towards increased agricultural productivity are insufficient to double global agricultural production by 2050 (Ray et al., 2013), this argument ignores an important characteristic of tropical agriculture: the capacity to produce two, and in some cases, up to three crops per year.

Decarbonization, climate change, and recurrent extreme events associated with climate (droughts, frosts, hurricanes) are frequent topics in international debates, such as the 2021 Climate Conference (COP 26), in Glasgow, Scotland. At this confer-

ence, it was reaffirmed that the solutions for the climate problem rely on sustainable development, on the search for neutralizing emissions from economic activities, on increasing adaptation capacities, on reducing risks, and on giving up unsustainable production and consumption patterns. It was evident that to effectively confront climate change we depend on a new governance model, given that the measures adopted up to now and agreed to among countries have not achieved satisfactory results.

The new development model for food production in tropical agriculture must be highly intensive, with two or more highly productive crops per year, with effective environmental protection, economic sustainability throughout the production chain, better quality of life for rural inhabitants, and strict control of resources such as water and energy. Reductions in waste and losses in the production chain should also positively impact food security.

Environmental balance actions should focus on restoring and preserving natural resources, and on the sustainable use of Brazil's environmental wealth. Similarly, generating new businesses and adding value to the food production chain is necessary to help reduce rural poverty and social inequality. Other factors that can contribute to change the current situation are making technology more accessible for less privileged sectors of society and offering technical assistance and qualified education (Buainain et al., 2020).

To strengthen food security and environmental sustainability, it is necessary to integrate food production and packing systems. Solutions for waste along the production chain and for waste before and after consumption – which impact the environment due to improper disposal and destination in landfills – must be found. This objective can be achieved through coordinated efforts in environmental education and through the development of innovative products and packaging, technologies to reuse solid organic waste for biogas production, innovative recycling processes for plastic and other packaging materials, as well as other innovative steps to manage and promote a circular economy. Therefore, the development of new foods – reusing residual ingredients that otherwise would be aimed at disposal – and the development and implementation of innovative food production technologies, with a view to increase the nutritional value, safety, and shelf life of foods, are important factors to protect the

ra o problema climático passam pelo desenvolvimento sustentável, pela busca da neutralidade de emissões no conjunto das atividades econômicas, pelo aumento na capacidade de adaptação, pela redução de riscos e pelo abandono de padrões insustentáveis de produção e consumo. Ficou evidenciado que o enfrentamento real das mudanças climáticas depende de um novo modelo de governança, visto que as medidas de consenso entre países adotadas até o momento não alcançaram resultados satisfatórios.

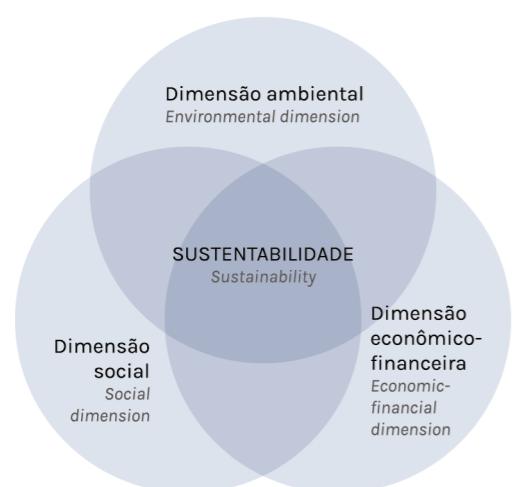
O novo modelo de desenvolvimento da produção de alimentos para a agricultura tropical deverá ser altamente intenso, com duas ou mais safras ao ano e alta produtividade, com efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e rígido controle do uso de recursos como água e energia. A redução do desperdício e das perdas na cadeia produtiva também deverão impactar positivamente a segurança alimentar.

Quanto ao equilíbrio ambiental, é importante direcionar ações para a recuperação dos recursos naturais, a preservação e a utilização sustentável da riqueza ambiental do país. Da mesma forma, é preciso estimular a geração de novos negócios e a agregação de valor à cadeia produtiva

(...) com efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e rígido controle do uso de recursos como água e energia.

de alimentos para auxiliar na redução da pobreza rural e das desigualdades sociais. Outros fatores que também podem contribuir para mudança do cenário atual são a disponibilização de tecnologias para segmentos menos privilegiados, a oferta de assistência técnica e a educação de qualidade (Buainain et al., 2020).

Em prol da segurança alimentar aliada à sustentabilidade ambiental, é necessária a integração dos sistemas produtivos de alimentos e embalagens, com foco em soluções para as perdas ao longo da cadeia produtiva e para os resíduos pré e pós-consumo, que impactam o meio ambiente pelo descarte inadequado e destinação aos aterros sanitários. Esse objetivo pode ser alcançado por forte atuação em educação ambiental e pelo desenvolvimento de produtos e embalagens inovadores, de tecnologias para aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos para a produção de biogás, de processos inovadores para a reciclagem de plásticos e outros materiais de embalagem e outras ações inovadoras para a gestão e promoção da economia circular. Nesse contexto, o design de novos alimentos, com aproveitamento de ingredientes residuais que teriam como destino o descarte e o desenvolvimento e emprego de tecnologias inovadoras de produção de alimentos objetivando o au-



**Figura 2.** Diagrama de Venn, indicando a integração dos três pilares da sustentabilidade.

Fonte: Sustentabilidade Coletiva (2015). Elaborado por: Pinto et al. (2016).  
Figure 2. Venn diagram, indicating the integration of the three sustainability pillars. Source: Sustentabilidade Coletiva (2015). Created by: Pinto et al. (2016).

mento de sua saudabilidade, segurança e vida útil podem ser elementos importantes para a proteção do meio ambiente e para contribuição no combate à insegurança alimentar em nível global.

#### O BRASIL NO CENÁRIO INTERNACIONAL

O Brasil, com a tecnologia tropical sustentável existente, tem uma grande responsabilidade no cenário da segurança alimentar global. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em conjunto com a FAO, realizou estudos, ratificados posteriormente pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), que indicaram que a oferta de alimentos no período de 2017 a 2027 precisa crescer 20% em todo o mundo para que não

falte alimento para ninguém (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, 2021). Segundo esses estudos, o Brasil será o país que mais deverá aumentar a oferta de alimentos para o mundo, estimada em 41% (Figura 3).

Segundo essas instituições, três razões explicam essa capacidade do Brasil em aumentar a oferta de alimentos para o mundo: tecnologia tropical sustentável, área disponível e mão de obra capacitada em todos os elos das cadeias produtivas. Desses três razões, há que se considerar com cuidado a questão da área disponível para expansão da agropecuária. O fato de existir área disponível para expansão da agropecuária no país não significa que a política nacional de expansão da

environment and to help combat food insecurity around the world.

#### BRAZIL IN THE INTERNATIONAL CONTEXT

With its existing sustainable tropical technology, Brazil plays a significant role in the context of global food security. The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and FAO undertook studies that were subsequently ratified by the United States Department of Agriculture (USDA). They show that, from 2017 to 2027, food supply must increase by 20% globally to avoid food shortages (Organization for Economic Co-operation and Development – OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, 2021). According to these studies, Brazil is the country that should increase the most its food supply to the world, by an estimated 41% (Figure 3).

According to these institutions, three reasons explain Brazil's capacity to increase food supply to the world: sustainable tropical technology, available area, and skilled labor along the entire production chain. Of these three reasons, the issue of available area for expanding farming must be carefully considered. The availability of area to expand farming in Brazil does not mean that national policies for growth of production should be based on an expansion of agricultural frontiers.

It is worth mentioning that if the productivity per hectare in Brazil were the same as that of 1990, 96 million additional hectares would be necessary to harvest the crop of 2021, besides the 69 million hectares currently available, with harvests that occur twice or even three times a year. The increase of productivity is also being observed with permanent and semipermanent cultivars, such as with coffee, fruticulture, and sugarcane, which reduces the demand for new areas, the same being true for animal protein. Since 1990, bovine meat production grew 108%, while the pasture area was reduced. The production of pork increased

produção deva ser baseada em expansão da fronteira agrícola.

Interessante notar que se a produtividade por hectare atual no Brasil fosse igual à de 1990, seriam necessários 96 milhões de hectares adicionais para colher a safra de 2021, além dos 69 milhões de hectares existentes, com colheitas que, em boa parte, ocorrem duas vezes por ano e até três. O aumento de produtividade vem sendo observado também nas culturas permanentes ou semipermanentes, como é caso de café, fruticultura e cana-de-açúcar, reduzindo a demanda por áreas novas, o mesmo valendo também para proteína animal. Desde 1990, a produção de carne bovina cresceu 108%, enquanto a área das pastagens diminuiu. Também a produção de carne suína aumentou 305%, e a de frango, 501% nesse período.

Novas tecnologias sustentáveis continuam chegando, como é o caso da ABC - Agricultura com Baixa Emissão de Car-

bono, com seus programas especiais, com destaque para a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, extraordinário redutor de demanda por áreas novas de plantio, que podem ser replicados em todos os países tropicais do globo. A agricultura 4.0 já é uma realidade, combinando automação, robótica, internet das coisas, inteligência artificial, aprendizado de máquina e hipernectividade, elevando o agronegócio a novos patamares de eficiência e atraindo para o campo jovens bem preparados para assumir procedimentos de gestão moderna e eficiente.

Quanto à disponibilidade de área agricultável, um trabalho realizado pela Embrapa mostra que todas as plantas cultivadas no país (lavouras e florestas plantadas) ocupam apenas 9% do território nacional, enquanto as pastagens ocupam outros 21,2% (Figura 4).

Com todos esses fatos, o agronegócio brasileiro tem se tornado um fator cen-

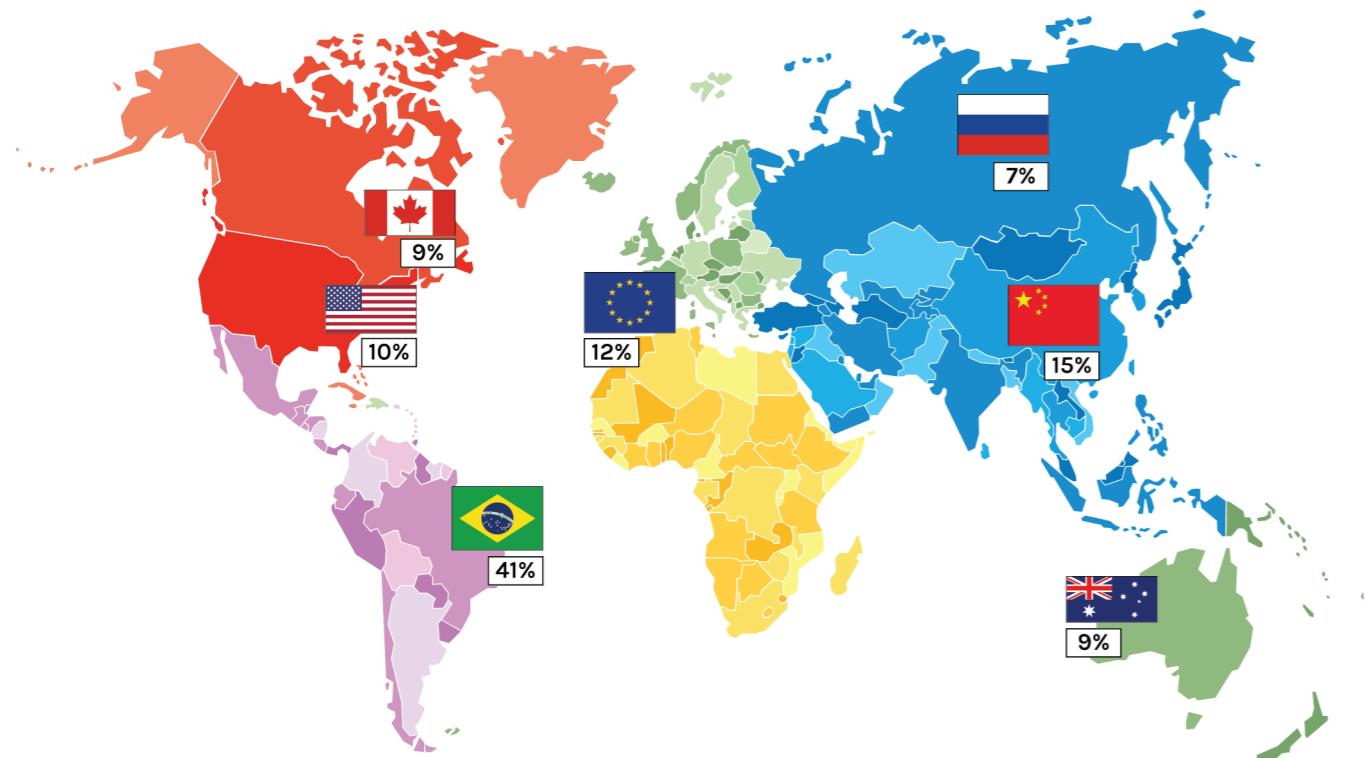


Figura 3. Projeção da produção de alimentos até 2026/27.

Fonte: United States Department of Agriculture (2017). Elaborado por: FGV Agro.  
Figure 3. Projection of food production until 2026/27.  
Source: United States Department of Agriculture (2017). Created by: FGV Agro.

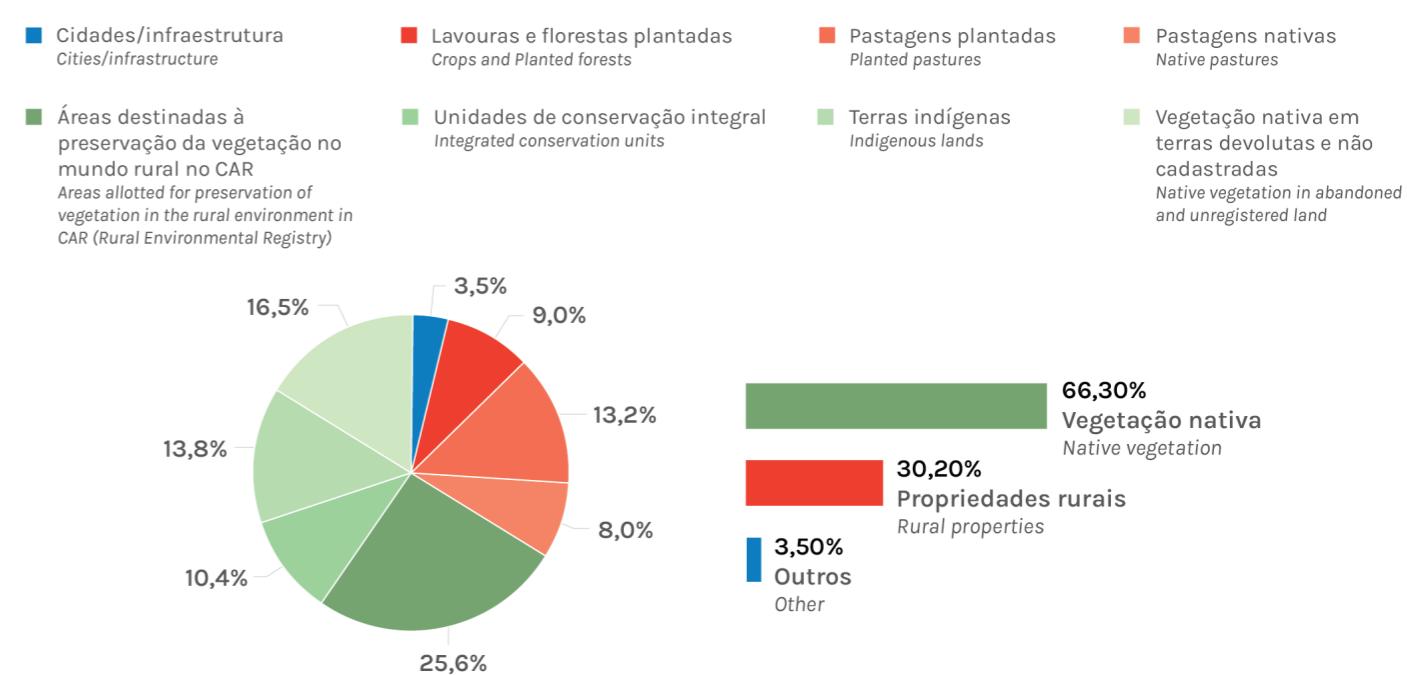


Figura 4. Ocupação e uso das terras no Brasil.

Fonte: GITE/EMBRAPA - Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (2017). Elaborado por: FGV Agro.  
Figure 4. Land use and occupation in Brazil.  
Source: GITE/EMBRAPA - Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (2017). Created by: FGV Agro.

### Balança comercial do agronegócio

Agribusiness trade balance

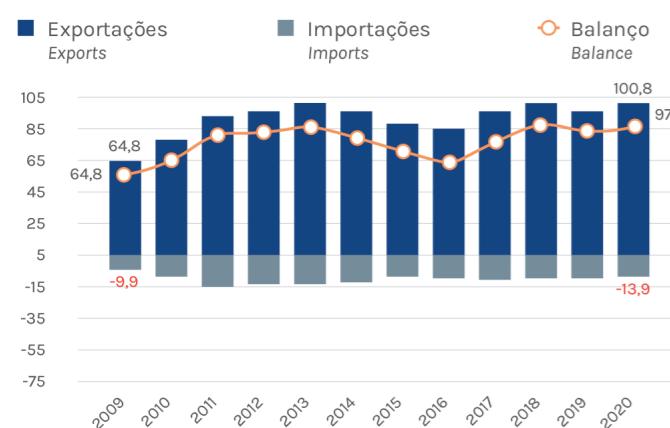


Figura 5. Desempenho do comércio exterior brasileiro.

Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.

Figure 5. Performance of Brazilian international trade.

Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

### Saldo comercial brasileiro

Brazilian trade balance

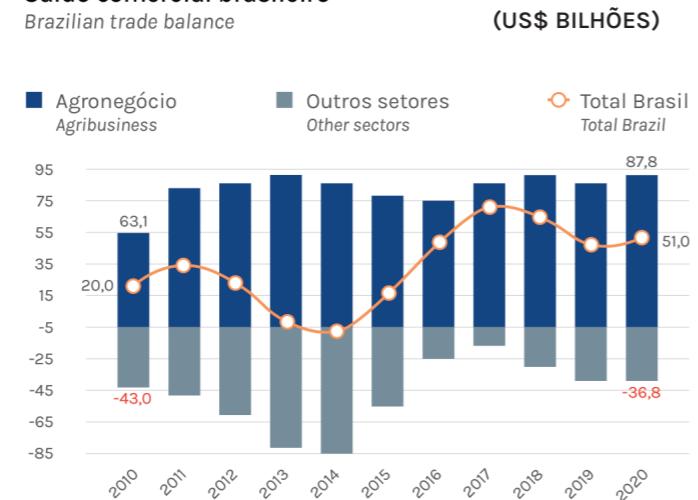


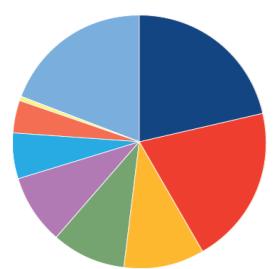
Figura 5. Desempenho do comércio exterior brasileiro.

Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.

Figure 5. Performance of Brazilian international trade.

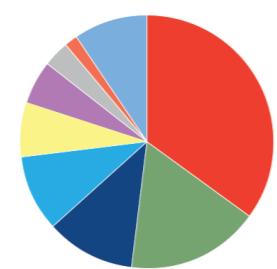
Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

2000 (US\$ 20,6 BI)



Produtos Florestais - 21,5%  
Complexo Soja - 20,4%  
Couros e Peleteria - 10,5%  
Carnes - 9,5%  
Café - 8,7%  
Complexo Sucroalcooleiro - 6,0%  
Fumo e Produtos - 4,1%  
Cereais - 0,3%  
Demais - 19,2%

2020 (US\$ 100,8 BI)



Complexo Soja - 35,0%  
Carnes - 17,0%  
Produtos Florestais - 11,3%  
Complexo Sucroalcooleiro - 9,9%  
Cereais, Farinhas e Preparações - 6,8%  
Café - 5,5%  
Fibras e Produtos Têxteis - 3,5%  
Fumo e seus Produtos - 1,6%  
Demais - 9,3%

Figura 6. Exportações do agronegócio em 2000 e 2020: produtos.

Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.

Figure 6. Agribusiness exports in 2000 and 2020: products.

Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

mainly in Asia, and with great emphasis on China.

As noted above, Brazil is playing its part as a major global food supplier. Thus, three questions arise: 1. Is it possible to increase Brazilian food exports by 40% in 10 years? 2. Will this increase take place? 3. Can this increase occur in a sustainable way?

The first question is answered affirmatively because conditions that favor success continue up to the present moment. They include both domestic (sustainable tropical technology, area available, and skilled labor force) and external (mainly market demand) factors. The second and third questions are not answered so easily and will be discussed in the following subsections.

Will Brazilian food production increase by 40% over the next decade?

There may only be a positive response if there is a clear strategy, with public policies established together with private sector production chains to deal with recurring challenges.

One of these challenges is related to logistics and infrastructure. From the 1970s onward, rural activities were no longer coastal and migrated to the Centro-oeste, where the Cerrado was tamed using technical innovations created by the Agronomical Institute of Campinas (IAC) which were competently expanded by Embrapa. While producers set off towards the agricultural frontier with courage and determination, the necessary infrastructure was neglected. A large investment will be necessary through public-private partnerships (PPP), that will only occur depending on legal assurances that offer confidence in the return on investments.

The second challenge is to establish a consistent income policy, and a rural insurance that keeps up with Brazilian agribusiness. Brazilian rural insurance, created by law in 2003, covers less than 10% of the current Brazilian arable land due to budgetary shortfalls at all levels of cultivation. Automatic rural credit depends on rural insurance working adequately, since private banks will be more interested in financing insured rural producers. This will free public banks from having to fulfill this role, given that financing productive chains and productive activities in rural areas is increasingly problematic.

The third challenge is related to the robustness of international trade policy, in search of bi- or multilateral agreements, such as those with the European Union or Mercosur, which can create new markets,

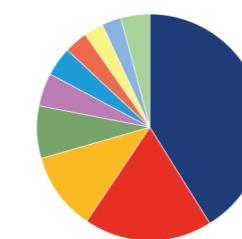
3. É possível que esse aumento ocorra de forma sustentável?

A primeira pergunta tem resposta positiva porque os fatores favoráveis para o êxito até o momento persistem, incluindo fatores internos (tecnologia tropical sustentável, área disponível e mão de obra capacitada) e externos (mercado demandante, principalmente). Já a segunda e terceira perguntas não têm respostas fáceis e serão discutidas nas subseções a seguir.

A produção brasileira de alimentos vai de fato aumentar em 40% na próxima década?

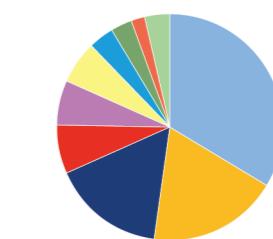
A resposta só será positiva se houver uma estratégia clara, com políticas públicas es-

2000 (US\$ 20,6 BI)



UE 27 - 41,1%  
EUA - 18,3%  
Ásia (-China, -Or. Médio) - 11,1%  
Mercosul - 7,7%  
Oriente Médio - 4,6%  
Aladi (-Mercosul) - 4,3%  
Europa Oriental - 3,1%  
África (-Or. Médio) - 3,0%  
Demais - 4,0%

2020 (US\$ 100,8 BI)



China - 33,7%  
Ásia (-China, -Or. Médio) - 18,5%  
UE - 16,2%  
USA - 6,9%  
Mercosul - 6,3%  
Middle East - 4,6%  
Aladi (-Mercosul) - 3,7%  
Eastern Europe - 2,0%  
Mercosur - 3,0%  
Demais - 3,5%

Figura 7. Exportações do agronegócio em 2000 e 2020: destinos.

Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.

Figure 7. Agribusiness exports in 2000 and 2020: destinations.

Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

tabelecidas em conjunto com as cadeias produtivas do setor privado, contemplando os desafios recorrentes.

Um dos desafios tem relação com infraestrutura e logística. A partir dos anos 1970, a atividade rural deixou de ser costeira e migrou para o centro-oeste, onde o Cerrado foi domado pelas inovações técnicas criadas pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e ampliadas pela Embrapa com grande competência. Enquanto os produtores se deslocaram para a fronteira agrícola com coragem e determinação, a infraestrutura necessária ficou para trás. Será preciso muito investimento através de parcerias público-privadas (PPP), que só acontecerão se houver segurança jurídica que traga confiança no retorno a investimentos.

O segundo desafio é o estabelecimento de uma política de renda consistente, com o seguro rural funcionando à altura do agro brasileiro. O seguro rural brasileiro, criado por lei em 2003, cobre menos de 10% da área agricultada brasileira atual porque faltam recursos orçamentários em todos os planos de safra. O crédito rural automático depende do seguro rural funcionando corretamente, pois haverá maior interesse dos bancos privados em financiar o produtor rural segurado, desobrigando os bancos públicos de seu compromisso, sendo cada dia mais difícil o financiamento da atividade produtiva no campo e nas cadeias produtivas.

O terceiro desafio está relacionado com a robustez da política comercial diplomática, na busca de acordos bi ou multilaterais, tais como os com a União Europeia e Mercosul, que resultem em novos mercados, sobretudo com países com muitos consumidores. Sem novos mercados, o aumento da produção é temerário e não justificado.

O quarto desafio é a necessidade de tecnologia. Se é verdade que o Brasil tem a melhor tecnologia tropical sustentável, também é verdade que os avanços precisam ser permanentes, pois o processo é dinâmico. Uma nação sem ciência e tecnologia está fadada ao fracasso. Nesse contexto, é absolutamente fundamental e urgente re-

construir o Sistema Brasileiro de Pesquisa Agropecuária, sob a liderança da Embrapa, com a participação das entidades estaduais de pesquisa, universidades e até mesmo do setor privado interessado no desenvolvimento do país.

Um quinto desafio está diretamente relacionado com a sustentabilidade, sobretudo no que diz respeito à defesa sanitária, rastreabilidade, certificação e decarbonização. As empresas do agronegócio brasileiro precisarão adotar os princípios ESG (ambiental, social e governança) e terão que desenvolver as métricas e metas brasileiras quanto à pegada de carbono para discutir com os concorrentes em bases científicas irretorquíveis.

Outro ponto essencial é a necessidade de melhor organização dos produtores rurais, sobretudo através do cooperativismo fortalecido e respeitado. Quase 75% dos produtores brasileiros, em especial os pequenos, estão fora do mercado, sem acesso a tecnologias e mecanismos de gestão que lhes permitam avançar economicamente. Há outras questões importantes, como a modernização de legislações obsoletas. Há ainda uma questão fundamental, ligada à imagem interna e externa do agro brasileiro, constantemente manchada por ilegalidades inaceitáveis como os desmatamentos ilegais, sobretudo na Amazônia, os incêndios criminosos por todo o país, a garagem de terras, o descumprimento de contratos, o garimpo em terras indígenas ou públicas e um sem-número de outras delinquências que precisam ser rigorosamente fiscalizadas e seus infratores punidos com rigor.

#### É possível que esse aumento ocorra de forma sustentável?

As exigências de aumento de produção para satisfazer a segurança alimentar global e as restrições de sustentabilidade ambiental, econômica e social colocam o setor agrícola em um restrito espaço de operação seguro: ao mesmo tempo em que a produtividade agrícola e dos rendimentos de culturas deve aumentar, a atividade agrícola (global) deve reduzir ao máximo suas emissões de CO<sub>2</sub> para evitar mudanças

especialmente in countries with many consumers. Without new markets, growth in production is reckless and unreasonable.

The fourth challenge is the need for technology. If it is true that Brazil has the best sustainable tropical technology, it is also true that these improvements must be permanent, since we are dealing with a dynamic process. A nation without science and technology is destined to failure. Therefore, it is essential and urgent to reconstruct the Brazilian System of Agricultural Research, under the leadership of Embrapa, with the participation of state research organizations, universities and even private sector actors interested in the Brazilian development.

A fifth challenge is related to sustainability, especially in terms of sanitary guarantees, traceability, certification, and decarbonization. Brazilian agribusiness companies will need to adopt ESG (environmental, social, and governance) principles and will have to develop Brazilian metrics and goals regarding carbon footprint, to engage with competitors based on solid scientific findings.

Another vital point is the need for improved organization of rural producers, especially through strengthened and consistent cooperativism. Almost 75% of Brazilian producers, particularly smaller ones, are outside the market, with no access to technology or management mechanisms that could allow them to grow economically. There are other important issues, including the modernization of obsolete legislation. There is another fundamental question, associated with the domestic and international image of Brazilian agriculture, constantly tainted by unacceptable illegalities, such as illegal deforestation – especially in the Amazon – criminal forest fires throughout the country, illegal occupation of land, breach of contract, unauthorized mining (garimpo) on indigenous or public land, and innumerable infractions that need to be strictly monitored, and the offenders punished with severity.

Can this growth take place in a sustainable way?

The need for growth of productivity to meet global food security goals and environmental, economic, and social sustainability targets places the agricultural sector in a limited space for a secure operation. While agricultural productivity and outputs of crops need to grow, global agricultural activity should reduce its CO<sub>2</sub> emissions as much as possible to

avoid severe climate change, and simultaneously prepare itself for the effects of climate change that are occurring and may intensify over the coming decades. The economic and social sustainability of agribusiness, including generation of permanent employment, improved quality of life, and human development, according to the Sustainable Development Goals (SDG) proposed by the United Nations, must also be considered.

A key concept related to increased productivity is sustainable intensification, frequently associated with an intensive use of technology and agricultural inputs, including fertilizers, agrochemicals, and, in the case of irrigated agriculture, water resources.

However, the excessive and indiscriminate use of these products, added to intensive practices, leads to food contamination, soil erosion, leaching, occurrence of pathogens, and greenhouse gas emissions with significant impacts on human health and food security. These problems can only be solved by adopting conservation practices applied by farmers who adapt to these challenges and develop their crops according to land topography, rainfall, soil type, cultivar type, and vegetation coverage, as well as to land use systems and different technologies. With improvements in scientific research and technological development, Brazil has the potential to quickly innovate tropical agriculture technology.

For decades, extending the agricultural frontier was one of the main ways to increase Brazilian agricultural production. However, this has led to deforestation and consequent greenhouse gas emissions (Leite et al., 2020), and keeping such practice contributes to intensify the climate change. Therefore, one of the challenges for Brazilian agriculture is to increase production without expanding the agricultural frontier.

This requires a revolution in how we think about agriculture in Brazil: from agrarian science courses to farmers, from production chains to research institutes. Actually, this paradigm shift began slowly in 1985, when Brazilian agricultural production started to increase due to intensification rather than expansion (Dias et al., 2016). Studies by Strassburg et al. (2014) show that a mere enhancement in the efficiency of Brazilian pastures – from the current 33% to 50% – by means of an adequate management to make them more productive, would increase Brazilian meat and grain production. This would allow Brazil to meet the entire global food demand, without a need

climáticas severas e, ao mesmo tempo, estar preparada para os efeitos das mudanças climáticas que já estão ocorrendo e podem se intensificar nas próximas décadas. Isso sem esquecer a sustentabilidade econômica do negócio agrícola e a sustentabilidade social, com geração de empregos estáveis, melhorias da qualidade de vida e desenvolvimento humano, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas.

Um conceito-chave relacionado ao aumento da produtividade é a intensificação sustentável, muitas vezes associada ao uso intensivo de tecnologia e de insumos agrícolas, incluindo fertilizantes, agroquímicos e, no caso da agricultura irrigada, de recursos hídricos. Porém, o uso excessivo e indiscriminado desses produtos em conjunto com práticas intensivas resulta na contaminação de alimentos, erosão do solo, lixiviação, favorecimento de patógenos e emissão de gases do efeito estufa que, juntos, têm um impacto significativo na saúde humana e na segurança alimentar. Esses problemas só podem ser resolvidos com a adoção de práticas de conservação utilizadas por agricultores que se adaptam aos desafios e se desenvolvem em função da topografia da terra, precipitação, tipo de solo, tipo de cultura e cobertura vegetal, sistema de uso da terra e diferentes tecnologias. Com o avanço das pesquisas científicas e o desenvolvimento tecnológico, o Brasil tem potencial de inovar a tecnologia da agricultura tropical mais rapidamente.

Por décadas, expandir a fronteira agrícola foi uma das principais formas de aumentar a produção agropecuária brasileira, mas isso implicou desmatamento e a consequente emissão de gases de efeito estufa (Leite et al., 2020), e continuar com essa prática contribui para intensificar as mudanças climáticas. Assim, um dos desafios da agropecuária brasileira é expandir a sua produção sem aumentar a sua fronteira agrícola, o que implica uma revolução na maneira de se pensar a agropecuária no Brasil, dos cursos de Ciências Agrárias aos fazendeiros, da cadeia produtiva aos órgãos de pesquisa. Essa mudança de paradigma,

**As exigências de aumento de produção para satisfazer a segurança alimentar global e as restrições de sustentabilidade ambiental, econômica e social colocam o setor agrícola em um restrito espaço de operação seguro (...)**

na verdade, teve início lentamente em 1985, quando a produção brasileira começou a aumentar mais devido à intensificação do que devido à extensificação (Dias et al., 2016). Estudos de Strassburg et al. (2014) indicam que um mero incremento da eficiência das pastagens brasileiras dos atuais 33% para 50%, por meio do manejo adequado para se tornarem mais produtivas, permitiria um aumento da produção brasileira de carne e grãos, de modo a satisfazer toda a demanda global por alimentos, sem a necessidade de expansão das terras agrícolas. Essas áreas de baixa eficiência são principalmente pastagens degradadas, terrenos com alta declividade ou áreas abertas com fogo, que nunca foram preparadas para mecanização nem calcareadas.

**O**utra característica importante para a agropecuária brasileira é o clima adequado. De maneira geral, tem-se um clima no qual raramente ocorre congelamento e a agricultura é viável desde que haja chuvas suficientes e regulares. No sul do Brasil, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, porém irregulares de ano para ano, apresentando chuvas intensas em anos de ocorrência do fenômeno El Niño e longos veranicos em anos do fenômeno de La Niña, condições que podem levar a perdas de safra. A tendência climática para as próximas décadas é a intensificação desse modo de variabilidade interanual do clima, que aumentará o risco agrícola na Região Sul.

Por outro lado, Sudeste, Cerrado, sul da Amazônia e MATOPIBA (região formada por áreas majoritariamente de Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) são caracterizados por um clima mais quente, com uma estação chuvosa longa e bem definida, com a vantagem de ser menos sujeita à estiagem do que a Região Sul. Isso torna a produtividade nessas regiões muito mais regular de ano para ano. Em algumas dessas regiões, em particular em MATOPIBA e no sul da Amazônia, a agricultura evoluiu para um sistema altamente intensivo, com duas safras plantadas na estação chuvosa, o que requer uma estação chuvosa com duração superior a

200 dias. De forma um tanto preocupante, a principal mudança climática esperada para essas regiões é o alongamento da estação seca e a diminuição da estação chuvosa (Fu et al., 2013), o que aumentaria o risco climático da agricultura nessas regiões (Pires et al., 2016), ampliando a degradação existente num futuro já incerto. Um estudo recente (Rattis et al., 2021) indica que o aquecimento e redução das chuvas nas últimas décadas já tirou 28% das terras agrícolas atuais na Amazônia e MATOPIBA de seu espaço climático ideal, projetando que 51% da agricultura nestas regiões sairá desse espaço climático até 2030, e 74% até 2060.

Uma técnica que permite aumentar a segurança da produção de duas safras, e eventualmente viabilizar uma terceira safra anual, é a irrigação, prática que reduz a exposição dos agricultores a riscos de curto prazo, enquanto fortalece a sua resiliência, desenvolvendo a sua capacidade de adaptação e prosperidade face a tensões a longo prazo. O Brasil ainda é um país que, apesar de contar com 25% dos recursos hídricos globais, paradoxalmente ainda irriga muito pouco (6 M ha, ou menos que a área irrigada combinada nos estados do Nebraska e Califórnia, nos Estados Unidos – 6,7 M ha). Uma das principais razões para o pouco uso da irrigação no Brasil é o pouco conhecimento sobre os recursos hídricos regionais. A rede de monitoramento de recursos hídricos superficiais brasileira é rarefeita e a de recursos hídricos subterrâneos está a duas ordens de grandeza de padrões europeus ou americanos (1 centésimo do que deveria ser).

O plantio de múltiplas safras ao ano, seja de sequeiro ou irrigado, traz benefícios ambientais, reduzindo a pressão para o desmatamento de novas áreas e a incidência de pragas; traz também benefícios sociais, ao manter o corpo de trabalhadores rurais empregados durante todo o ano ao invés de apenas durante a safra; também gera outros tipos de benefícios ao aumentar a arrecadação de impostos cobrados sobre o óleo diesel e o consumo de energia elétrica; e, finalmente, contribui para aumentar a renda do agricultor pelo aumento de receita por unidade de área e diversificação da renda.

to expand its agricultural frontier. These low-efficiency areas are mainly degraded pastures, steep terrains, or areas cleared using fire, that have never been prepared for mechanization, nor limed.

Another important characteristic of the Brazilian agriculture is the proper climate. In general, we deal with a climate where freezing rarely occurs and, as long as there is sufficient and regular rainfall, agriculture is viable. In southern Brazil, rainfall is evenly distributed throughout the year. However, irregularities do happen, with intense rainfall during years when the El Niño phenomenon occur and long summers during years when La Niña occur, which can lead to crop losses. Climate tendencies over the coming decades are towards an intensification of this form of interannual climate variability, which will increase agricultural risks in the southern region.

On the other hand, the southeast, the Cerrado, the south of Amazon, and MATOPIBA region (formed predominately by Cerrado in Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia states) are characterized by a hotter climate, with a longer, well-defined rainy season, and has the advantage of being less subject to droughts than the southern region. This makes the productivity in these regions much more dependable every year. In some of these regions, particularly in MATOPIBA and in the southern Amazon, agriculture has evolved into a highly intensive system, with two crops planted during the rainy season, which requires a rainy season longer than 200 days. The major concern is that the main climate change expected for these regions is an increase in the dry season and a shortening of the rainy season (Fu et al., 2013). This would increase climate change risks for agriculture in these regions (Pires et al., 2016), extending existing degradation into an already uncertain future. According to recent study (Rattis et al., 2021), warming and rainfall reductions over recent decades have already moved 28% of current agricultural lands in the Amazon and MATOPIBA out of their ideal climate space, and it is expected that 51% of agricultural land in these regions will be out of this ideal climate space by 2030, and 74%, by 2060.

A technique that provides increased reliability for the production of two and occasionally three crops per year, is irrigation. This practice reduces the exposure of farmers to short-term risks, while strengthens their resilience and develops their capacity for adaptation and prosperity in face of long-term challenges. Brazil is a coun-

try that, despite having 25% of the global water resources, paradoxically still uses little irrigation (6 M ha, or less than the combined area irrigated in Nebraska and California, in the United States – 6.7 M ha). One of the main reasons for the limited use of irrigation in Brazil is the limited knowledge of regional water resources. The network for monitoring Brazilian surface water resources is scarce, and the one on groundwater resources is insignificant if compared to European or American standards (one hundredth of what it should be).

The cultivation of multiple crops per year, whether dryland (sequeiro) or irrigated, provides environmental benefits, reducing the pressure for deforestation of new areas, and the incidence of pests. It also provides social benefits by maintaining rural workers employed throughout the year instead of only during harvest times. Other types of positive outcomes include increased collection of taxes levied on diesel fuel and energy consumption. Finally, it generates income growth for farmers due to increased revenue per area and through a diversified income.

In the southern Amazon and MATOPIBA, agriculture transitioned from single to double crops at a rate that increased from around 3,000 km<sup>2</sup> year<sup>-1</sup> in 2003 to more than 30,000 km<sup>2</sup> year<sup>-1</sup> in 2014 (Rattis et al., 2021). At the same time, in all locations where a double crop was tried, a transition back to a single crop was adopted at least once during the study period. This process of de-intensification increased from ~3,000 km<sup>2</sup> year<sup>-1</sup> in 2003 to ~10,000 km<sup>2</sup> year<sup>-1</sup> in 2012, followed by a rapid subsequent increase. These results show that the probability of agricultural areas going from an expected double crop to a single crop (or fallow) has increased over time (Rattis et al., 2021), which reflects a still underdeveloped technology.

The low carbon content of Brazilian soils also needs to be considered and enhancing their carbon content would be beneficial for all. Soil with greater carbon content is more permeable, retains more water, reduces risks associated with long droughts and obviously captures carbon, which would otherwise return to the atmosphere as CO<sub>2</sub>. Increasing carbon content in the soil would also adapt agriculture to climate extremes, as well as mitigate climate change. As such, it is necessary to map carbon in the soil, identify priority regions to be reclaimed, and research reclamation strategies for soils that may work

No sul da Amazônia e no MATOPIBA, a agricultura fez a transição de safras simples para duplas a uma taxa que aumentou de cerca de 3.000 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> em 2003 para mais de 30.000 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> em 2014 (Rattis et al., 2021). Ao mesmo tempo, em todos os locais onde se tentou o cultivo duplo foi feita a transição de volta para o cultivo único pelo menos uma vez durante o período de estudo. Este processo de desintensificação aumentou de ~3.000 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> em 2003 para ~10.000 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> em 2012, seguido por um rápido aumento depois disso. Esses resultados mostram que a probabilidade de áreas agrícolas passarem do desejado cultivo duplo para cultivo simples (ou pousio) tem aumentado ao longo do tempo (Rattis et al., 2021), indicando uma tecnologia ainda não completamente madura.

Há também que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono. Aumentar o teor de carbono dos nossos solos seria uma estratégia em que todos seriam beneficiados: solos com mais carbono são mais permeáveis, retêm mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>. Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima, assim como pode mitigar as mudanças climáticas. Assim, faz-se necessário mapear o carbono nos solos, identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala, para orientar políticas públicas que possam ser desenhadas para esse fim.

Por fim, o aproveitamento de recursos naturais, incluindo práticas tradicionais conservacionistas, manejo do solo e a manutenção da biodiversidade do solo, são propostos como a abordagem mais eficaz para melhorar a produtividade agrícola e a qualidade dos alimentos de forma sustentável, o que também pode promover resultados ambientais e sociais positivos. Com essas estratégias implantadas, o Brasil conseguirá certamente se transformar no

campeão mundial da segurança alimentar sustentável e, por conseguinte, será o campeão mundial da paz, visto não haver paz enquanto houver fome.

#### EFEITOS DA CIÊNCIA NAS POLÍTICAS PÚBLICAS NACIONAIS EM RELAÇÃO À GARANTIA DA SEGURANÇA ALIMENTAR E EQUILÍBRIO AMBIENTAL

Investimento em ciência é chave para reduzir a fome, melhorar a segurança alimentar nos países e garantir o equilíbrio ambiental global. Na década de 1960, o Brasil era importador de alimentos, até de carne de frango, e atualmente é o maior exportador desse tipo de carne do mundo. O Brasil tem investido em ciência e pesquisa, proporcionando um crescimento enorme da produtividade, sendo a criação da Embrapa um ótimo exemplo. Paralelamente, os órgãos públicos de pesquisa, incluindo as universidades e os institutos de pesquisa, contribuem com conhecimento para aplicação em políticas públicas relacionadas com garantia da segurança alimentar e ambiental e com as inovações tecnológicas necessárias para o aumento da competitividade do país no cenário internacional.

Seguem alguns exemplos em que a Ciência pode contribuir para as políticas públicas nacionais em relação à garantia da segurança alimentar e equilíbrio ambiental.

#### Espaço seguro de operação

A agricultura tropical do futuro deve satisfazer diversas condições: (a) prover segurança alimentar; (b) ser climaticamente inteligente (estar adaptada às mudanças climáticas e não contribuir para o aquecimento global); (c) ser sustentável, nos seus aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Cada uma dessas condições impõe restrições, por exemplo, produção mínima, emissões máximas de gases de efeito estufa, e as diferentes métricas de sustentabilidade.

A satisfação de todas essas restrições cria um espaço seguro de operação para o setor agropecuário. A determinação desse espaço seguro é uma definição política com base científica (Figura 8). Por outro lado, a deter-

minação do estado atual da agricultura nacional e, em última análise, das agriculturas estaduais e municipais, requer um monitoramento permanente de todas as métricas associadas, para identificar a localização nesse espaço de operação, qual direção deve ser seguida, e quais políticas públicas devem ser implementadas para garantir a operação dentro do espaço seguro.

O exemplo da Figura 8 é extremamente simplificado, pois inclui apenas duas restrições. Para maior garantia, dezenas de métricas relacionadas às diferentes vertentes da sustentabilidade devem ser incluídas na determinação do espaço seguro de operação. Algumas dessas métricas já são rotineiramente medidas pelo IBGE ou outros órgãos governamentais. Por exemplo, a produção agrícola (Figura 8a) é medida anualmente em nível municipal desde 1974. Já as emissões de gases de efeito estufa (Figura 8b) são estimadas anualmente desde 1990, mas apenas para o território nacional, não existindo números sistemáticos por estado, município ou por cultura. Outras métricas de desenvolvimento social, como o IDH, são calculadas anualmente em nível nacional desde 1991, e em nível municipal (IDH-M) a cada censo populacional (~10-12 anos).

A comunidade científica deve discutir, juntamente com os governos e a sociedade civil organizada, quais critérios devem ser utilizados para definir o espaço seguro de operação (Figura 8c) da agricultura brasileira, e passar a medir esses critérios, para que políticas públicas possam direcionar a agricultura brasileira em direção ao espaço seguro, único caminho que irá garantir produção de alimentos e sustentabilidade da agricultura.

#### Monitoramento de recursos hídricos

Até a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997), os recursos hídricos no Brasil eram monitorados principalmente visando a geração de energia hidroelétrica, primeiro através do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) e depois da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Por outro lado, irrigação é uma atividade que, além de consumir muita água, também consome muita energia. Grandes investimentos em irrigação podem levar à competição por água e energia entre produtores e áreas urbanas (Lathuillière et al., 2016) e exacerbar os conflitos sobre esses recursos

Com a posterior criação da Agência Nacional das Águas (ANA), novos pontos de monitoramento foram instalados em áreas sem potencial de geração de energia elétrica, mas com potenciais problemas de conflitos de recursos hídricos. Os dados dessas novas estações, apesar de ainda serem compostas por séries relativamente curtas (< 20 anos), já retratam com muito mais clareza a realidade dos recursos hídricos brasileiros. Com relação ao monitoramento das águas subterrâneas, a rede de monitoramento precisa crescer entre 10 e 100 vezes o tamanho atual para atingir os padrões europeus ou americanos, para termos uma melhor compreensão de quanto temos de recursos hídricos e o quanto pode ser explorado. Governos estaduais, que são responsáveis pelas outorgas e licenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos, de maneira geral não têm informações para tomada de decisão, e terminam optando pela precaução, negando a outorga e o uso desses recursos.

Uma política pública que resultasse num grande esforço de monitoramento de recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, se pagaria facilmente com o ganho de receita, empregos e arrecadação de impostos que a agricultura irrigada propiciaria.

Embora a montagem e operação de redes de monitoramento não sejam atribuições de instituições de pesquisa ou de fomento à pesquisa, os pesquisadores das áreas de hidrologia e hidrogeologia teriam, após a expansão da rede, uma gigantesca demanda de pesquisa para entender melhor a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação no Brasil, e ajudar o governo federal e os governos estaduais nas suas atividades de gestão de recursos hídricos, e permitir a expansão sustentável da agricultura irrigada no Brasil.

Satisfying all these restrictions creates a safe operation space for the agricultural sector. Determining this safe space is a political definition based on science (Figure 8). On the other hand, the determination of the current state of national

in a large scale, in order to guide public policies to be formulated for this purpose.

Finally, the use of natural resources, including traditional conservationist practices, land management, and maintenance of soil biodiversity are proposed as the most effective approach to improve agricultural productivity and food quality, which can also produce positive social and environmental outcomes. By implementing these strategies, Brazil will certainly become a world leader in sustainable food security and, therefore, a world peace champion, given that there is no peace as long as there is hunger.

#### EFFECTS OF SCIENCE ON NATIONAL PUBLIC POLICY RELATED TO ENSURING FOOD SECURITY AND ENVIRONMENTAL BALANCE

Investing in science is vital to reduce hunger, to enhance food security of countries, and to ensure global environmental balance. In the 1960s, Brazil was an importer of foods, including poultry meat, and nowadays, it is the largest exporter of this type of meat in the world. Brazil has invested in science and research, providing an enormous growth in productivity. The creation of Embrapa is an excellent example of this. At the same time, public research agencies, including universities and research institutes, contribute with knowledge to be applied in public policies related to assurance of food and environmental security, and with the technological innovations necessary to increase Brazilian competitiveness in the international landscape.

Some examples where science can contribute to national public policy related to ensuring food security and environmental equilibrium are as follows:

#### Safe operation space

Future tropical agriculture needs to satisfy several requirements: (a) promote food security; (b) be climatically intelligent (be adapted to climate change and not contribute to global warming); (c) be sustainable, in its environmental, economic, and social dimensions. Each of these conditions impose restrictions, for instance, minimum production, maximum level of greenhouse gas emissions, and different sustainability metrics.

Satisfying all these restrictions creates a safe operation space for the agricultural sector. Determining this safe space is a political definition based on science (Figure 8). On the other hand, the determination of the current state of national

agriculture, and ultimately, of municipal and state agricultures, requires a permanent monitoring of all associated metrics, for identification of the location in this operation space, and which direction should be taken, and which public policies should be implemented to maintain operation within the safe space.

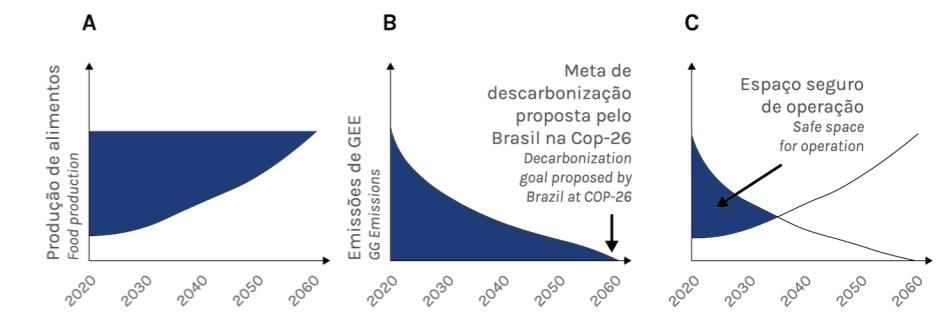
The example in Figure 8 is extremely simplified since it includes only two restrictions. For greater precision, numerous metrics related to different features of sustainability should be included when determining the safe operation space. Some of these metrics are constantly measured by IBGE and other governmental agencies. For instance, agricultural production (Figure 8a) is measured annually at a municipal level since 1974. Greenhouse gas emissions (Figure 8b) are estimated annually since 1990, but only for the Brazilian territory and no systematic data is available by state, municipality, or cultivar. Other social development metrics, such as Human Development Index (HDI), are calculated every year at national level since 1991, and at municipal level (HDI-M) in each population census (~10-12 years).

The scientific community should discuss with governments and the organized civil society which criteria should be used to define the safe operation space for Brazilian agriculture and start measuring these criteria so that public policies can guide Brazilian agriculture towards this safe space. This is the only way to guarantee both food production and sustainable agriculture.

#### Water resources monitoring

Prior to the creation of the National Policy for Water Resources (Law no 9,443, January, 8 1997), water resources in Brazil were mainly monitored for hydroelectric energy production, firstly by the National Department of Water and Electric Energy (DNAEE) and then by the National Agency for Electric Energy (ANEEL).

With the subsequent creation of the National Water Agency (ANA), new monitoring stations were installed in areas without potential for electric energy generation, but with potential for conflicts of water resources. The data from these new stations, despite still representing relatively short time span (20 years), clearly show the reality of the Brazilian water resources. In relation to groundwater monitoring, the monitoring network needs to grow 10 to 100 times to achieve European or American standards, and thus provide a better understanding of the extent of our water



**Figura 8.** Exemplo hipotético das restrições do setor agropecuário: (a) produção mínima de alimentos para satisfazer a demanda mundial; (b) metas máximas de emissões de gases de efeito estufa; (c) interseção entre as duas restrições, indicando o espaço seguro de operação.  
Fonte: Os autores.

**Figure 8.** Hypothetical example of restrictions for the agricultural sector. (a) minimum food production to satisfy global demand; (b) upper limits for greenhouse gas emissions; (c) intersection between these two restrictions, indicating the safe operation space.  
Source: The authors.

mal administrados (Dobrovolski & Rattis, 2015). O cenário é ainda mais complexo se considerarmos a precária infraestrutura de distribuição de energia nas fronteiras agrícolas e a incerta disponibilidade de energia na época seca no Brasil. Boa parte desses desafios pode ser resolvida com a autogeração de energia pelos irrigantes. Um cálculo simples usando dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017) e tecnologias disponíveis no mercado indica que 100 ha de área irrigada podem ser providos com energia elétrica gerada por apenas 0,3 a 0,7 ha de placas fotovoltaicas. Entretanto, ainda existem desafios tecnológicos a serem vencidos, como o armazenamento de energia gerada durante o dia ou o armazenamento de água com alta pressão para não exigir bombeamento e pressurização da água durante o período noturno.

#### Interface entre Ciência e Educação Universitária

A educação universitária no Brasil se rege pelo princípio da indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão (Bra-



resources and how much of it can be exploited. State governments, which are responsible for permits and environmental licensing of groundwater resources, usually lack the necessary information for decision making, and end up opting for being cautious, thus denying the permits and the use of the resources.

Public policies that result in a general effort to monitor water resources, both surface and groundwater, will easily pay off through gains in revenue, employment, and taxes collected, that irrigated agriculture would provide.

Although setting up and operating these monitoring networks are not the responsibility of research institutions or research funding agencies, after expanding the network, hydrology and hydrogeology researchers would have a huge demand for research to better understand water resource availability for irrigation in Brazil. They could also assist the federal and state governments in their water resource management activities, and allow for the sustainable expansion of irrigated agriculture in Brazil.

On the other hand, irrigation is an activity that, besides consuming large amounts of water, consumes a lot of energy. Large investments in irrigation can increase the competition for water and energy between producers and urban areas (Lathuilière et al., 2016), and exacerbate conflicts regarding poorly managed resources (Dobrovolski & Rattis, 2015). The situation is even more complex if we consider the precarious energy distribution infrastructure along agricultural frontiers and the irregular energy supply during dry seasons in Brazil. A significant part of these challenges can be solved by irrigators producing their own energy. A simple calculation using data from the Brazilian Atlas of Solar Energy (Pereira et al., 2017), and the technology currently available on the market, shows that 0.3 to 0.7 ha of photovoltaic panels are sufficient to produce enough energy for 100 ha of irrigated land. However, there are still technological challenges to be overcome, such as storage of energy produced during the day or storage of water at high pressure to eliminate the need to pump or pressurize water at night.

#### *Interface between Science and University Education*

The Brazilian university education is underpinned by the principle of the inseparability of teaching, research and extension (Brasil, 1988). This means that universities

are not only large schools where classes are taught and professionals are trained. They also generate new knowledge, through scientific research and transfer this knowledge to society. This can involve training new university professors and researchers, but also updating curricula for their undergraduate and graduate courses, or extension activities, such as lectures, minicourses, training etc.

Despite the transparency of this principle in the Brazilian Carta Magna, the inseparability still does not work optimally in the Brazilian education system. Particularly in terms of Low-Carbon Agriculture, despite the fact that we have had a state policy for 10 years, recently extended for another 10 years through the ABC+ plan, and the urgency of this issue, we still do not have a textbook on carbon-neutral agriculture in Brazil. This subject is briefly mentioned within one of the disciplines of the agrarian sciences courses.

#### *IDENTIFICATION OF GAPS AND PRIORITY RESEARCH TOPICS FOR BRAZIL*

The global food scenario is disorganized: while one in ten people is malnourished, one in four is overweight. Besides, more than one third of the global population cannot afford a healthy diet. The global food supply is frequently interrupted by unpredictable natural phenomena, such as floods and droughts, as well as wars and pandemics etc. The planet is also suffering: the food sector is responsible for 30% of greenhouse gas emissions, and the expansion of arable areas and pastures accounts for two thirds of the loss of forest areas, mainly in tropical countries. Inadequate agricultural practices degrade the soil, pollute water, reduce water availability, and damage biodiversity.

These facts indicate that the global food system needs substantial overhaul, on public and institutional policies, as well as on social, corporate and technological fronts. Science plays a key role in ensuring that these changes are integrated, and collectively deliver the best results. The task is challenging, since "food science" is multidisciplinary, and involves agriculture, health, engineering, environmental and climate science, economics, political sciences, psychology, and digital sciences.

A recent UN study (UN Food Systems Summit 2021) listed seven priorities for science and technology research to eliminate hunger and protect the planet (von Braun et al., 2021):

sil, 1988). Isso implica que as universidades não são apenas grandes escolas onde aulas são ministradas e se formam profissionais. As universidades também devem gerar conhecimento novo, através da pesquisa científica, e transmitir esse conhecimento à sociedade, seja através da formação de novos professores universitários e pesquisadores, mas também através da atualização curricular dos seus cursos de graduação e pós-graduação, e também por meio de atividades de extensão tais como palestras, minicursos, treinamentos etc.

Apesar da clareza desse princípio na Carta Magna brasileira, a indissociabilidade ainda não funciona de maneira ideal no sistema educacional brasileiro. No caso particular da Agricultura de Baixo Carbono, apesar de já termos uma política de Estado há 10 anos, recentemente estendida por mais 10 anos por meio do plano ABC+, e da urgência dessa questão, ainda não temos um livro-texto sobre a agricultura carbono-neutro no Brasil, e o assunto é normalmente mencionado brevemente dentro de uma das disciplinas dos cursos de Ciências Agrárias.

#### *IDENTIFICAÇÃO DE LACUNAS E TEMAS DE PESQUISA PRIORITÁRIOS PARA O BRASIL*

O panorama mundial dos alimentos está em desarranjo: uma em cada dez pessoas é desnutrida, enquanto uma em cada quatro tem sobrepeso. Mais de um terço da população mundial não pode pagar por uma dieta saudável. O fornecimento global de alimentos é frequentemente interrompido por fenômenos erráticos da natureza, como enchentes e secas, além de guerras, pandemias etc. O planeta sofre também: o setor de alimentos é responsável por 30% dos gases de efeito estufa, e a expansão das áreas cultiváveis e pastos responde por dois terços da perda de áreas de florestas, principalmente nos países tropicais. Práticas agrícolas incorretas degradam o solo, poluem e reduzem a disponibilidade de água e prejudicam a biodiversidade.

Esses fatos indicam que o sistema alimentar global precisa de uma reformulação substancial nas políticas públicas e ins-

**O panorama mundial dos alimentos está em desarranjo: uma em cada dez pessoas é desnutrida, enquanto uma em cada quatro tem sobrepeso. Mais de um terço da população mundial não pode pagar por uma dieta saudável.**

titucionais, bem como nas frentes sociais, empresariais e tecnológicas. A ciência exerce um papel importante para garantir que essas mudanças sejam integradas e entreguem coletivamente os melhores resultados. A tarefa é desafiadora, pois a “ciência dos alimentos” é multidisciplinar, envolvendo agricultura, saúde, engenharia, ciência ambiental e do clima, economia, ciência política, psicologia e ciência digital.

**E**m estudo recente da ONU (UN Food Systems Summit 2021), foram listadas sete prioridades de pesquisa científica e tecnológica para eliminar a fome e proteger o planeta (von Braun et al., 2021):

1. Erradicação da fome e dietas mais saudáveis. Para atingir esse objetivo é necessário investir em pesquisas que resultem em aumento na produtividade de alimentos de forma sustentável, reduzindo o desperdício e as perdas nas cadeias de valor, com uso de tecnologias apropriadas como energia solar e baterias que tornem o processamento e conservação dos alimentos mais acessíveis, novas formas de embalagem usando materiais reciclados, revestimentos com nanomateriais e filmes comestíveis para manter os alimentos frescos por mais tempo. Políticas públicas para fortificação de alimentos e estímulo ao consumo de dietas saudáveis são igualmente importantes, por meio de rotulagem educacional dos alimentos, educação e taxação extra de alimentos não saudáveis;

2. Diminuição das vulnerabilidades das cadeias de produção de alimentos. Quanto mais globais, dinâmicos e complexos são os sistemas alimentares, mais expostos estão a novos riscos. Os cientistas precisam melhorar a forma como entendem, analisam, monitoram e comunicam essas vulnerabilidades;

3. Proteção da igualdade e direitos. A pobreza e desigualdades associadas a gênero, etnia e idade restringem o acesso de muitas pessoas a alimentos saudáveis. Os cientistas das áreas social e econômica precisam encontrar caminhos para solucionar arranjos desiguais e injustos so-

bre terra, crédito e trabalho, considerando ainda os direitos das mulheres e jovens;

4. Impulso à biociência. Os cientistas precisam encontrar maneiras de restaurar a saúde do solo e melhorar a eficiência das colheitas, safras e recarbonização do solo e da biosfera. É necessário desenvolver fontes alternativas de proteinas saudáveis, tais como as derivadas de plantas e insetos, bem como técnicas de melhoramento de plantas que capturem nitrogênio do ar para reduzir a necessidade de fertilizantes e melhorar o teor de nutrientes. A produtividade, qualidade e resistência das safras devem ser melhoradas com uso da engenharia genética e biotecnologia. O desenvolvimento de variedades resistentes a condições ambientais adversas pode incrementar a produção agrícola e recuperar áreas degradadas, com mais financiamento à pesquisa para a identificação de espécies resistentes a estresses abióticos e candidatas aptas a melhoramento das espécies domesticadas;

5. Proteção dos recursos naturais existentes. São necessárias ferramentas para auxiliar no uso racional e manejo sustentável do solo, da água e da biodiversidade. Dispositivos digitais e sensoriamento remoto podem rastrear concentrações de carbono e outros nutrientes no solo. Os sistemas de inteligência artificial e drones permitem que os agricultores identifiquem áreas que necessitem de irrigação, fertilização ou proteção contra pragas. Micro-organismos do solo podem ser aproveitados para melhorar a estrutura do solo, o armazenamento de carbono e os rendimentos. A biodiversidade necessita ser protegida, as variedades de sementes devem ser preservadas, e seus fenótipos e genótipos explorados no contexto das mudanças climáticas e nutrição. O conhecimento da composição nutricional de alimentos vegetais oriundos da biodiversidade é necessário para o direcionamento de programas de exploração sustentável destes recursos. A organização de cadeias de produção sustentáveis de produtos de alto va-

1. Eradication of hunger and promotion of healthier diets. To achieve this goal, it is necessary to invest in research that leads to enhanced sustainable food production and reduces waste and loss throughout value chains. Appropriate technology must also be used, such as solar energy and batteries that make food processing and preservation more affordable, new forms of packaging using recycled materials, coatings of nanomaterials and edible films to keep food fresher for longer. Public policies for food fortification and for encouraging the adoption of a healthier diet, through informative food labelling, education, and extra taxes for unhealthy foods, are also important;
2. Reduction of vulnerability of food production chains. The more globalized, dynamic, and complex food systems are, the more exposed they are to new risks. Scientists need to improve how they understand, analyze, monitor, and communicate these vulnerabilities;
3. Protection of equality and rights. Poverty and inequalities associated with gender, ethnicity and age restrict the access to healthy food for many people. Scientists from social and economic areas need to find ways to solve unequal and unjust arrangements for land, credit, and employment, as well as to consider the rights of women and young people;
4. Boost of bioscience. Scientists need to find ways to restore soil health and improve the efficiency of harvests, crops and recarbonization of the soil and the biosphere. It is necessary to develop alternative sources of healthy proteins, such as those derived from plants and insects, as well as techniques to improve breeding techniques of plants that capture nitrogen from the air to reduce the need for fertilizers and increase nutrient content. Productivity, quality, and resistance of crops should be enhanced using genetic engineering and biotechnology. The development of varieties resistant to adverse environmental conditions can increase agricultural production and recover degraded areas, with more funding for research, aiming to identify species resistant to abiotic stresses as well as viable candidates for improving domesticated species;
5. Protection of existing natural resources. Tools to facilitate the rational use and sustainable management of soil, water and biodiversity are necessary. Digital devices and remote sensing technolo-

gies can track carbon concentrations and other nutrients in the soil. Artificial intelligence systems and drones allow farmers to identify areas that require irrigation, fertilization, or protection against pests. Microorganisms in the soil can be exploited to enhance soil structure, carbon storage, and yield. Biodiversity must be protected, seed varieties should be preserved, and their phenotypes and genotypes investigated as to climate change and nutrition. Knowledge about the nutritional composition of plant foods derived from biodiversity is necessary to guide programs for sustainable use of these resources. The organization of sustainable production chains for underexploited high nutritional value products can increase accessibility to healthier food sources;

6. Sustainable aquatic food. Fish, crustaceans, and aquatic plants, such as algae, have much to provide from a nutritional and environmental standpoint, and should be better exploited in the food security context. Resources from oceans, coastal waters and freshwater should be sustainably used and their biodiversity duly protected;
7. Use of digital technology. Robots, sensors, and artificial intelligence are increasingly more common on farms, helping to harvest crops and milk cows, for instance. Sensors can monitor the origin and quality of ingredients and products throughout the food processing chain to minimize losses and ensure food security. To expand the use of technology, there is a need to reduce costs and increase offer.

For Brazil to maintain its leading position in global agricultural production, so as to help mitigate difficulties associated with food security and environmental protection, ongoing investments in science and technology must be made. Science needs to respond to global challenges, so that disruptive approaches do not irreversibly impact humankind.

To feed a growing population, and simultaneously protect the health of the planet, agriculture in the future will have to look beyond the maximization of productivity and arable land. It is necessary to seek truly disruptive approaches, such as growing vegetables on buildings, and tomatoes at sea, which is already done in some countries; or protein laboratories that produce synthetic meat. Encouraging of dissemination of greenhouses in medium to large sized cities, with intensive use of technology, can lead to an in-

terior nutricional, mas pouco explorados, pode ampliar a acessibilidade a uma alimentação mais saudável;

6. Alimentos aquáticos sustentáveis. Peixes, crustáceos e plantas aquáticas, como as algas, têm muito a oferecer do ponto de vista nutricional e ambiental e devem ser mais bem explorados no contexto da segurança alimentar. Recursos vindos de oceanos, águas costeiras e água doce devem ser explorados de forma sustentável e protegidos quanto à biodiversidade;

7. Aproveitamento da tecnologia digital. Robôs, sensores e inteligência artificial são cada vez mais usados em fazendas: para colher safras e ordenhar vacas, por exemplo. Os sensores podem monitorar a origem e a qualidade dos ingredientes e produtos ao longo da cadeia de processamento de alimentos para reduzir perdas e garantir a segurança alimentar. Para ampliar o seu uso, há necessidade de reduzir seu custo e aumentar a oferta.

Para manter a vanguarda brasileira na produção agropecuária mundial, de modo que possa contribuir na mitigação das dificuldades relacionadas com a segurança alimentar e a proteção do meio ambiente, é necessário investimento permanente nas áreas de ciência e tecnologia. Há necessidade de a Ciência responder aos desafios globais, para que abordagens disruptivas não impactem a humanidade de forma irreversível.

Para nutrir uma população crescente e, ao mesmo tempo, proteger a saúde do planeta, a agricultura de amanhã precisa olhar além da maximização da produ-

É necessário explorar as relações entre circularidade, biodiversidade, produção de alimentos e saúde.

tividade e das terras cultiváveis. É necessário buscar abordagens verdadeiramente disruptivas, tais como cultivo de hortaliças em edifícios e tomates no mar, já existente em alguns países, ou laboratórios de proteína que produzem carne sintética. O incentivo à disseminação de estufas em cidades de médio e grande porte, com uso intensivo de tecnologia, pode levar a incremento de produção, especialmente de frutas e hortaliças, redução de gastos logísticos, acesso a alimentos seguros e com qualidade nutricional, fazendo com que o espaço urbano se some de forma significativa ao espaço agrícola.

É necessário explorar as relações entre circularidade, biodiversidade, produção de alimentos e saúde. Inovações emergentes, tais como ferramentas para mensuração do progresso técnico e social, em parceria com o governo, ONGs, investidores e todas as partes interessadas são indispensáveis para o estabelecimento de uma direção rumo ao futuro em sinergia com todos os envolvidos.

Para atender aos desafios descritos, um aspecto de grande relevância é a necessidade de investimento na formação de recursos humanos qualificados, com apoio dos cursos profissionalizantes, ao nível de graduação e pós-graduação.

**AÇÕES PARA FORTALECIMENTO DO SETOR NO PAÍS E SEU IMPACTO SOBRE O CENÁRIO CIENTÍFICO BRASILEIRO**  
As oportunidades e desafios para ações de PD&I em agricultura e segurança alimentar incluem:

- a) Desenvolvimento de pesquisas e reforma curricular visando expandir a produção agropecuária sem aumentar a fronteira agrícola, o que implica uma revolução na maneira de se pensar a agropecuária. Os cursos de Ciências Agrárias devem avançar no seu conteúdo, pensando não apenas nos fazendeiros, mas nas cadeias produtivas e nos órgãos de pesquisa. No entanto, é preciso que os cursos também avancem no conteúdo para esta nova agricultura sustentável do futuro, para superar os rumos da ciência antiga, que não mais atende às necessidades atuais e futuras;
- b) Priorização de pesquisas para desvendar a dinâmica no uso do solo, principalmente o que faz a intensificação em algumas regiões ocorrer mais rapidamente do que em outras, de modo que os resultados dessas pesquisas possam orientar políticas para facilitar a intensificação da agropecuária;
- c) Desenvolvimento de novas variedades genéticas de plantas cultivadas, para encurtar o seu ciclo e manter ou aumentar a sua produtividade, de modo que duas safras possam continuar a ser viáveis numa estação chuvosa mais curta. O fracasso em desenvolver essas variedades pode levar ao abandono do sistema de dupla safra nessas regiões, com forte pressão sobre a extensificação da fronteira agrícola e sobre a segurança alimentar global;
- d) Mapeamento do carbono nos solos para identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala. Há que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono, assim, aumentar o teor de carbono dos nossos solos é uma estratégia com a qual todos ganhariam: solos com mais carbono são mais permeáveis, retêm mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$ . Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo

increase in production, especially for fruits and vegetables, reduction of logistical expenses and access to safe and nutritional food, so that the urban space adds significantly to the agricultural space.

It is necessary to exploit the relationships among circularity, biodiversity, food production, and health. Emerging innovations, such as tools for measuring technical and social progress, in partnership with governments, NGOs, investors, and all stakeholders, is vital to establish a pathway toward the future, in synergy with all those involved.

To meet the challenges outlined, a particularly relevant point is the need for investment in training qualified human resources, supported by professional courses, at undergraduate and graduate levels.

#### STEPS TO STRENGTHEN THE SECTOR IN BRAZIL AND THEIR IMPACT ON THE BRAZILIAN SCIENTIFIC CONTEXT

Opportunities and challenges for RD&I initiatives for agriculture and food security include:

- a) Development of research, and curricular reforms to increase agricultural production without expanding the agricultural frontier, which requires a revolution in our way of thinking agriculture and cattle raising. Agrarian Science courses should further improve their contents, thinking not only about farmers, but also about production chains and research agencies. However, it is also necessary for courses to improve the content for this new sustainable agriculture of the future, to overcome outdated perspectives of an ancient science that no longer meets current and future needs;
- b) Prioritization of research focused on elucidating dynamics of land use, mainly what makes intensification occur more quickly in some regions than in others, so that results of these studies guide policies to facilitate intensification of agriculture;
- c) Development of new genetic varieties of cultivated plants, to shorten their life-cycle and maintain or increase their productivity, so that two crops will remain viable during a shorter rainy season. Failure to develop these varieties could lead to the abandonment of the double harvesting system in these regions, leading to significant pressure on the expansion of the agricultural frontier, and on global food security;
- d) Mapping of carbon in the soil to identify priority regions for reclamation and

searching of soil recovery and conservation strategies that work at large scales. Brazilian soils are very poor in carbon, so that increasing the carbon content of our soils is a strategy that everyone would benefit from: soils with more carbon are more permeable, retain more water, reduce the risks associated with long droughts and, obviously, capture more carbon, which otherwise would return to the atmosphere as  $\text{CO}_2$ . Increasing carbon levels in the soil can both adapt agriculture to climate extremes and help to mitigate climate changes;

- e) Use of natural biodiversity, including macrofauna and flora and microorganisms, to promote the growth and health of agricultural cultivars, as well as to protect against biotic and abiotic stresses deriving from climate change. In this context, an approach at three distinct levels is suggested to engage with the biological dimension of production systems in future research that includes soil, plants, and the associated microbiome.

The transformation of Brazilian agriculture depends not only on scientific research and technological development. The improvement of economic aspects relies on infrastructure investments mainly in Cerrado and Amazonian biomes. Encouraging the modernization of agricultural defense, enhancing rural extension, and implementing adequate risk management and access to credit are also necessary. These are the instruments that, along with an efficient management of agricultural processes, promote production growth through productivity gains.

Continued support from funding bodies, particularly FAPESP, for food security and environment areas has been vital to the development of basic or applied research at the frontiers of knowledge, thus contributing to solving problems and innovating through transference of technology. It has also encouraged educational initiatives and dissemination of knowledge to students and professionals and to the general public, as has been discussed in detail in chapter one of this publication.

FAPESP's funding strategies for short and long-term research to advance knowledge and to train human resources for science and technology - providing scholarships for graduate, post-graduate and post-doctoral students and researchers -, both in Brazil and overseas, have been vital and noteworthy. Joint calls for pro-



tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima e pode mitigar as mudanças climáticas;

e) Aproveitamento da biodiversidade natural, incluindo macrofauna e flora e micro-organismos, para a promoção de crescimento e saúde de cultivos agrícolas, como também proteger contra estresses bióticos e abióticos provenientes das mudanças climáticas. Nesse contexto, uma abordagem em três diferentes níveis é sugerida para abranger a dimensão biológica dos sistemas de produção em pesquisas futuras, que inclua o solo, a planta e o microbioma associado.

**A** transformação da agropecuária brasileira depende não apenas de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico. A melhoria dos aspectos econômicos depende de investimentos em infraestrutura, principalmente nos biomas Cerrado e Amazônia. É necessário ainda promover a modernização da defesa agropecuária, o aprimoramento da extensão rural, a adequada gestão de risco e o acesso ao crédito. São esses instrumentos que, ao lado de uma gestão eficiente dos processos agrícolas, promovem o crescimento da produção por meio de ganhos de produtividade.

O apoio continuado das agências de fomento, particularmente da FAPESP, à área de segurança alimentar e meio ambiente tem sido crucial para o desenvolvimento de pesquisa na fronteira do conhecimento, fundamental ou aplicada, contribuindo para a solução de problemas e inovação por meio de transferência de tecnologia, além de estimular atividades educacionais e de difusão do conhecimento a estudantes e profissionais e para o público em geral, conforme ricamente discutido no capítulo 1 desta publicação.

As estratégias de fomento da FAPESP para pesquisa para o avanço do conhecimento a curto e longo prazos e para a formação de recursos humanos para ciência e tecnologia através da concessão de bolsas para estudantes de graduação e pós-graduação, pós-doutorandos e pesquisadores, no país e no exterior,

têm sido fundamentais e merecedoras de destaque. Os editais conjuntos lançados com instituições de ensino superior e pesquisa, no Brasil e no exterior, para cofinanciamentos têm ampliado a cooperação internacional em pesquisa. O programa Pesquisa em Temas Estratégicos, que visa estimular a formação de grupos de pesquisa sobre temas que promovem o desenvolvimento do estado de São Paulo e do país, incluindo o apoio à modernização dos Institutos de Pesquisa paulistas, abriga projetos de grande envergadura para o setor de alimentos e ambiente. No contexto deste capítulo, multi e transdisciplinar em sua essência, vale destacar o apoio para o Centro de Pesquisa para Alimentos (Food Research Center – FoRC), um dos CEPIDs (Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão) apoiados pela FAPESP, sediado na USP, e para os grandes projetos BIOTA-FAPESP, BIOEN e PFPMCG (Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais). Os objetivos do BIOTA-FAPESP são mapear, catalogar e caracterizar a biodiversidade do estado de São Paulo e definir mecanismos de conservação, restauração e avaliação. O programa PFPMCG engloba projetos de pesquisa que auxiliem na tomada de decisões sobre os impactos do aquecimento global na economia e na sociedade brasileira. Em um edital recente, para criação de Centros de Ciência para o Desenvolvimento (também denominado Núcleos de Pesquisa Orientada a Problemas – NPOP), foram aprovados vários núcleos relacionados à temática alimentos-ambiente, como a Plataforma Biotecnológica Integrada de Ingredientes Saudáveis, liderada pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos, Pescado para a Saúde, liderada pelo Instituto Oceanográfico da USP, BIOTA Síntese (Núcleo de Análise e Síntese de Soluções Baseadas na Natureza), do IEA/USP, e Estratégias biotecnológicas e genómicas para qualidade, produtividade e manejo sustentável de citros, café e cana-de-açúcar no estado de São Paulo, do Instituto Agronômico.

posals launched with higher education and research institutions in Brazil and overseas, offering co-financing, have expanded international cooperation on research. The Research in Strategic Topics program aims to encourage the formation of research groups for areas that promote the development of São Paulo state and Brazil. This includes supporting the modernization of Research Institutes in São Paulo state and hosting important projects for the environmental and food sectors. In the context of this multi- and transdisciplinary chapter, support for the Food Research Center (FoRC), one of the Centers for Research, Innovation and Dissemination (CEPDs) supported by FAPESP, based at USP, and for the large BIOTA-FAPESP, BIOEN and Research for Global Climate Change (PFPMCG) programs, are significant. The objectives of BIOTA-FAPESP are to map, catalogue, and characterize biodiversity of São Paulo state and determine conservation, restoration, and assessment mechanisms. PFPMCG program includes research projects that assist with decision making regarding global warming impacts on the economy and on the Brazilian society. In a recent call for the creation of Science for Development Centers (also named Centers for Research Focused on Problems – NPOP), numerous centers associated with food-environment issues were approved, as the Integrated Biotechnology Platform for Healthy Ingredients, led by the Institute of Food Technology; Fish for Health, led by the Oceanographic Institute of USP; BIOTA Synthesis (Center for Analysis and Synthesis of Solutions Based on Nature) of Institute of Advanced Studies of USP; and Biotechnological and Genomic Strategies for Quality, Productivity and Sustainable Management of Citrus, Coffee and Sugarcane in São Paulo state, of the Agronomy Institute.

Other strategic projects for this topic are the eScience and Data Science projects, which aim to support the consolidation of research groups involved with investigation on algorithms, computer modelling, and data infrastructure with groups of scientists active in other areas of knowledge: from Biology to Social Sciences. The FAPESP program that supports the Modernization of State Research Institutes, which receive support for research and scholarships, complements resources coming from other sources, and provides an improvement of quality, such as for the Institute of Food Technology,

in Campinas, and the Institute of Botany, in São Paulo. Support for research infrastructure including acquisition of equipment for shared use within the scientific community, archives for public access libraries (Faplivros), repair of equipment, museum maintenance, information repository centers, documents and biological collections, and funding allocated for unplanned expenses in research projects are vital resources for effective research development. Rednesp, funded and managed by FAPESP, connects dozens of education and research institutions in São Paulo state with each other and with foreign institutions, based on cooperation with consortia and international academic networks.

FAPESP's established funding activities are also crucial for human resources training, providing scholarships for undergraduate and graduate students, in Brazil and abroad, as well as for research that promotes the development of knowledge in the short and long-terms. The group of research programs aimed at collaboration between companies and universities or research institutions, and on encouraging the development of technological innovation in São Paulo state are noteworthy. These include Research in Partnership for Innovation and Technology (PITE) and Innovative Research in Small Enterprise (PIPE), which have spearheaded numerous initiatives in the food-environment area.

#### DEMONSTRATION OF THE COHERENCE OF THE PROPOSED ACTIONS WITH UN SDGS

With less than 10 years to go until the 2030 deadline to achieve the UN Sustainable Development Goals (SDGs), governments must intensify their efforts to meet the environmental and global food security targets (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Ensuring food security and a healthy diet for a growing global population will continue to be a challenge. Global demand for agricultural commodities –, including for use as food, animal feed, biofuels, and industrial supplies – should grow by 1.2% per year over the next decade, a slower yearly rate than in the previous decade.

The new model for food production development for tropical agriculture should be a high-intensity production, with two or more crops per year, high productiv-

Outros projetos estratégicos para a temática em questão são os projetos eScience e Data Science, que objetivam apoiar a integração de grupos de pesquisa envolvidos com investigações sobre algoritmos, modelagem computacional e infraestrutura de dados com grupos de cientistas envolvidos em outras áreas do conhecimento, da Biologia às Ciências Sociais. O programa FAPESP de apoio para Modernização dos Institutos Estaduais de Pesquisa, que recebem auxílios à pesquisa e bolsas, complementa recursos vindos de outras fontes e confere um salto de qualidade, como aconteceu com o Instituto de Tecnologia de Alimentos, em Campinas, e com o Instituto de Botânica, em São Paulo. O apoio à infraestrutura de pesquisa, através da aquisição de equipamentos para uso compartilhado pela comunidade científica e acervos para bibliotecas de acesso público (Faplivros), reparo de equipamentos e manutenção de museus, centros depositários de informações, documentos e coleções biológicas e reservas técnicas para despesas não previstas nos projetos de pesquisa, são benesses indispensáveis para o bom andamento das pesquisas. A Rednesp, financiada e gerenciada pela FAPESP, conecta dezenas de instituições de educação e pesquisa do estado de São Paulo, entre elas e com o exterior, a partir da cooperação com consórcios e redes acadêmicas internacionais.

Cruciais também são as atividades convencionais de fomento da FAPESP, para formação de recursos humanos, pela concessão de bolsas para estudantes de graduação e pós-graduação, no país e no exterior, e para pesquisa que promova o avanço do conhecimento a curto e longo prazos. Merece destaque o conjunto de programas de pesquisa voltados à colaboração entre empresas e universidades ou institutos de pesquisa e ao estímulo ao desenvolvimento da inovação tecnológica no estado de São Paulo, como PITE (Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica) e PIPE (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas), que têm contemplado várias iniciativas na área de alimentos-ambiente.

É necessário ainda promover a modernização da defesa agropecuária, o aprimoramento da extensão rural, a adequada gestão de risco e o acesso ao crédito.

## DEMONSTRAÇÃO DA COERÊNCIA DAS AÇÕES PROPOSTAS COM OS ODS/ONU

Faltando menos de 10 anos até o prazo de 2030 para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS), os governos precisam intensificar seus esforços para cumprir as metas ambientais e de segurança alimentar global (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Garantir a segurança alimentar e dietas saudáveis para uma crescente população global continuará sendo um desafio. A demanda global por commodities agrícolas – inclusive para uso como alimentos, rações, biocombustível e insumos industriais – deve crescer 1,2% ao ano na próxima década, a uma taxa anual mais lenta do que na década anterior.

O novo modelo de desenvolvimento da produção de alimentos para a agricultura tropical deverá ser um modelo altamente intensivo de produção, com duas ou mais safras ao ano, alta produtividade, efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e um estrito controle sobre o uso de recursos como água e energia, com forte produção de energia renovável em nível de fazenda. Esse modelo atende diretamente aos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU:

- ODS 2. Fome zero e agricultura sustentável. Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Este é o objetivo central das ações propostas: permitir que o Brasil contribua para a segurança alimentar global, ao mesmo tempo em que transforma a sua agricultura em sustentável, de modo que a capacidade das próximas gerações em produzir alimentos não seja prejudicada;
- ODS 8. Trabalho decente e crescimento econômico. Promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos. A produção intensiva, com várias safras anuais, promove
- o trabalho contínuo no campo, transformando trabalhadores safristas em celestistas, promovendo renda contínua e segurança social;
- ODS 13. Ação contra a mudança global do clima. Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. Este é outro objetivo principal das ações propostas. Transformar a agricultura brasileira em carbono neutra, com zero desmatamento, recuperação de áreas degradadas de baixa produtividade e sequestro de carbono no solo;
- ODS 15. Vida terrestre. Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e revertir a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade. Também incluída na proposta, na forma de desmatamento zero, a recuperação de recursos naturais, a preservação e a utilização sustentável da riqueza ambiental do país.

### VISÃO PARA O FUTURO

O Brasil é uma região de megabiodiversidade. O agronegócio ocupa percentagem significativa da matriz econômica (PIB) para a geração de riqueza e renda e a sinergia da conservação e a utilização sustentável da biodiversidade, que inclui os recursos hídricos, disponibilidade de água, recursos genéticos, conservação do solo, estabilidade climática, reciclagem de nutrientes, entre outros fatores físicos e químicos, são essenciais para o contínuo sucesso do agronegócio.

A estrutura agrícola brasileira dos diferentes segmentos de renda agrícola e sua correlação indicam a urgente necessidade e oportunidade para estabelecer uma nova configuração e equalização visando a intensificação sustentável da produção de alimentos, conservação da biodiversidade e efetiva redução da desigualdade. A desigualdade no país só será reduzida se houver tecnologia combinada com saúde humana, educação de alta qualidade, se-

ity, effective environmental protection, economic sustainability of the production chain, enhanced quality of life of rural residents, and strict control of the use of water and energy resources, with widespread production of renewable energy at the farm level. This model directly meets the directives of the following UN Sustainable Development Goals:

- SDG 2. Zero hunger and sustainable agriculture. Eradicate hunger, achieve food security, improve nutrition, and promote sustainable agriculture. This is the main objective of the proposed actions: allow Brazil to contribute to global food security, while making its agriculture sustainable, so that the capacity for food production of future generations is not harmed;
- SDG 8. Decent work and economic growth. Promote inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment, and decent work for all. Intensive production, with numerous crops per year, promotes continuous work in the field, transforming seasonal workers into CLT (Consolidation of Work Laws, instrument that regulates work and employment in Brazil) workers, promoting continuous income and social security;
- SDG 13. Action against global climate change. Adopt urgent measures to combat climate change and its impacts. This is another main objective of the actions proposed: make Brazilian agriculture a carbon neutral activity, with zero deforestation, recovery of low-productivity degraded areas, and implementation of carbon capture in the soil;
- SDG 15. Life on land. Protect, restore, and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, stop and reverse land degradation, and halt biodiversity loss. Also included in the proposal, in the form of zero deforestation, are the restoration of natural resources, the preservation and sustainable use of the country's environmental wealth.

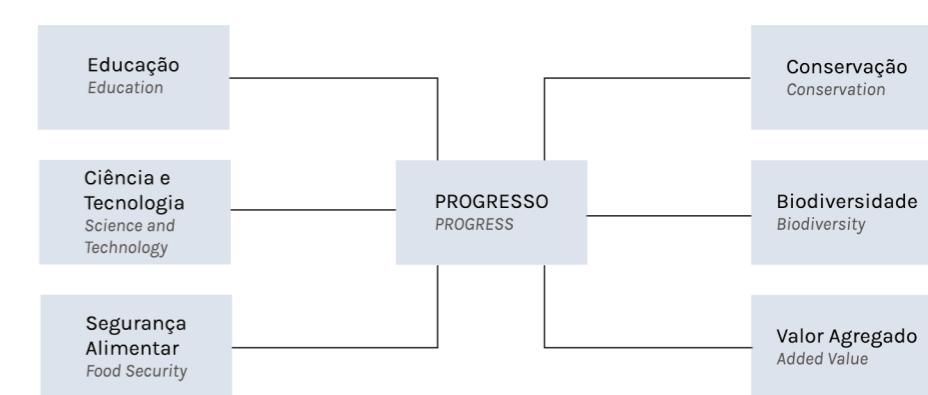
### VISION FOR THE FUTURE

Brazil is a mega-biodiversity region. Agribusiness occupies a significant percentage of its economic matrix (GDP) for wealth and income generation. The synergy of conservation and sustainable use of biodiversity, which includes water resources, water availability, genetic resources, soil conservation, climate

stability, and nutrient recycling, among other physical and chemical factors, are vital for the continued success of agribusiness.

The Brazilian agricultural structure of the different segments of agricultural income and their correlation indicates an urgent need and opportunity to establish a new configuration and balance, aiming at sustainable intensification of food production, biodiversity conservation and effective reduction of inequalities. Inequality in the country will only be reduced if there is technology combined with human health, high quality education, food security, environment, and market added value (Figure 9).

General support mechanisms should include: enhanced operational synergies between the north-southeast-west in the country; long-term funded bottom-up science and technology consortia; active networking tools; education, training, and schools with well trained teachers; dissemination of knowledge; high-risk support programs; innovative and emerging research topics, with clear objectives, definitions and deliverables; intensification of multi and interdisciplinary scientific and technological research; significant involvement by the next generation of young researchers; intensification of technological and scientific research for peaceful purposes and for the public good; establishment of research consortia that work collaboratively, from the laboratory to the market; encouraging knowledge exchange; new cooperative research and new communication strategies.



**Figura 9.** Equalização de componentes para o desenvolvimento progressivo.  
Fonte: Os autores.

Figure 9. Balance of components for progressive development.  
Source: The authors.

gurança alimentar, meio ambiente e valor agregado de mercado (Figura 9).

Os mecanismos gerais de apoio incluem: aumento das sinergias operacionais entre o norte-sudeste-oeste no país; consórcios de ciência e tecnologia ascendentes financiados a longo prazo; ferramentas ativas de rede; educação, treinamento, escolas com professores preparados; disseminação de conhecimento; programas de apoio de alto risco; temas de pesquisa inovadores e emergentes, com objetivos claros, defini-

ções e entregas; intensificação da pesquisa científica e tecnológica multidisciplinar e interdisciplinar; significativo envolvimento da próxima geração de jovens pesquisadores; intensificação de pesquisa científica e tecnológica para fins pacíficos e do interesse público; estabelecimento de consórcios de pesquisa que operem conjuntamente, do laboratório ao mercado; promoção do intercâmbio de conhecimento; nova pesquisa conjunta e novas estratégias de comunicação.

### REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Associação Brasileira da Indústria de Alimentos – ABIA. (2021). Indústria lança site trilíngue para mostrar ações de sustentabilidade adotadas pelo setor produtivo do país. ABIA. <https://www.abia.org.br/noticias/industria-lanca-site-trilingue-para-mostrar-acoes-de-sustentabilidade-adotadas-pelo-setor-produtivo-do-pais>.
- Brasil. (1988). Constituição Federal de 1988 (Artigo 207). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10650167/artigo-207-da-constituicao-federal-de-1988>.
- Buainain, A. M., Favareto, A., Contini, E., Chaves, F. T., Henz, G. P., Garcia, J. R., Damiani, O., Vieira, Junior, P. A., Grundling, R. D. P., & Nogueira, V. G. C. (2020). Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros (69 p.). EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125300/desafios-para-agricultura-nos-biomas-brasileiros>.
- Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., & Manners, J. M. (2018). The science of food security. *Science of Food*, 2, 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>.
- Dias, L. C. P., Pimenta, F. M., Santos, A. B., Costa, M. H., & Ladle, R. J. (2016). Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. *Global Change Biology*, 22(8), 2887-2903. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13314>.
- Dobrovolski, R., & Rattis, L. (2015). Water collapse in Brazil: The danger of relying on what you neglect. *Natureza & Conservação: Brazilian Journal of Nature Conservation*, 13, 80-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.03.006>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2002). Chapter 2. Food security: concepts and measurement. FAO. <https://www.fao.org/3/y4671e/y4671e06.htm#fn21>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2021). World Food and Agriculture

- Statistical Yearbook 2021. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>.
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P. A., Dickinson, R. E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., & Myneni, R. B. (2013). Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(45), 18110-18115. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1302584110>.
- Grupo de Inteligência Territorial Estratégica – GITE. (2017). Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura – Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/>.
- Lathuilière, M. J., Coe, M. T., & Johnson, M. S. (2016). A review of green- and blue-water resources and their trade-offs for future agricultural production in the Amazon Basin: What could irrigated agriculture mean for Amazonia? *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 2179-2194. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-20-2179-2016>.
- Leite, V. P., Debone, D., & Miraglia, S. G. E. K. (2020). Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: Análise do setor de transportes e impactos na saúde. VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde, 32(3), 143-153. <https://doi.org/10.14295/vittalle.v32i3.12220>.
- Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária – MAPA. Agrostat - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. (2022). Indicadores Gerais Agrostat. MAPA. <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2017). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026*. OECD Publishing. [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2017-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en).
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Rüther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., & Souza, J. G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (2. ed., 80 p.). INPE. <http://doi.org/10.34024/978851700089>.
- Pinto, C. S., Bidarte, M. V. D., Silinske, J., & Cipolat, C. (2016). Pegada ecológica: Uma análise com alunos de graduação da Universidade Federal do Pampa, Campus Sant'Ana do Livramento. *Revista Espacios*, 37(25), E-3.
- Pires, G. F., Abrahão, G. M., Brumatti, L. M., Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Liddicoat, S., Kato, E., & Ladle, R. J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-229, 286-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>.
- Rattis, L., Brando, P. M., Macedo, M. N., Spera, S. A., Castanho, A. D. A., Marques, E. Q., Costa, N. Q., Silverio, D. V., & Coe, M. T. (2021). Climatic limit for agriculture in Brazil. *Nature Climate Change*, 11, 1098-1104. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-021-01214-3>.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One*, 8(6), e66428. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>.
- Strassburg, B. B. N., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., da Silva, V. P., Valentim, J. F., Vianna, M., & Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, 28, 84-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.
- United States Department of Agriculture – USDA. (2017). Agricultural Projections to 2026. Long-term Projections Report No. OCE-2017-1. USDA. <https://www.ers.usda.gov/publications/public-details/?pubid=82538>.
- von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L. O., & Hassan, M. (2021). Food systems: Seven priorities to end hunger and protect the planet. *Nature*, 597, 28-30. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-021-02331-x>.