



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
ESCOLA DE DIREITO, NEGÓCIOS E COMUNICAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO  
TERRITORIAL

MARINI MIRELLI CAMARGO TEIXEIRA

BIOECONOMIA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM GOIÁS: POSSIBILIDADES  
PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL MAIS INTENSIVA EM VALOR E  
CONHECIMENTO

GOIÂNIA  
2023

MARINI MIRELLI CAMARGO TEIXEIRA

BIOECONOMIA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM GOIÁS: POSSIBILIDADES  
PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL MAIS INTENSIVA EM VALOR E  
CONHECIMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte de Castro

GOIÂNIA  
2023

MARINI MIRELLI CAMARGO TEIXEIRA

**BIOECONOMIA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM GOIÁS: POSSIBILIDADES  
PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL MAIS INTENSIVA EM VALOR E  
CONHECIMENTO**

Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, defendida e aprovada em 05 de julho de 2023 pela Banca Examinadora constituída pelo(as) professor(as):

SERGIO DUARTE DE CASTRO:195733591  
20

Assinado de forma digital  
por SERGIO DUARTE DE  
CASTRO:19573359120  
Dados: 2023.07.05  
15:17:50 -03'00'

---

***Dr. Sérgio Duarte de Castro***  
Orientador / PUC Goiás

Documento assinado digitalmente  
 CINTIA NEVES GODOI  
Data: 27/09/2023 08:29:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

***Dra. Cintia Neves Godoi***  
Examinadora externa / UNIALFA

Documento assinado digitalmente  
 PEDRO ARAUJO PIETRAFESA  
Data: 26/09/2023 15:46:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

***Dr. Pedro Araújo Pietrafesa***  
Examinador interno - PUC Goiás

Catálogo na Fonte - Sistema de Bibliotecas da PUC Goiás

T266b Teixeira, Marini Mirelli Camargo  
Bioeconomia da cana-de-açúcar em Goiás : possibilidades para produção sustentável mais intensiva em valor e conhecimento / Marini Mirelli Camargo Teixeira.-- 2023.  
107 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês.  
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte de C.astro.  
Dissertação (mestrado) -- Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Escola de Direito, Negócios e Comunicação, Goiânia, 2023.  
Inclui referências: f. 95-105.

1. Cana-de-açúcar. 2. Agroindústria canavieira. 3. Sustentabilidade. 4. Biotecnologia agrícola. I. Castro, Sérgio Duarte de. II. Pontifícia Universidade Católica de Goiás - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Planejamento Territorial - 05/07/2023. III. Título.

CDU: 633.61:631.145(043)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar este momento para expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão desta dissertação. Primeiramente, sou imensamente grata ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Castro, pela orientação excepcional, dedicação e paciência ao longo de todo o processo de pesquisa. Suas valiosas contribuições, insights e orientações foram fundamentais para moldar esta dissertação e expandir minha compreensão do tema. Sua disponibilidade constante e apoio inabalável foram verdadeiramente inspiradores.

Não poderia deixar de mencionar minha família e amigos, que estiveram ao meu lado durante todo o processo. Agradeço por seu amor, incentivo e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar intensamente a esta pesquisa. Suas palavras de encorajamento e apoio incondicional foram fundamentais para minha perseverança.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todas as instituições que forneceram recursos e financiamento para a realização deste trabalho. Agradeço à Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás- FAPEG, pelo suporte financeiro concedido, que permitiu a execução desta pesquisa e a obtenção de resultados relevantes.

Mais uma vez, gostaria de estender meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o sucesso desta dissertação. Seu apoio e envolvimento foram cruciais e sou imensamente grata por sua presença em minha jornada acadêmica.

## RESUMO

Esse trabalho analisa o potencial do sistema produtivo e inovativo da cana-de-açúcar (SPIS), no Brasil e em Goiás, de avançar em termos de sustentabilidade e maior agregação de conhecimento e valor à produção, bem como de contribuir para o desenvolvimento das regiões produtoras. Utiliza metodologia qualitativa, baseando-se em pesquisa bibliográfica e documental. Conclui que o SPIS no Brasil e em Goiás revela elevado potencial tanto para se tornar mais sustentável e intensivo em conhecimento e valor, como para transformar os territórios onde se desenvolve. Contudo, a realização desse potencial depende da superação de um conjunto de entraves conjunturais e estruturais que, por sua vez, dependem de políticas públicas ativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sucroalcooleiro. Sistema Produtivo e Inovativo. Inovação. Sustentabilidade. Goiás.

## ABSTRAT

This work analyzes the potential of the productive and innovative sugarcane system (SPIS), in Brazil and Goiás, to advance in terms of sustainability and greater aggregation of knowledge and value to production, as well as to contribute to the development of producing regions. It uses qualitative methodology, based on bibliographical and documental research. It concludes that SPIS in Brazil and Goiás reveals high potential both to become more sustainable and intensive in knowledge and value, and to transform the territories where it is developed. However, realizing this potential depends on overcoming a set of conjunctural and structural obstacles that, in turn, depend on active public policies.

**KEYWORDS:** Sugar and alcohol. Productive and Innovative System. Innovation. Sustainability. Goiás.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de estabelecimentos e produção de cana de açúcar por tipo de propriedade, Brasil (2017).....	30
Tabela 2 - Produção de cana de açúcar no Brasil por grupos de área total (2017).....	30
Tabela 3 - Cinco principais países produtores de cana de açúcar no mundo (2020).....	31
Tabela 4- Área colhida, produtividade e produção de cana de açúcar no Brasil por Macrorregião (2020).....	31
Tabela 5 - Dez principais estados produtores de cana de açúcar: área colhida, produção e produtividade (2022).....	32
Tabela 6 - Número de usinas sucroenergéticas por estado (2023) .....	36
Tabela 7 - Produção de etanol e açúcar, principais estados e regiões produtoras (2020/2021).....	36
Tabela 8 - Contratações de crédito do BNDES por segmento. Operações diretas e indiretas não automáticas (2011-2022) .....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura de evidências.....	19
Quadro 2 - Dez maiores grupos sucroalcooleiros - Brasil (safra 2020/2021).....	35
Quadro 3 - Principais desafios tecnológicos do SPIS para a produção mais eficiente e sustentável .....	59
Quadro 4 - AGtechs Goiás (2023).....	70
Quadro 5 - Empresas que tiveram projetos aprovados no PAISS* (2011-2015).....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema produtivo e inovativo .....	13
Figura 2 - Esquema Analítico.....	18
Figura 3 - Expansão espacial da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil entre os anos de 1980 e 2019 .....	25
Figura 4 - Área plantada de cana-de-açúcar em Goiás 1988-2021 (em mil ha).....	26
Figura 5 - Subsistema produtivo e inovativo do SPIS.....	28
Figura 6 - Participação das distribuidoras nas vendas nacionais de etanol hidratado. Brasil, 2020.....	37
Figura 7 - Estrutura da indústria de rede de eletricidade .....	39
Figura 8 – Participação de mercado na distribuição de energia elétrica. Brasil (2017)	39
Figura 9 - Subsistema de Capacitação e P&D do SPIS .....	45
Figura 10 - Subsistema de representação e promoção do SPIS .....	52
Figura 11 - Organizações federais de promoção e regulação ao SPIS .....	55
Figura 12 - BNDES: Valor operações não-automáticas do setor sucroalcooleiro. Brasil e Goiás (2011-2022).....	62
Figura 13 - Número de usinas de etanol certificadas no RenovaBio por estado (2023) .....	65
Figura 14 - Salários médios na agricultura, na cultura de cana de açúcar e na fabricação de álcool e açúcar. Brasil e Goiás (2021).....	65
Figura 15 - Salários médios no cultivo de cana-de-açúcar e na fabricação de álcool e açúcar nos principais estados produtores (2021).....	66
Figura 16 - AGtechs por categoria e ano de fundação. Brasil (1985-2022) .....	68
Figura 17 - Percentual de AGtechs por estado (2017) .....	70
Figura 18- Volume de investimento e número de deals em Agtechs por ano. Brasil (2009-2022*).....	71
Figura 19 - Ecossistema de inovação agrícola brasileiro.....	72
Figura 20 - Principais produtos produzidos a partir da cana-de-açúcar .....	73
Figura 21 - Exportações brasileira de cachaça por país de destino (2021) .....	76
Figura 22 - Açúcar mascavo e rapadurinha à venda no Mercado Livre (fev. 2023).....	77
Figura 23 - Monômeros e polímeros de base fóssil e biológica e suas aplicações. ....	81
Figura 24 - Capacidade global e produção de bioplásticos .....	82
Figura 25 - Produção global de bioplásticos, por tipo (2022 e 2027*).....	83
Figura 26 - Biopolímeros: fontes e rotas tecnológicas (2013).....	84

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>1 BASES CONCEITUAIS E EVOLUÇÃO DA ATIVIDADE SUCROALCOOLEIRA NO BRASIL E EM GOIAS</b> .....	11
<b>1.1 Bases Conceituais</b> .....	11
1.1.1 Sistemas de inovação.....	11
1.1.2 Inovação, agregação de valor e sustentabilidade .....	14
1.1.3 Bioeconomia e desenvolvimento sustentável .....	15
<b>1.2 Procedimentos Metodológicos</b> .....	17
<b>1.3 Evolução da Atividade Sucroalcooleira no Brasil</b> .....	21
<b>1.4 Evolução da Atividade Sucroalcooleira em Goiás</b> .....	25
<b>2 ESTRUTURA DO SISTEMA PRODUTIVO E INOVATIVO SUCROALCOOLEIRO (SPIS)</b> .....	28
<b>2.1 Subsistema de Produção e Inovação</b> .....	28
2.1.1 Agricultura da Cana de Açúcar .....	29
2.1.2 Usinas sucroalcooleiras .....	32
2.1.3 Distribuição .....	37
2.1.4 Insumos .....	40
2.1.5 Máquinas e Equipamentos .....	43
<b>2.2 Subsistema de Capacitação e P&amp;D</b> .....	45
<b>2.3 Subsistema de Representação e Promoção</b> .....	52
<b>2.4 Subsistema de Financiamento</b> .....	56
<b>3 POTENCIALIDADES DO SPIS</b> .....	58
<b>3.1 Produção mais eficiente e sustentável</b> .....	58
3.1.1 Investimentos com recursos do BNDES .....	60
3.1.2 RENOVABIO e os CBIOs .....	63
3.1.3 Desempenho social das usinas no Brasil e em Goiás .....	65
3.1.4 Expansão das AGtechs .....	67
<b>3.2 Potencial de Diversificação para Agregação de Valor</b> .....	72
3.2.1 Potencial dos produtos tradicionais .....	73
3.2.2 Potencial dos produtos de tecnologia madura .....	78
3.2.3 Potencial na fronteira tecnológica.....	80
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	92
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	95

## INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental tem conduzido à busca por alternativas aos produtos derivados de combustíveis fósseis, o que tem estimulado o crescimento da bioeconomia, uma economia baseada em recursos biológicos e renováveis. A União Europeia define bioeconomia como "a produção de recursos biológicos renováveis e a conversão desses recursos e seus fluxos de resíduos em produtos de valor agregado" (UE, 2017, p.).

Ademais, os avanços científicos e tecnológicos no campo da biologia sintética e da biotecnologia, e sua integração com a informática, a nanotecnologia, o bigdata e a inteligência artificial, vem aumentando a eficiência e ampliando o potencial de utilização dos recursos biológicos renováveis, com a abertura de um novo e amplo campo de biomateriais.

A bioeconomia da cana-de-açúcar é particularmente promissora nesse contexto. A cana é uma rica fonte de biomassa e uma matéria-prima versátil, que é base para desde produtos artesanais tradicionais, combustíveis e energias renováveis, e diferentes intermediários da química verde, até um sem-número de novos bioprodutos. Os desafios tecnológicos e as oportunidades de diversificação de produção, busca de novos usos e exploração de novos produtos, decorrentes da expansão dessa bioeconomia, induzem investimentos que se autoalimentam.

Além disso, todo o sistema produtivo estruturado a partir da cana-de-açúcar, a começar por sua produção agrícola, está pressionado a buscar processos mais eficientes e sustentáveis. Essa busca impulsiona, igualmente, a geração de conhecimento e inovação, bem como investimentos para utilização mais eficiente de terra e água, substituição de fertilizantes e defensivos de base fóssil por bioprodutos, aproveitamento inteligente e integral de resíduos, processos industriais sustentáveis e vários outros itens da chamada agenda ASG (Ambiente, Social e Governança).

Os esforços tecnológicos e investimentos desses dois campos se interpenetram e são complementares, podendo gerar círculos virtuosos de desenvolvimento. O Brasil é o primeiro produtor mundial de açúcar, o segundo

de etanol e o primeiro de bioeletricidade, com uma longa curva de aprendizado no segmento, possuindo fortes vantagens competitivas e, ao mesmo tempo, importantes desafios para exploração desse potencial. O mesmo acontece com Goiás que, apesar de ter uma história muito mais recente no segmento, já se destaca em vários indicadores nesse campo.

O objetivo dessa dissertação é analisar o potencial do sistema produtivo e inovativo da cana-de-açúcar (SPIS), no Brasil e em Goiás, de avançar em termos de sustentabilidade e maior agregação de conhecimento e valor à produção, bem como de contribuir para o desenvolvimento das regiões produtoras. Seus objetivos específicos são: apresentar e discutir a estrutura do SPIS em suas diversas dimensões; identificar seus principais desafios produtivos e tecnológicos; analisar o potencial de conversão dos desafios em oportunidades para o avanço do sistema.

A dissertação está organizada em três capítulos, além dessa introdução. No primeiro apresenta-se as bases conceituais, os procedimentos metodológicos e uma breve história da evolução da atividade sucroenergética no Brasil e em Goiás. O segundo revela a estrutura do sistema produtivo e inovativo sucroalcooleiro (SPIS), discutindo cada um de seus subsegmentos. No terceiro, discute-se as potencialidades e desafios para o SPIS avançar em termos de sustentabilidade e agregação de valor, além de promover desenvolvimento territorial. Por fim, nas considerações finais, retoma-se as principais conclusões do trabalho.

# 1 BASES CONCEITUAIS E EVOLUÇÃO DA ATIVIDADE SUCROALCOOLEIRA NO BRASIL E EM GOIAS

## 1.1 Bases Conceituais

### 1.1.1 Sistemas de inovação

O conceito de sistemas de inovação (SI) tem sua origem na literatura evolucionista neoschumpeteriana, que trata da natureza e dinâmica da mudança técnica, partindo de uma abordagem que, diferentemente do *mainstream*, entende a inovação não como um movimento linear, mas como um processo de aprendizagem cumulativo, configurado institucionalmente, específico e localizado (CASSIOLATO e LASTRES, 2005). Essa abordagem tem suas raízes nas teorias de Joseph Schumpeter e na economia evolucionária, propondo uma visão sistêmica para o entendimento das dinâmicas de inovação e crescimento econômico (FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993)

Joseph Schumpeter foi um economista austríaco que se destacou por suas contribuições ao estudo do desenvolvimento econômico e da inovação. Em sua obra "Capitalismo, Socialismo e Democracia" (1942), Schumpeter apresenta o conceito de "destruição criativa", que descreve o processo pelo qual inovações tecnológicas, organizacionais ou de mercado geram crescimento econômico, destruindo ao mesmo tempo estruturas e modelos de negócios existentes (SCHUMPETER, 1942).

A economia evolucionária é um ramo da economia que busca explicar as mudanças tecnológicas e econômicas por meio de processos de variação, seleção e retenção (NELSON; WINTER, 1982). Essa abordagem se inspira na teoria da evolução de Charles Darwin, aplicando-a ao estudo das transformações nas instituições, nas firmas e nos sistemas tecnológicos. A economia evolucionária enfatiza o papel central da inovação e do aprendizado no desenvolvimento econômico (METCALFE, 1998).

O conceito tem suas origens nas pesquisas de Christopher Freeman (1987), Bengt-Åke Lundvall (1992) e Richard Nelson (1993), que formularam a noção de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), buscando entender os processos de inovação e desenvolvimento tecnológico dos diferentes países em uma perspectiva sistêmica. De acordo com essa abordagem, os Sistemas de

Inovação são constituídos por um conjunto de agentes, instituições e relações que interagem na produção, difusão e uso de conhecimentos e tecnologias (EDQUIST, 2005). O conceito de SNI enfatiza a interação desses atores no espaço nacional, destacando que a configuração institucional específica de cada país influencia decisivamente sua dinâmica produtiva e inovativa.

Entretanto, a abordagem dos SI não tem propriamente um status de “teoria”, sendo um “conceptual framework” (Edquist 1997, p.29) ou, como sugere Lundvall (2007, p.20), um “analytical focusing device [that] offer a broad and flexible framework for organizing and interpreting case studies and comparative analyses”. Assim, permite ser utilizado em diferentes recortes, com em escalas espaciais e produtivas diversas<sup>1</sup>, tendo em vista seus objetos de estudo concretos. Sua base comum é o enfoque sistêmico, com o reconhecimento do caráter interativo, específico, localizado, social e institucionalmente inserido das atividades produtivas e inovativas.

Nesse trabalho, será adotado um recorte inspirado na noção de Sistemas de Inovação Tecnológicos Específicos (SITE), proposto por Hekkert et al (2007)<sup>2</sup>, cuja base não é o contorno espacial ou setorial, mas de uma tecnologia ou produtos específicos. Trata-se de um recorte adequado para se entender sistemas produtivos que articulam diferentes setores econômicos e industriais em torno de um produto, ou família de produtos, que possuem uma base tecnológica comum, como é o caso do sistema produtivo sucroalcooleiro.

Cassiolato et al (2013) propõem um esquema representativo nessa perspectiva, considerando subsistemas múltiplos e interconectados. No centro, encontra-se o subsistema de produção e inovação, com a estrutura das atividades econômicas recortadas a partir das tecnologias chave ou dos espaços tecnológicos dos produtos chave que dão personalidade ao sistema (setores, estruturas de mercado, complementaridades, perfil inovativo). No seu entorno os subsistemas: de P&D e capacitação (universidades, centros de P&D, organizações de patentes, metrologia, engenheiros e outros); de promoção e representação (agências governamentais, entidades empresariais etc); de financiamento (bancos, mercado de capitais etc); Esses subsistemas interagem,

---

<sup>1</sup> Como os Regional Innovation Systems (Saxenian 1994; Cooke 2000) e Local Innovation Systems (Cassiolato & Lastres, ; Mytelka, 2000). Ou ainda, os Sectoral Systems of Production and Innovation (Breschi e Malerba 1997) e Social Systems of Production and Innovation (Amable & Petit, 2001).

<sup>2</sup> Baseado na noção de Sistemas tecnológicos de *Carlsson and Stankiewicz (1991)*.

em uma perspectiva coevolucionária, entre si e com o ambiente geopolítico, cultural, social, político e econômico nos territórios em que operam (Figura 1).



Figura 1 – Sistema produtivo e inovativo  
Fonte: Adaptado de Cassiolato e Lastres, s.d.

Essa visão tem implicações importantes para o desenho e implementação de políticas públicas. Ao reconhecer a importância das interações e do aprendizado no processo de inovação, essa perspectiva sugere que as políticas públicas devem promover a cooperação entre os diferentes atores do sistema e estimular a geração e difusão de conhecimentos (BRESCHI; MALERBA, 1997). Algumas das principais políticas públicas relacionadas aos Sistemas de Inovação incluem: investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), fomento à colaboração entre empresas e instituições de pesquisa, incentivos fiscais para inovação, formação de recursos humanos qualificados e promoção de redes de cooperação e aprendizado (EDQUIST; JOHNSON, 1997)

Para as empresas, a abordagem dos Sistemas de Inovação de base evolucionista neoschumpeteriana implica na necessidade de desenvolver estratégias que promovam a inovação e o aprendizado contínuo. Nesse contexto, as empresas devem investir em P&D, estabelecer parcerias com outras organizações (incluindo universidades e institutos de pesquisa) e promover a criação e difusão de conhecimentos dentro e fora da organização

Além disso, as empresas devem estar atentas às oportunidades e ameaças que emergem no ambiente de inovação, adaptando-se às mudanças

tecnológicas e de mercado por meio de processos de inovação contínua e destruição criativa (SCHUMPETER, 1942).

### **1.1.2 Inovação, agregação de valor e sustentabilidade**

A crescente preocupação com os desafios ambientais tem levado à busca por soluções inovadoras que promovam a sustentabilidade e agreguem valor aos processos produtivos. Nesse contexto, a abordagem dos Sistemas de Inovação de base evolucionista neoschumpeteriana (FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993) oferece um referencial teórico importante para compreender como a inovação pode contribuir para o enfrentamento dos desafios ambientais e promover o desenvolvimento econômico.

A relação entre inovação e sustentabilidade tem sido objeto de crescente interesse no campo da economia e gestão da inovação. Inovações sustentáveis podem ser entendidas como aquelas que contribuem para a redução dos impactos ambientais e promovem a utilização eficiente de recursos naturais (SCHALTEGGER; WAGNER, 2011). Nesse sentido, a abordagem dos Sistemas de Inovação de base evolucionista neoschumpeteriana enfatiza a importância das interações e do aprendizado no processo de inovação sustentável (LUNDVALL, 2007).

A agregação de valor é um processo pelo qual as empresas buscam aumentar o valor percebido de seus produtos e serviços, melhorando a qualidade, o desempenho e a eficiência dos processos produtivos (PORTER, 1985). A incorporação da sustentabilidade nesse processo pode gerar oportunidades para a criação de novos mercados e a diferenciação competitiva das empresas. Além disso, a inovação sustentável pode contribuir para a redução de custos e riscos associados à utilização de recursos naturais e ao cumprimento de regulamentações ambientais (PORTER; VAN DER LINDE, 1995).

Os desafios ambientais atuais oferecem oportunidades para promover investimentos e desenvolvimento econômico. Inovações sustentáveis podem abrir novos mercados, impulsionar a criação de empregos e fomentar a competitividade das empresas. Além disso, o investimento em tecnologias e processos sustentáveis pode gerar benefícios econômicos e sociais, como a

redução da pobreza e a melhoria da qualidade de vida (WEISS; BIRNBAUM, 2010).

Políticas públicas voltadas para a promoção da inovação sustentável podem estimular o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e a difusão de tecnologias limpas e eficientes (KEMP; PEARSON, 2007). Exemplos de políticas públicas nesse sentido incluem: incentivos fiscais e financeiros para inovações sustentáveis, fomento à colaboração entre empresas e instituições de pesquisa, e promoção da formação de recursos humanos qualificados para atuar na área de sustentabilidade (CHAMINADE; EDQUIST; JOHNSON, 1997).

No âmbito das estratégias empresariais, a adoção de práticas sustentáveis pode impulsionar a inovação e a competitividade, à medida que as empresas buscam desenvolver produtos e processos que atendam às demandas ambientais e às expectativas dos consumidores (SCHALTEGGER; BURRITT; PETERSEN, 2003). Além disso, a inovação sustentável pode gerar oportunidades para a criação de novos modelos de negócios, com base na economia circular e na utilização eficiente de recursos naturais (BOONS; LÜDEKE-FREUND, 2013).

### **1.1.3 Bioeconomia e desenvolvimento sustentável**

A bioeconomia surge como uma abordagem promissora para enfrentar os desafios globais do desenvolvimento sustentável, incluindo a crescente demanda por alimentos, energia e recursos naturais, bem como a mitigação das mudanças climáticas. A bioeconomia abrange a produção, utilização e transformação de recursos biológicos renováveis em produtos, processos e serviços nos setores agrícola, industrial e energético (EUROPEAN COMMISSION, 2012; BUGGE et al, 2016).

A bioeconomia avançada é uma extensão da bioeconomia, que enfatiza a importância das tecnologias avançadas e inovações para a transformação de recursos biológicos renováveis em produtos, processos e serviços de alto valor agregado. Entre as tecnologias-chave da bioeconomia avançada estão: biotecnologia, nanotecnologia, tecnologias de informação e comunicação, e engenharia genética (VIRGIN, 2018).

A biotecnologia, por exemplo, tem sido amplamente aplicada na produção de biocombustíveis, produtos químicos e materiais a partir de biomassa, contribuindo para a redução da dependência dos combustíveis fósseis e da emissão de gases de efeito estufa (CHERUBINI, 2010). Além disso, a nanotecnologia tem potencial para melhorar a eficiência dos processos de conversão e utilização de biomassa, possibilitando a produção de materiais e produtos mais sustentáveis e de menor impacto ambiental (WUR, 2015).

A transição para uma bioeconomia avançada enfrenta diversos desafios, como a garantia da disponibilidade e sustentabilidade dos recursos biológicos, a promoção da inovação e cooperação entre os atores, e a formulação de políticas públicas adequadas para orientar o desenvolvimento do setor (BUGGE et al, 2016). A disponibilidade e sustentabilidade dos recursos biológicos são fundamentais para o sucesso da bioeconomia avançada, pois a biomassa é a matéria-prima básica para a produção de bioprodutos e bioenergia. Nesse sentido, é necessário garantir que a produção e utilização de biomassa não comprometam a segurança alimentar, a biodiversidade e os ecossistemas (SCARLAT et al., 2015).

A formulação de políticas públicas adequadas é outro desafio importante para a bioeconomia avançada, uma vez que é necessário criar um ambiente propício ao investimento e à inovação no setor. Políticas de apoio à pesquisa e desenvolvimento, incentivos fiscais e financeiros, e a promoção da formação de recursos humanos qualificados são exemplos de medidas que podem ser adotadas pelos governos para fomentar a bioeconomia avançada (VIRGIN, 2018).

A bioeconomia avançada oferece oportunidades para o desenvolvimento sustentável, uma vez que contribui para a redução da dependência dos combustíveis fósseis, a mitigação das mudanças climáticas, a criação de empregos e o crescimento econômico (VIRGIN, 2018). Além disso, a bioeconomia avançada pode promover a diversificação das atividades econômicas e a criação de novos mercados, contribuindo para o desenvolvimento de áreas rurais e a geração de empregos (SCARLAT et al., 2015). Nesse sentido, a bioeconomia avançada pode ser vista como uma estratégia para o desenvolvimento sustentável, alinhada aos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas (UN, 2015).

As biorrefinarias desempenham um papel fundamental na bioeconomia avançada, pois são instalações industriais que convertem a biomassa em uma variedade de produtos, como biocombustíveis, produtos químicos, materiais e alimentos, utilizando processos e tecnologias sustentáveis (CHERUBINI, 2010). Usinas de açúcar e álcool, assim como de produção de biodiesel podem se enquadrar nessa categoria e podem ser convertidas em biorrefinarias mais complexas para a produção de diferentes bioprodutos (CASTRO, 2019).

A integração de diferentes processos e tecnologias nas biorrefinarias permite a otimização do uso da biomassa e a minimização de resíduos e emissões, promovendo a eficiência e sustentabilidade dos sistemas produtivos. Além disso, as biorrefinarias podem contribuir para a diversificação e agregação de valor às cadeias produtivas, gerando novas oportunidades de negócios e emprego nos setores agrícola, industrial e energético (CHERUBINI, 2010).

## **1.2 Procedimentos Metodológicos**

A metodologia é de caráter fundamentalmente qualitativa, assentada em pesquisa bibliográfica e documental. Trata-se, portanto, de um estudo não-estatístico, que utiliza dados secundários, fatos e eventos, construindo uma narrativa explicativa com evidências que não podem ser formalmente quantificadas (MINAYO, 2004). A abordagem é sistêmica, em acordo com a base teórica adotada, baseada no conceito de “sistemas de inovação” de base neoschumpeteriana, explicitada no item 1.1 . As fontes utilizadas são artigos e outros trabalhos acadêmicos, relatórios, levantamentos e sítios na internet de empresas, instituições governamentais e representações empresariais, além de bases de dados dessas instituições.

O esquema analítico construído parte da hipótese de que os desafios tecnológicos e as pressões ambientais a que o SPIS está submetido criam oportunidades para avanços em termos de agregação de valor e conhecimento com maior sustentabilidade do sistema. Oportunidades que se manifestam tanto no campo do processo produtivo e a montante deste, pelas exigências de uma

produção mais eficiente e sustentável, como de seus produtos e a jusante do sistema (Figura 2).

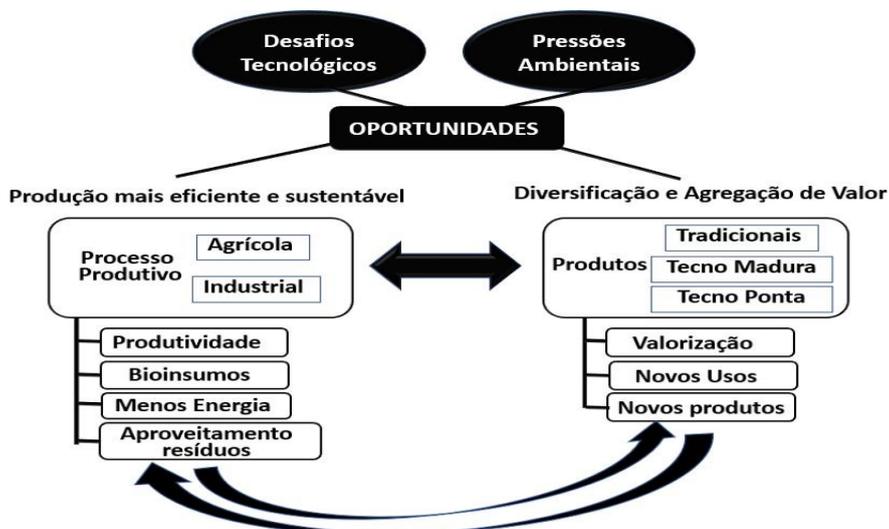


Figura 2 - Esquema Analítico

Fonte: Elaboração própria

Do lado do processo produtivo tornou-se imperativo obter os produtos com menos insumos e energia, substituir os insumos de base fóssil e assegurar o total reaproveitamento de água e resíduos. Do lado dos produtos, as novas tecnologias e os novos mercados que crescem com as demandas ambientais abrem oportunidades para valorização dos produtos tradicionais, novos usos para produtos já utilizados, e desenvolvimento de novos produtos. Os investimentos induzidos em cada campo geram demandas que se retroalimentam produzindo círculos virtuosos de crescimento.

Para demonstrar a hipótese construiu-se um conjunto de evidências em cada um dos campos (Quadro 1). No campo da produção mais eficiente e sustentável foram utilizados:

1. Dados de investimentos realizados pelas empresas do segmento sucroalcooleiro com recursos do BNDES. Os dados foram obtidos no Sistema de Consulta de Operações do BNDES para todo o período disponível (2011-2022) e nos relatórios da FINEP sobre o PAISS<sup>3</sup>. Para o total das operações do BNDES as fontes permitem separar apenas os investimentos por setor de atividade, identificando os destinados ao segmento. Já os dados específicos das operações não-automáticas do banco e do PAISS possibilitam identificar o tipo de utilização dos recursos,

<sup>3</sup> Plano de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS) foi uma iniciativa conjunta do BNDES e FINEP de fomento à inovação do SPIS.

o que nos permitirá visualizar a parcela investida especificamente em modernização produtiva, inovações e sustentabilidade pelas empresas do SPIS. Esse último dado é a evidência direta do esforço das firmas do SPIS para atender à pressão ambiental e por eficiência produtiva. Entretanto, como o BNDES possui exigência de que as firmas demonstrem claro comprometimento com a agenda ASG para obter qualquer financiamento, o valor total dos recursos tomados junto ao banco pelo segmento constitui evidência indireta desse esforço e de seu potencial.

No caso de produtores e firmas situadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, são também relevantes os investimentos realizados com recursos dos fundos constitucionais (FNO, FNE e FCO<sup>4</sup>). Entretanto, não estão disponíveis dados desses fundos por segmento produtivo.

Quadro 1 - Estrutura de evidências

EVIDÊNCIAS	Produção Mais Eficiente e Sustentável	Diversificação Agregação de Valor
	Investimentos BNDES	Produtos Tradicionais
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial econômico</li> <li>• Esforço das empresas</li> <li>• Compromisso com a agenda ASG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento demanda produtos tradicionais locais</li> <li>• Construção de marcas</li> <li>• Denominação de Origem</li> </ul>
	Mercado de Carbono	Produtos Tecnologia Madura
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial econômico</li> <li>• Compromisso com a agenda ASG mensurado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento demanda química verde</li> <li>• Novos usos mais intensivos em valor</li> </ul>	
Expansão Agtechs	Produtos Tecnologia de Ponta	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencial econômico</li> <li>• Potencial de agregação de valor e conhecimento</li> <li>• Inovação em eficiência e sustentabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratégias dos países desenvolvidos</li> <li>• Mercado de biopolímeros</li> <li>• Tendências futuro</li> </ul>	

Fonte: Elaboração própria

2. Mercado de Carbono. Foram utilizados dados da Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP) referentes ao mercado de carbono no âmbito do RENOVABIO, que é o único mercado dessa natureza efetivamente estruturado no Brasil, além de ser específico para o segmento de biocombustíveis. Considerou-se apenas os dados referentes ao etanol, desprezando-se as informações relativas ao biodiesel. Os dois indicadores destacados foram o valor anual gerado pela emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS) e o percentual de usinas certificadas no programa. O primeiro evidencia o potencial econômico dessa nova fonte de recursos associada às demandas ambientais e, o segundo, indica o grau de comprometimento efetivo das usinas com agenda ASG. Isto porque, para a certificação junto ao RENOVABIO é necessário a emissão de uma Nota de Eficiência Energética Ambiental (NEEA), assegurando que a USINA está produzindo o etanol de forma

<sup>4</sup> Respectivamente, Fundo Constitucional do Norte, Fundo Constitucional do Nordeste e Fundo Constitucional do Centro-Oeste.

ambientalmente adequada, de acordo com os princípios da agenda ASG. Uma vez certificadas, as usinas devem renovar a NEEA anualmente, o que garante controle externo e melhoria contínua de desempenho ambiental.

3. Expansão das AGtechs. O crescimento de startups e empresas de base tecnológica com foco no agronegócio, conhecidas como AGtechs, é, igualmente, um importante indicador de investimentos induzidos pela inovação e o atendimento das exigências ambientais pelo SPIS, especialmente em seu segmento agrícola. As bases de dados utilizadas foram a AGFunder, para dados internacionais, e a Abstartups e a Distrito para os dados nacionais. Adicionalmente, recorreu-se a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), a Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Inovação (SEDI), ao Sebrae-Go e aos sítios das empresas na internet para identificação das AGtechs do estado de Goiás. Os dados desse segmento não estão disponíveis especificamente para o segmento sucroalcooleiro, até porque, grande parte das Agtechs são especializadas em atividades que atendem diferentes culturas. Seu foco, entretanto, são os grandes complexos agroindustriais brasileiros, entre os quais se situa o sucroalcooleiro, ao lado da soja, milho e carnes. Alguns exemplos concretos foram selecionados, a partir de informações de sítios na internet, para ilustrar seu papel na cultura da cana-de-açúcar. Trata-se de um segmento emergente do SPIS, cujo potencial se revela não apenas pelo elevado volume de recursos que mobiliza, com geração de renda e empregos de qualidade, mas, igualmente, como evidência da crescente incorporação de inovação e conhecimento por parte do segmento agrícola do sistema.

No campo das oportunidades associadas à diversificação e agregação de valor as evidências foram organizadas por três grandes grupos de produtos: aqueles tradicionais e de base local; os industriais como tecnologia já dominada e mercados estabelecidos; e, aqueles associados à moderna biotecnologia e com mercados emergentes (Quadro 1).

1. Produtos tradicionais. O potencial nessa área está relacionado a transformação que se verifica no mercado agroalimentar com tendência crescente à valorização de produtos locais, ambientalmente e socialmente corretos. A criação de marcas e utilização de certificações como as Denominações de Origem são as principais ferramentas utilizadas para a agregação de valor nesse campo. Foram utilizados dados e exemplos retirados de relatórios e bancos de dados de organizações do segmento, sítios na internet de empresas e de notícias para ilustrar esse potencial no SPIS.
2. Produtos de tecnologia madura. Além de açúcar, etanol e energia dezenas de outros produtos são produzidos pelo SPIS com aplicações bem estabelecidas, sobretudo, nas indústrias alimentícia, química, farmacêutica

e cosmética. A crescente valorização de produtos “verdes” e restrições ao uso de intermediários químicos poluentes e prejudiciais à saúde amplia o mercado para esses produtos, ao mesmo tempo em que as novas tecnologias e exigências ambientais abrem possibilidades de novas utilizações com maior valor agregado para eles. Como evidências desse potencial e sua amplitude foram utilizados exemplos obtidos em estudos especializados, sítios na internet de empresas e de notícias.

3. Produtos de tecnologia de ponta. A cana-de-açúcar é a principal fonte de biomassa para a produção de uma ampla gama de biopolímeros e outros bioprodutos intensivos em conhecimentos de biotecnologia e biologia sintética. Evidências desse potencial para o SPIS encontram-se, sobretudo, no desenvolvimento recente do mercado de bioplásticos e intermediários químicos associados. Os dados e exemplos foram obtidos, principalmente, por meio de relatórios da *European Bioplastics*, das contratações no âmbito do PAISS para essa área, nos sítios da internet da Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), organizações internacionais e governos, bem como de empresas nacionais e multinacionais que atuam nesse campo.

### **1.3 Evolução da Atividade Sucroalcooleira no Brasil**

A atividade sucroalcooleira no Brasil tem uma longa história que remonta ao período colonial, quando os portugueses introduziram a cana-de-açúcar no país. O cultivo da cana-de-açúcar era uma atividade econômica importante na época, e a produção de açúcar era um dos principais produtos exportados pelo país.

Segundo Dunham *et al.* (2011), foi na década de 1870 que teve início a modernização da agroindústria sucroalcooleira no Brasil. Em 1873, um grupo de senhores de engenho de Pernambuco começou a importar máquinas e equipamentos para modernização sua produção de açúcar. Estimulado por esse movimento e buscando melhorar a competitividade do açúcar brasileiro no mercado internacional, o Império estabeleceu um sistema de financiamento para empreendedores que desejassem implantar engenhos de açúcar<sup>5</sup>.

Esse movimento culminou com a criação de uma nova figura no SPIS brasileiro que foram os “engenhos centrais”, unidades industriais exclusivamente dedicadas ao beneficiamento do açúcar. Produzia-se, assim, uma separação

---

<sup>5</sup> Criou-se, em 1875, uma linha financiamento com juros de 7% ao e prazos de 5 a 40 anos para pagar (DUNHAM, 2011)

entre as atividades agrícolas e industriais no sistema, com fornecedores de cana, de um lado, e processadores de outro (DUNHAM *et al.*, 2011).

Mantinha-se uma certa verticalização do setor, na medida em que a maioria dos proprietários dos engenhos centrais era, simultaneamente, de grandes produtores de cana. Contudo como a construção daqueles engenhos exigia elevados volumes de recursos, a maior parte dos produtores converteu-se em fornecedores de cana.

Outro fator que teve grande impacto na modernização do SPIS foi a crise do Mosaico, uma doença que afetou os canaviais na década de 1920. São Paulo foi o primeiro estado afetado, o que resultou em uma redução de 75% de sua produção entre 1922 e 1925 (DUNHAM *et al.*, 2011).

A necessidade de enfrentar a crise levou ao avanço da seleção de variedades, realizada pela Estação Experimental de Cana de Piracicaba – EECP, atuando em parceria com oito usinas, que estabeleceram seus próprios campos de teste. Começava, assim, a se estruturar o subsistema de P&D e capacitação do SPIS, baseado na estreita relação entre institutos público de pesquisa e as usinas. A participação dos agrônomos das usinas dava maior efetividade ao processo de inovação, ao mesmo tempo que que acelerava o processo de difusão das novas variedades. Em 1935 o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC passou a utilizar o mesmo modelo de rede do EECP.

A produção de álcool a partir da cana-de-açúcar começou a ganhar importância no final do século XIX, quando foi desenvolvida a tecnologia para a destilação do álcool. Naquela época, o álcool era usado principalmente para fins medicinais e como combustível para motores a vapor. No entanto, a produção de álcool se expandiu rapidamente no início do século XX, com a introdução do automóvel no país.

Durante a década de 1920, houve um grande esforço para desenvolver a indústria de álcool no Brasil, e muitas usinas de açúcar começaram a produzir álcool como um subproduto. Em 1931, acompanhando a tendência mundial e premido pela queda nas exportações de açúcar, o governo Vargas determinou a adição de pelo menos 5% de álcool à gasolina importada, sendo de 10% para veículos pertencentes a órgãos públicos. Instituiu, ainda, a Comissão de Estudos

sobre o Álcool Automotivo, que culminou com a criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA), em 1933 (KOVARIK, 2013; TÁVORA, 2011).

Uma série de medidas para a modernização industrial e o financiamento de destilarias para a produção de álcool anidro foram adotadas. Em 1938, estendeu-se a obrigação de sua adição também à gasolina produzida no país, e as ações foram aprofundadas durante a segunda guerra diante da dificuldade de importação. O número de destilarias brasileiras passou de apenas uma em 1933, para 31 em 1939, chegando a 54 em 1945. A produção de álcool combustível aumentou de 100.000 litros, em 1933, para 51,5 milhões de litros em 1937, cerca de 7% do combustível consumido no país (SAJI et al , 2021; KOVARIK, 2013; TÁVORA, 2011).

A expansão da produção mundial de petróleo e a queda de seus preços interrompeu as iniciativas de mistura do álcool à gasolina, que só seriam retomados após a crise do petróleo de 1973, com a implantação do Proálcool.

A crise impactou fortemente a balança comercial do Brasil, que à época importava 80% do petróleo que consumia consumido. Em 1975, foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), em resposta à crise energética e pelo excesso de capacidade das usinas de açúcar<sup>6</sup>. A primeira etapa do Programa (1975-1979) focou na expansão de usinas de álcool anidro, misturado à gasolina, e na conversão de motores de táxis e frotas para álcool (SAJI et al, 2021).

Permitiu-se a mistura de até 25% de álcool à gasolina, e foram criados incentivos fiscais e financeiros para modernização e implantação de refinarias anexas às usinas de açúcar. Preços remuneradores ao álcool e metas de produção foram estabelecidos, e foi garantida a compra do produto pela Petrobrás. Investimentos foram feitos em refinarias, processos e novas variedades de cana. A indústria nacional de máquinas e equipamentos também avançou com incentivos fiscais e financiamento subsidiado (GORDINHO, 2008).

A produção de etanol aumentou de 580 milhões de litros em 1975 para 11,7 bilhões em 1985, superando as metas. Entretanto, a queda nos preços do petróleo em 1986 e a crise do endividamento externo brasileiro desaceleraram a expansão do etanol. A crise de desabastecimento de 1989 e o encerramento do

---

<sup>6</sup> O governo brasileiro havia estimulado fortes investimentos na expansão da capacidade produtiva entre 1968-1974, na expectativa de abertura de novos mercados, que se frustraram. Em 1974 as usinas de açúcar estavam com capacidade ociosa de 45% (GORDINHO, 2008).

Proálcool em 1990 devido à retirada de subsídios impactaram negativamente o setor.

A introdução dos veículos flex fuel (FFV) em 2003 revitalizou o uso do etanol. A adoção de FFVs no Brasil acelerou devido à infraestrutura nacional existente para distribuição de etanol. A produção de etanol duplicou entre 2003 e 2009. A Petrobrás assumiu papel ainda mais importante no SPIS. Iniciou, em 2007, um projeto para construção de 40 novas usinas em parceria com a Mitsui e um grande "etanolduto" para ampliar sua capacidade exportadora. Em 2008, criou a subsidiária Petrobras Biocombustível S.A. (PBIO) (GORDINHO, 2008, SANTOS et al, 2015).

Entretanto, a descoberta de reservas de petróleo no pré-sal e o avanço das tecnologias de exploração em águas profundas desviaram o foco do etanol. Após 2015, o cenário para o etanol no Brasil mudou significativamente com a descoberta das reservas de petróleo do pré-sal. A Petrobras começou a se afastar dos biocombustíveis à medida que uma coalizão se formava em torno das oportunidades proporcionadas pela exploração do pré-sal. A política para o etanol perdeu prioridade e o controle de preços internos da gasolina foi estabelecido.

O novo cenário afetou os produtores, que enfrentavam dificuldades desde a crise de 2008. O custo nominal da produção de etanol aumentou 70% entre 2007 e 2012. De 2010 a 2015, 58 usinas fecharam e ocorreu uma onda de fusões e aquisições (SANTOS et al, 2015). Com o recuo dos investimentos, o crescimento da produção de etanol e da produtividade da cana foi interrompido. Manter preços competitivos para o etanol se tornou um desafio e resultou em redução nas margens dos produtores.

Quando o setor começava se recuperar foi colhido pela crise da Covid e, em seguida, pela instabilidade no mercado de energia que decorre da invasão da Rússia na Ucrânia. Apesar dos desafios conjunturais, do ponto de vista estrutural, o SPIS brasileiro está consolidado, contanto com forte capacidade produtiva e tecnológica.

Do ponto de vista espacial, o Proálcool marcou o avanço da produção sucroalcooleira para Centro-Sul do país em detrimento da área tradicional da

cana no Nordeste brasileiro. A expansão se deu principalmente em São Paulo, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul e Goiás (Figura 3)

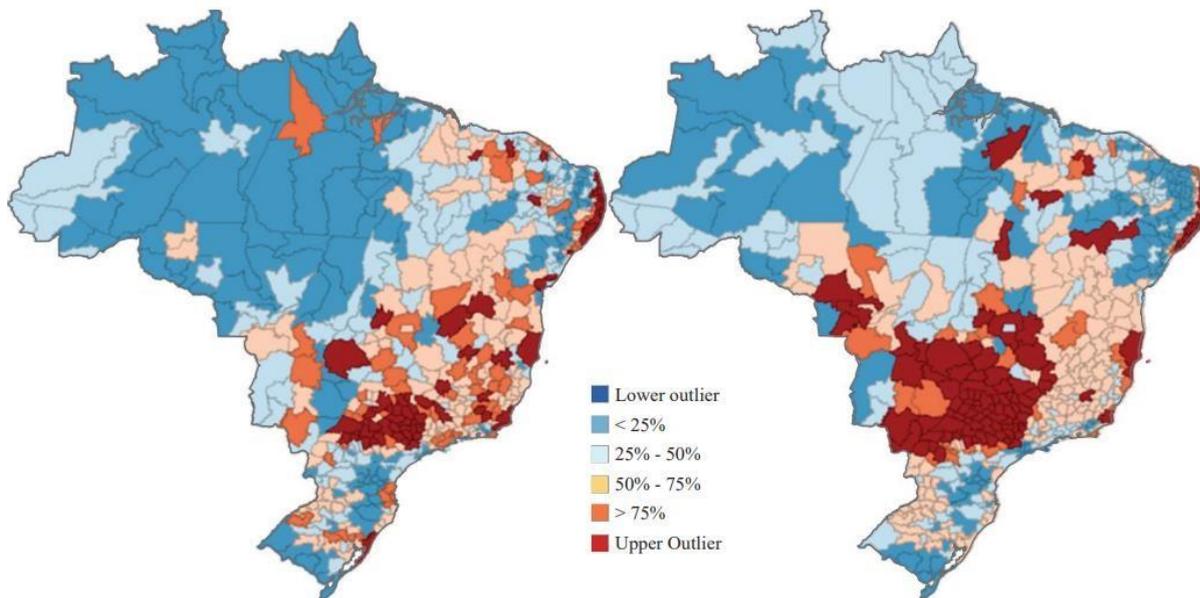


Figura 3 - Expansão espacial da área plantada de cana-de-açúcar no Brasil entre os anos de 1980 e 2019

Fonte: CASTRO, 2022, p.29

#### 1.4 Evolução da Atividade Sucroalcooleira em Goiás

No estado de Goiás, a indústria canavieira teve seu início por volta dos anos 1950, com a produção de açúcar nas cidades de Santa Helena e Barro Alto. No entanto, foi somente na década de 1980, após a implementação do Proálcool, que o setor experimentou um aumento significativo de sua produção. No entanto, com o fim do programa e a consequente perda de seus benefícios, o setor entrou em declínio, seguido por um período de estagnação. Foi somente na década de 1990 que ocorreu uma nova expansão, impulsionada pelos grupos nordestinos, que encontravam limitações em seus próprios estados devido à topografia e/ou clima. Grupos como Maranhão, Farias e Japungu construíram, reativaram e adquiriram usinas em Goiás (LOYOLA, 2010).

A partir dos anos 2000, entretanto, é que houve a maior expansão, liderada pelos tradicionais grupos paulistas, como Cerradinho, USJ, Cosan e São Martinho, que instalaram novas usinas no estado. Além disso, empresas já estabelecidas no mercado goiano expandiram suas operações, e houve investimentos de capital externo, representados por ETH, BP e Brenco. A área

plantada de cana em Goiás cresce mais de sete vezes entre 2001 e 2021, passando de 130 mil ha para 930 mil ha no período (Figura 4).

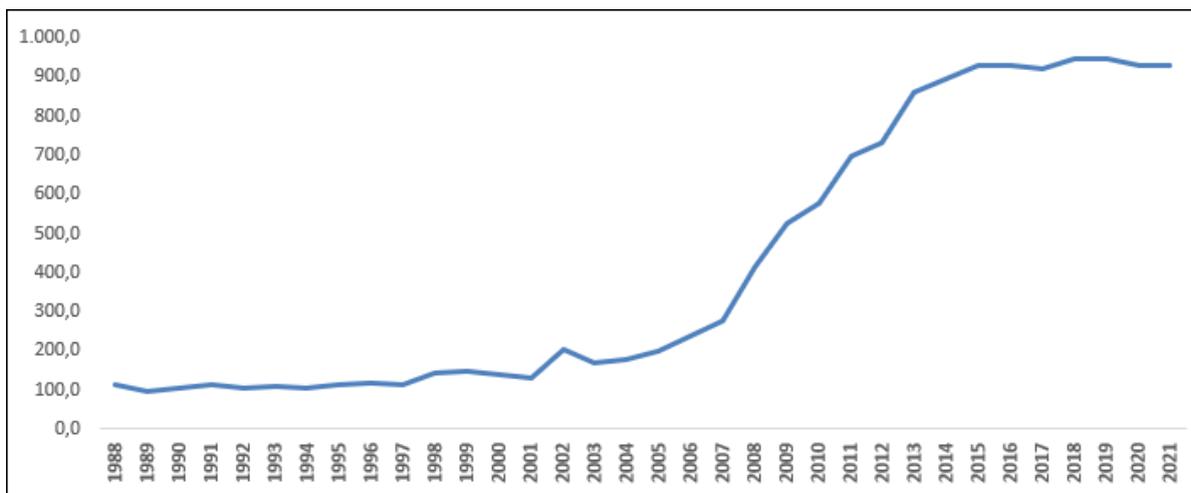


Figura 4 - Área plantada de cana-de-açúcar em Goiás 1988-2021 (em mil ha)  
Fonte: PAM/IBGE. Elaboração própria

Os dois últimos surtos de expansão no setor sucroalcooleiro em Goiás foram impulsionados por fatores econômicos e naturais. Entre os fatores naturais, destacam-se a abundância de terras agricultáveis, disponibilidade hídrica adequada para o cultivo da cana-de-açúcar, topografia favorável à mecanização e condições edafo-climáticas propícias para altas produtividades. Esses fatores são evidenciados pelo fato de que o estado possui um dos maiores rendimentos de açúcar por hectare (LOYOLA, 2010).

No que diz respeito aos fatores econômicos, pode-se destacar o preço baixo das terras em Goiás, o que possibilita arrendamentos e aquisições a um custo inferior em comparação às regiões produtoras tradicionais. A atuação do governo estadual também desempenhou um papel fundamental, implementando programas como o Produzir (Programa de Desenvolvimento Industrial de Goiás), por meio do qual reduziu o valor do ICMS mensal com o objetivo de promover a implantação de indústrias e impulsionar o desenvolvimento do estado. Também foram realizados ajustes tributários que ofereceram incentivos ao setor, como ocorreu em 2006, quando o governo isentou os impostos incidentes sobre o álcool e aumentou a carga tributária sobre a gasolina.

Outro fator que contribui para a produção de cana-de-açúcar em Goiás é a possibilidade de expansão dessa cultura na região, especialmente

considerando as restrições de crescimento estabelecidas no Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar, aprovado em 2009 pelo Governo Federal. Esse zoneamento proíbe a produção de cana-de-açúcar na Bacia Amazônica, no Pantanal e na bacia do Alto Paraguai (CASTRO, 2022).

## 2 ESTRUTURA DO SISTEMA PRODUTIVO E INOVATIVO SUCROALCOOLEIRO (SPIS)

Considerando o conceito e a configuração do SPI apresentados na Figura 1, nesse capítulo serão apresentados e discutidos os quatro subsistemas do SPIS.

### 2.1 Subsistema de Produção e Inovação

O subsistema de produção e inovação do SPIS tem seu núcleo composto por duas atividades econômicas principais, a agricultura da cana de açúcar e as usinas de processamento de cana, atividades que no Brasil, em geral, são verticalmente integradas<sup>7</sup>. As usinas produzem um ou mais dos seguintes produtos: açúcar, etanol, bioeletricidade, além de diversos subprodutos como palha, bagaço, vinhoto e outros.

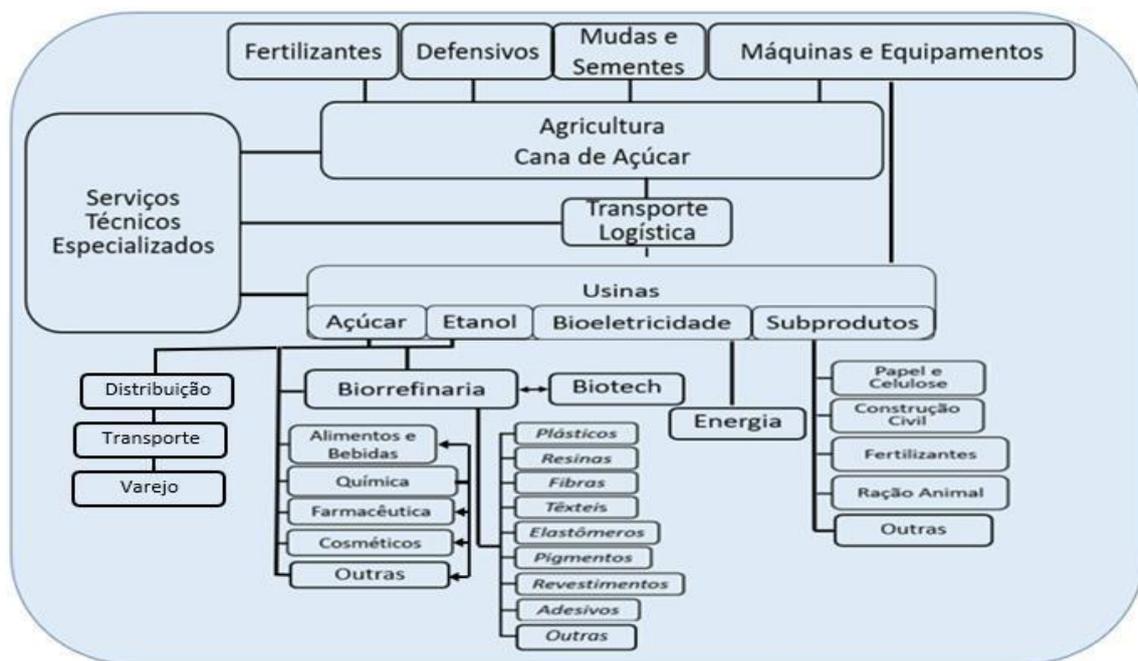


Figura 5 - Subsistema produtivo e inovativo do SPIS

Fonte: Castro (2022).

<sup>7</sup> Em outros países produtores de açúcar e álcool é bem menor a presença de integração vertical, ou mesmo inexistem, como na Austrália onde a legislação não permite que a agroindústria produza, ela mesma, sua matéria-prima. De qualquer forma o processamento da cana de açúcar necessita ocorrer próxima aos canaviais, para não comprometer seu rendimento industrial. Uma vez cortada, a cana não pode ser armazenada por mais de 48 horas. Assim, onde não ocorre a integração vertical, estabelece-se acordos ou contratos entre a agroindústria e os plantadores para garantir o abastecimento (MILANEZ et al, 2017).

As principais atividades industriais a montante são a produção de fertilizantes, defensivos, mudas e sementes e, máquinas e equipamentos. Tem-se ainda, um grupo cada vez mais extenso de serviços técnicos especializados, como os de tecnologia de informação e comunicação (TICs), geoprocessamento, análise e controle de qualidade, consultoria e gestão, serviços agrícolas terceirizados e outros (Figura 5).

A jusante das usinas, situa-se, além dos serviços de logística, distribuição e varejo, um amplo e diversificado conjunto de atividades industriais de segmentos intermediários e de bens finais. Cada um dos já mencionados produtos das usinas se insere como insumo em diferentes indústrias, cujas cadeias produtivas muitas vezes se interpenetram. Algumas dessas indústrias são antigas e seus produtos já tradicionais, outras são novas como a emergente bioindústria que concorre com a ampla gama de produtos da petroquímica. Emergem, igualmente, novos produtos em indústrias tradicionais.

### **2.1.1 Agricultura da Cana de Açúcar**

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene com ciclos de 5 a 6 anos. Como as demais culturas agrícolas, suas etapas de produção envolvem: preparo e manejo do solo; plantio, nutrição e adubação; tratos culturais e colheita.

Na etapa de preparação do solo realiza-se análise de solo para identificar sua fertilidade e necessidade de correção e tipo de adubação. Após a análise de solo, é importante definir a época de plantio, para planejar as operações agrícolas e quais as variedades de cana-de-açúcar são mais indicadas para aquele período. O custo da implantação do canavial é bastante elevado e, por isso, o plantio depende de um planejamento prévio bem elaborado, no qual se define as variedades de cana-de-açúcar a serem plantadas, a época e o tipo de plantio. pode ser mecanizado, manual ou misto.

O plantio é maiormente semi-mecanizado e, crescentemente, totalmente mecanizado. No primeiro caso, o trabalho manual é utilizado na colheita da cana que servirá de muda e no corte dos caules após serem depositados no fundo do sulco no terreno. Já as atividades de de carregamento, transporte, abertura e fechamento do sulco são efetuadas mecanicamente. No segundo, todas as operações são mecanizadas.

A colheita, assim como o plantio, também pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. A colheita manual é uma atividade intensiva em

emprego sazonal e de baixa qualidade e exige a queima prévia da palha, sem a qual o corte seria muito penoso e ineficiente. A prática de queima, entretanto, cria sérios problemas ambientais e tem sido objeto de crescente restrição legal. Em São Paulo, que liderou os avanços da legislação nesse campo, dados do Levantamento Sistemático do Índice de Mecanização na Cana-de-Açúcar estado revelaram que 95,3% da cana produzida no estado foi colhida de forma mecanizada, na safra de 2018/19. Em termos nacionais, a COBAL (2022) estima que o índice nacional da colheita mecanizada na safra 2021-2022 foi 88,9%, enquanto a colheita manual respondeu por 11,1%.

Apesar da produção de cana de açúcar para forragem e consumo próprio estar presente em praticamente todas as pequenas e médias propriedades rurais no país, sua produção em escala comercial, destinada a produção de açúcar e etanol se dá majormente em grandes propriedades.

Tabela 1 - Número de estabelecimentos e produção de cana de açúcar por tipo de propriedade, Brasil (2017)

Tipo	Número de Estabelecimentos	% de Estabelecimentos	Produção (ton)	% Produção
Total	171.348	100,0	638.689.875	100,0
Não agricultura familiar	36.557	21,3	626.383.465	98,1
Agricultura Familiar	134.791	78,7	12.306.409	1,9

Fonte: IBGE-Censo Agropecuário 2017. Elaboração própria

Assim, o Censo Agropecuário 2017 revela que a agricultura familiar representa 78,7% do total de estabelecimentos produtores de cana de açúcar, mas responde por não mais do que 1,9% do total produzido. Isto é 98,1% da produção se dá em estabelecimentos que não são de agricultura familiar (Tabela 1).

Tabela 2 - Produção de cana de açúcar no Brasil por grupos de área total (2017)

Tamanho (ha)	Produção (ton)	% Produção
De 0 a menos de 50	9.918.271	1,6
De 50 a menos de 200	23.607.723	3,7
De 200 a menos de 500	34.757.095	5,4
De 500 a menos de 1.000	38.574.844	6,0
De 1.000 a menos de 2.500	69.567.981	10,9
De 2.500 a menos de 10.000	207.960.220	32,6
De 10.000 ha e mais	252.428.131	39,5
Total	638.689.875	100,0

Fonte: IBGE-Censo Agropecuário 2017. Elaboração própria.

Os dados do Censo revelam ainda a clara dominância das grandes propriedades no segmento. Apenas 16,7% da cana de açúcar é produzida em estabelecimentos de menos de 1.000 ha no Brasil, sendo 83,0% em propriedades de mais de 1.000 ha e quase 40% em estabelecimentos de mais de 10.000 ha (Tabela 2).

A atividade é, igualmente, bastante concentrada do ponto de vista espacial, tanto globalmente quanto no Brasil. Brasil e Índia, em conjunto respondem por 60,3% da produção mundial e, somados à China, Paquistão e Tailândia chegam a cerca de dois terços de toda a produção global (Tabela 3).

Tabela 3 - Cinco principais países produtores de cana de açúcar no mundo (2020)

Países /Mundo	Produção (toneladas)	% da produção global
Brasil	757.116.855	40,5
Índia	370.500.000	19,8
China	108.121.000	5,8
Paquistão	81.009.261	4,3
Tailândia	74.968.070	4,0
Total 5 maiores	1.391.715.186	74,4
Mundo	1.869.715.086	100,0

Fonte: FAOSTAT/FAO. Elaboração própria.

No Brasil, a produção se concentra principalmente no Sudeste, seguido do Centro-Oeste. Essas duas macrorregiões, em conjunto, representam 85,3% de toda a produção nacional (Tabela 4).

Tabela 4- Área colhida, produtividade e produção de cana de açúcar no Brasil por Macrorregião (2020)

Brasil /Regiões	Área colhida (Ha)	Produtividade (kg/Ha)	Produção (Ton)	% Produção
Norte	61.889	74.094	4.585.575	0,7
Nordeste	902.350	59.351	53.555.316	8,5
Sudeste	5.492.264	73.116	401.575.034	64,0
Sul	563.620	60.438	34.064.049	5,4
Centro-Oeste	1.805.165	73.848	133.308.666	21,3
Brasil	8.825.288	71.056	627.088.640	100,0

Fonte: LSPA/IBGE\*. Elaboraões própria.

\*Dados de novembro de 2022

Em termos estaduais, apenas os três principais estados produtores juntos representam dois terços da produção brasileira 75,2%. Considerando-se os 10

maiores esse valor chega a 96,8%. Goiás se destaca como o segundo maior produtor brasileiro e aquele com maior produtividade, superando, nesse quesito, o estado de São Paulo (Tabela 5).

Tabela 5 - Dez principais estados produtores de cana de açúcar: área colhida, produção e produtividade (2022)

UF e Brasil	Área colhida (Ha)	Produtividade (kg/Ha)	Produção (Ton)	% Produção
São Paulo	4.410.000	73.200	322.812.000	51,5
Goiás	945.547	79.518	75.187.956	12,0
Minas Gerais	977.624	74.990	73.312.381	11,7
Mato Grosso do Sul	631.534	64.539	40.758.854	6,5
Paraná	546.600	61.226	33.466.200	5,3
Alagoas	293.556	62.363	18.307.033	2,9
Mato Grosso	227.879	76.113	17.344.479	2,8
Pernambuco	256.424	56.061	14.375.414	2,3
Paraíba	102.230	57.919	5.921.078	0,9
Bahia	80.000	70.000	5.600.000	0,9
Brasil	8.825.288	71.056	627.088.640	100,0

Fonte: LSPA/IBGE\*. Elaboraões própria.

\*Dados de novembro de 2022

Outra característica desse segmento é sua elevada heterogeneidade produtiva. As diferenças de produtividade refletem, de um lado, a diferenciação das características edafoclimáticas do território, como fertilidade do solo, clima e radiação solar, disponibilidade de água e outros, e de outro lado, às tecnologias adotadas na produção em suas diferentes etapas. Essas ainda são muito variadas no país, com o uso das tecnologias mais sofisticadas convivendo com formas tradicionais e centenárias de produção. Os dados das tabelas 4 e 5 mostram como são importantes os diferenciais de produtividade entre as macrorregiões e os principais estados produtores .

Dados de Castro (2022), baseados na comparação entre a produtividade da lavoura canavieira em todos os municípios brasileiros para o ano de 2021, revelam um coeficiente de variação de 0,4, e uma diferença entre os municípios como maior e menor produtividade da ordem de 144.677 kilos por hectare.

### 2.1.2 Usinas sucroalcooleiras

Uma usina sucroalcooleira é uma instalação industrial projetada para processar a cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol (álcool). O

processo de produção em uma usina sucroalcooleira é uma combinação de processos químicos, físicos e biológicos.

Trata-se de uma forma de biorrefinaria. Uma biorrefinaria é uma instalação que converte biomassa em combustíveis, energia, produtos químicos e materiais. O objetivo de uma biorrefinaria é usar o máximo possível da biomassa e minimizar os resíduos.

Em uma usina sucroalcooleira, a cana-de-açúcar é processada para produzir açúcar e etanol. Além disso, o bagaço (a parte fibrosa que resta após a extração do suco de cana-de-açúcar) pode ser queimado para gerar energia. Portanto, uma usina sucroalcooleira está convertendo biomassa (neste caso, a cana-de-açúcar) em múltiplos produtos úteis (açúcar, etanol e energia), o que está alinhado com o conceito de uma biorrefinaria.

Além disso, muitas usinas estão explorando maneiras de utilizar ainda mais efetivamente os subprodutos do processo de produção, como a utilização do vinhaça (resíduo líquido resultante da produção de etanol) como fertilizante ou a transformação deste em biogás, aumentando assim a sustentabilidade do processo.

Suas principais etapas de produção incluem:

**Moagem:** Primeiramente, a cana-de-açúcar é colhida e transportada para a usina. Na usina, a cana passa por um processo de moagem para extrair o caldo de cana, que é rico em sacarose. A moagem é geralmente feita em um conjunto de rolos que esmagam a cana, separando o caldo da fibra (bagaço).

**Tratamento do caldo:** O caldo extraído é então tratado com cal e aquecido para precipitar impurezas que são removidas por decantação ou flotação. O caldo clarificado é então concentrado por evaporação.

**Fermentação:** Parte do caldo é direcionado para a produção de etanol. Neste processo, o caldo de cana é fermentado por leveduras, que convertem a sacarose em etanol. Este processo produz um líquido chamado vinho, que é destilado para separar o etanol.

**Cristalização:** Outra parte do caldo é usada na produção de açúcar. O caldo é concentrado ainda mais até os cristais de açúcar começarem a se formar. Estes são separados do líquido restante (melaço) em uma centrífuga.

**Destilação:** O vinho proveniente da fermentação passa por um processo de destilação, resultando na obtenção do etanol.

Ciclo de energia: O bagaço restante da moagem é frequentemente usado como combustível em uma usina de energia na usina para produzir eletricidade. O vapor gerado na queima do bagaço é usado no processo de evaporação e também para gerar eletricidade em turbinas a vapor (UDOP, s.d.)

Quanto a estrutura de mercado, o segmento de usinas sucroalcooleiras, considerando a tipologia de Possas (1985), apresenta características de oligopólio concentrado e oligopólio competitivo. O oligopólio concentrado é marcado por produtos similares, alta especialização técnica, economias de escala e barreiras significativas à entrada, características estas que são claramente observadas em usinas e destilarias.

A produção contínua de vários tipos de açúcar e álcool evidencia a presença substancial de economias de escala. Usinas capazes de processar grandes volumes de cana-de-açúcar diariamente podem alcançar custos de produção mais baixos. Portanto, as empresas buscam obter vantagens de custo, aumentando a produtividade e a eficiência do processo, minimizando interrupções na produção, maximizando a extração de sacarose da cana-de-açúcar e reduzindo os custos de manutenção de equipamentos durante a safra e a entressafra (NEVES e BATALHA, 1997).

As grandes economias de escala, o significativo investimento inicial necessário para estabelecer uma nova unidade de produção, e a existente integração vertical parcial nas empresas já estabelecidas são vistas como barreiras robustas à entrada. No Brasil uma nova usina atinge sua A escala mínima de eficiência de uma usina no Brasil se situa em torno de 3,5 milhões de toneladas, o que exige investimentos de cerca de R\$ 1 bilhão<sup>8</sup> (MILANEZ, SOUZA e MANCUSO, 2017). Esses elementos reforçam a ideia de que as características do setor estão fortemente alinhadas com as de oligopólios concentrados.

Por outro lado, a competição de preços que prevalece entre os diversos tipos de açúcar disponíveis no mercado e o nível de concentração mais baixo do segmento, são características de oligopólios competitivos (NEVES e BATALHA, 1997). No que se refere ao grau de concentração, apesar dos dez maiores grupos detentores de usinas responderem por 42,3% da cana moída, é

---

<sup>8</sup> Em custos de 2017 (MILANEZ, SOUZA e MANCUSO, 2017)

forte a participação de médias empresas no setor. Mesmo entre as maiores, em que pese o maior grupo, a Raizem, deter 14,4% do mercado, o segundo maior já responde por menos de 5% do total (Quadro 1).

Quadro 2 - Dez maiores grupos sucroalcooleiros - Brasil (safra 2020/2021)

Grupos	Unidades*	Moagem (milhões ton)	Participação (%)	Origem Capital**
Raizem	25	87,2	14,4	BR-GB
BPBunge	11	27,3	4,5	GB-EUA
ATVOS	9	26,7	4,4	BR
São Martinho	4	22,5	3,7	BR
TEREOS	7	20,9	3,5	FR
COFCO	4	17,2	2,8	CH
L. Junqueira	4	16,5	2,7	BR
Coruripe	5	14,4	2,4	BR
Pedra	3	12,5	2,1	BR
Delta	3	10,8	1,8	BR

Fonte: FG/A e sítios das empresas na internet. Elaboração própria.

\*Número de Usinas. \*\*Nacionalidade do capital controlador.

A tendência, entretanto, tem sido de ampliação da concentração, bem como de entrada do capital estrangeiro no segmento, especialmente a partir de 2010. A criação da Raizen, em 2011, resultou de um *joint venture* entre a brasileira Cosan, já tradicional no setor, como a britânica Shell. A chinesa Cofco, uma das maiores empresas de alimentos do mundo, comprou quatro usinas no Brasil em 2014 e fez fortes investimentos em expansão, chegando à capacidade de 17,2 milhões de toneladas na safra 2020-2021 (REUTERS, 2022; VALOR ECONÔMICO, 2023)

Em 2019, outra petroleira inglesa, a BP, entrou no segmento por meio de uma *joint venture* com a norte americana Bunge, que já atuava no segmento no país. A francesa Tereos, que é a terceira maior produtora de açúcar do mundo, iniciou sua participação na produção brasileira no início dos anos 2000, mas ampliou fortemente sua posição a partir de 2010 por meio de aquisições e expansões, tornando-se o segundo maior produtor de açúcar do país (TEREOS, s.d.; EPE, 2021).

Em termos de distribuição espacial, as usinas estão concentradas no Centro-Sul do país, como forte predominância de São Paulo que, isoladamente, responde por 40,1% do total. Destacam-se, ainda, os estados de Minas Gerais e Goiás (Tabela 6).

Tabela 6 - Número de usinas sucroenergéticas por estado (2023)

Estado	Unidades	%
São Paulo	172	40,1
Minas Gerais	44	10,3
Goiás	43	10,0
Paraná	29	6,8
Alagoas	26	6,1
Mato Grosso do Sul	23	5,4
Mato Grosso	22	5,1
Pernambuco	17	4,0
Paraíba	9	2,1
Bahia	6	1,4
Outros	38	8,9
Total	429	100,0

Fonte: Novacana. Elaboração própria

Esse padrão espacial se estende, por consequência, aos principais produtos das usinas, com o Centro-Sul respondendo, respectivamente, por 93,4% da produção de álcool e 92,7% da de açúcar. A concentração em termos de produtos em São Paulo é ainda maior, mostrando que o estado possui não só o maior número de usinas, como também as maiores do país (Tabela 7).

Tabela 7 - Produção de etanol e açúcar, principais estados e regiões produtoras (2020/2021)

Estado/Região	Etanol		Açúcar	
	mil m <sup>3</sup>	%	mil tons	%
São Paulo	14.426,40	44,4	26.324,10	63,4
Goiás	5.241,40	16,1	2.319,10	5,6
Minas Gerais	3.059,20	9,4	4.709,40	11,3
Mato Grosso do Sul	2.863,60	8,8	1.846,90	4,5
Paraná	1.261,50	3,9	2.635,60	6,4
Mato Grosso	3.325,70	10,2	484,4	1,2
Alagoas	424,4	1,3	1.438,20	3,5
Pernambuco	357,9	1,1	872,3	2,1
Paraíba	406,3	1,3	143,8	0,3
Bahia	273,5	0,8	134,2	0,3
Outros	863,1	2,7	595,2	1,4
Região Centro-Sul	30.363,20	93,4	38.464,90	92,7
Região Norte e Nordeste	2.139,70	6,6	3.038,30	7,3
Brasil	32.503,00	100,0	41.503,20	100,0

Fonte: Única. Elaboração própria

Os dados da Tabela 7 revelam que em Goiás, diferentemente de São Paulo e Minas Gerais, as usinas estão focadas, sobretudo, em etanol. Enquanto o estado ocupa o segundo lugar na produção de álcool do país, com 16,1% do total, é o quarto produtor de açúcar, com apenas 5,6% do total nacional.

### 2.1.3 Distribuição

A estrutura do segmento de distribuição do SPIS tem características específicas para cada um de seus principais produtos.

#### *Distribuição de Etanol*

Diferentemente da produção de etanol em que existe elevada concorrência, na distribuição do produto há uma forte concentração em poucos grupos. No caso do etanol hidratado, três grandes grupos, Raizen, BR Distribuidora e Ipiranga e detêm mais da metade do mercado, com 52,5% do total. Outras seis empresas de médio porte distribuem 22,3% do combustível, e outros 26,2% se distribuem entre 122 empresas de menor porte (Figura 6).

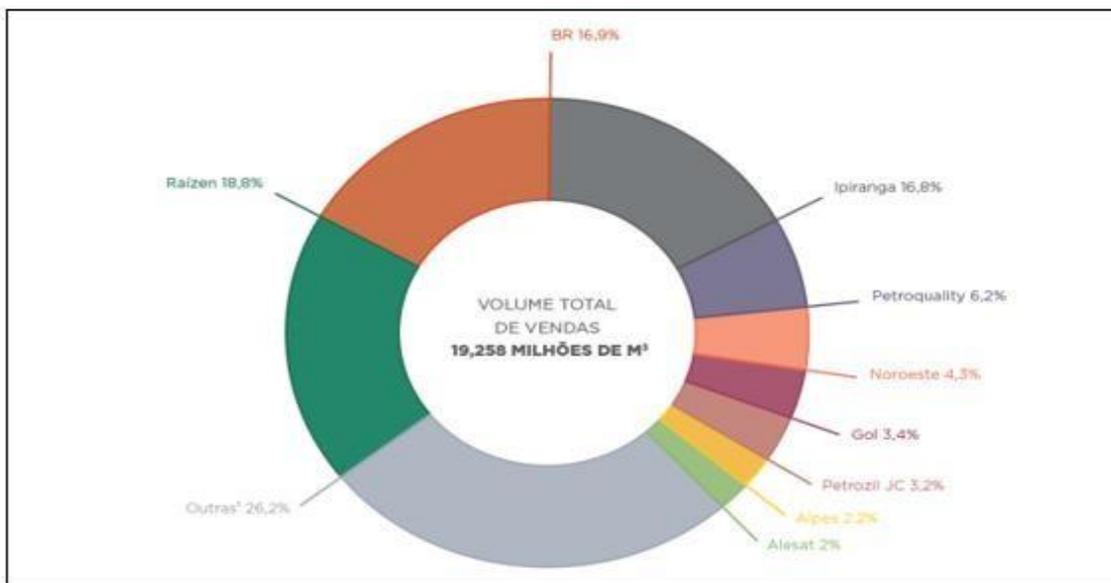


Figura 6 - Participação das distribuidoras nas vendas nacionais de etanol hidratado. Brasil, 2020.

Fonte: CADE, 2022, p. 19.

Nota: (1) inclui outras 122 distribuidoras.

O controle das três grandes, não se limita ao etanol hidratado, mas se estende a todos aos combustíveis e, portanto, também ao etanol anidro, que é misturado obrigatoriamente à gasolina. No varejo operam 41.808 postos revendedores de combustíveis líquidos, sendo que 43,2% do total é comercializado por 4 das 64 bandeiras presentes no mercado: BR (16,7%);

Ipiranga (13,2%); Raízen (10,6%); e Alesat (2,7%). As demais bandeiras têm participação muito pequena, uma vez que 46,7% do volume de combustíveis é vendido sem bandeira, ou o que se chama de bandeira branca (CADE, 2022<sup>9</sup>).

### *Distribuição de Açúcar*

Algumas das maiores empresas globais envolvidas na distribuição de açúcar incluem a Louis Dreyfus Company, a Cargill, a Archer Daniels Midland Company e a Bunge Limited. Essas empresas são gigantes multinacionais que operam em muitos setores diferentes do mercado agrícola, incluindo a distribuição de açúcar. Elas costumam adquirir açúcar de produtores em todo o mundo e distribuí-lo para fabricantes de alimentos e bebidas, bem como para varejistas.

No Brasil, a distribuição de açúcar é dominada por algumas grandes empresas, muitas das quais também estão envolvidas na produção de açúcar. A Cosan é uma dessas empresas, que através da sua subsidiária Rumo é responsável por uma parte significativa da logística do açúcar brasileiro. Outros grandes players do mercado brasileiro incluem a Copersucar e a Biosev.

O setor de distribuição de açúcar é caracterizado por um alto nível de concentração, tanto globalmente quanto no Brasil. Isso significa que uma pequena quantidade de empresas controla uma grande parte do mercado. Isso se deve em parte à natureza do setor, que requer uma infraestrutura significativa para armazenar e transportar grandes quantidades de açúcar. Além disso, a logística do açúcar envolve desafios como a manutenção da qualidade durante o transporte e o armazenamento, a necessidade de ajustar a oferta à demanda sazonal e flutuante, entre outros.

### *Distribuição Bioeletricidade*

A bioeletricidade gerada pelas usinas é distribuída pelos mesmos canais de todo o sistema elétrico nacional que é fortemente regulado. Três instituições compõem a estrutura institucional do sistema no Brasil: o Operador Nacional do Sistema (ONS); a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A ONS é responsável pela gestão do sistema físico de geração e transmissão, operando o Sistema Interligado Nacional (SIN). A CCEE responde

---

<sup>9</sup> Os dados são do final de 2020.

pela comercialização, com registro dos contratos, contabilização e liquidação. Já a ANEEL é a responsável pela regulação e a fiscalização tendo em vista assegurar a qualidade dos serviços prestados (PINTO JUNIOR e DUTRA, 2022).

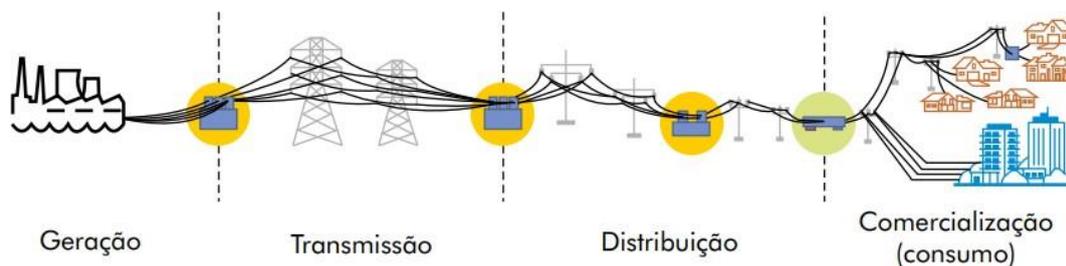


Figura 7 - Estrutura da indústria de rede de eletricidade  
Fonte: Pinto Junior e Dutra, 2022, p.28.

No modelo brasileiro pós-privatização, a transmissão e distribuição operam como monopólios naturais com empresas privadas concessionárias do Estado, mantendo a concorrência nas pontas da cadeia, de geração e comercialização (Figura 7). O segmento de transmissão é altamente concentrado, com um CR4 de 85,4%, enquanto a distribuição é moderadamente concentrada com CR4 de 63,4% (FVG, 2018; Figura 8).

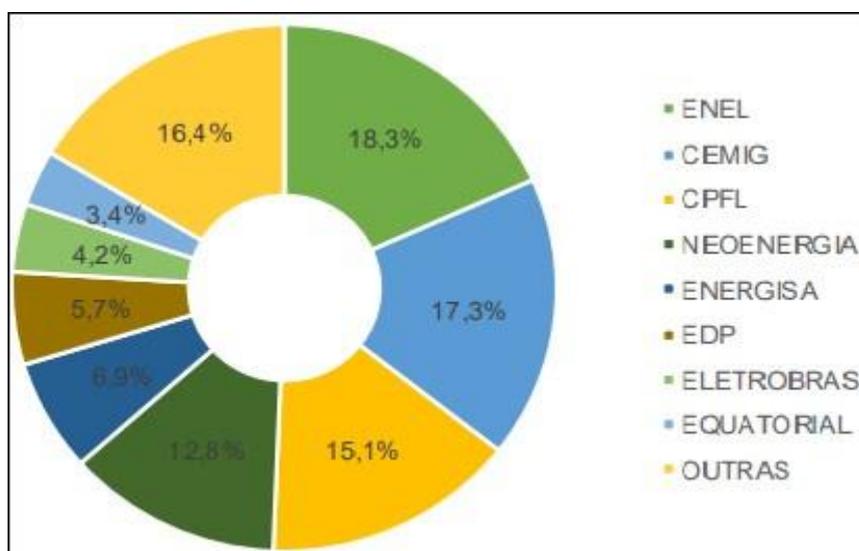


Figura 8 – Participação de mercado na distribuição de energia elétrica. Brasil (2017)  
Fonte: FVG, 2018

No elo comercialização/consumo surgiram dois novos atores, as comercializadoras e os consumidores livres. Os consumidores foram divididos em dois grupos. Os que consomem até 500 MW mês pertencem ao mercado

cativo, devendo comprar da distribuidora local. Os que estão acima dessa faixa são consumidores livres podendo tanto negociar contratos diferenciados com as distribuidoras locais, quanto comprar diretamente no mercado livre de energia.

No elo da geração criou-se a figura do Produtor Independente de Energia, no qual se incluem as usinas sucroenergéticas. Elas podem vender sua energia no mercado livre (ACL) e ou no mercado regulado (ACR). As compras no mercado regulado são realizadas por meio de leilões com regras definidas pela ANEEL e é distribuído pelas distribuidoras concessionárias locais. Já no ACR ela podem comercializar a energia gerada diretamente para o consumidores livres ou para comercializadoras, sem controle de preços.

#### **2.1.4 Insumos**

O segmento de insumos agrícolas, constituído pelas indústrias de fertilizantes, defensivos, máquinas e implementos agrícolas e sementes é fortemente oligopolizado e cada vez mais integrado.

##### *Fertilizantes*

Como grande parte da produção agrícola brasileira, a cana de açúcar depende da adubação para ampliar sua produtividade, utilizando principalmente os fertilizantes tradicionais: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). A dependência que o Brasil possui da importação desses componentes representa um grave problema econômico. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos, em 2021 o país utilizou 45,8 milhões de toneladas dos fertilizantes, dos quais 85% foram importados (ANDA, s.d.). Uma das consequências dessa elevada dependência de importações é que os preços domésticos ficam fortemente atrelados aos preços internacionais de fertilizantes

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos, com o fósforo sendo o nutriente mais consumido no país, diferentemente dos demais países, onde o nitrogênio é o principal nutriente. Os fertilizantes são commodities negociadas no mercado global.

Apesar de serem classificados como commodities internacionais, é importante frisar que os ingredientes usados na fabricação de fertilizantes necessitam de uma estrutura industrial relativamente sofisticada, intensiva em capital e escala, que é dependente de infraestrutura petroquímica (como enxofre

e ureia) e de mineração (para extração de potássio e fósforo). Por isso, a cadeia de produção é altamente concentrada à montante, enquanto à jusante é mais diversificada (SEAE, 2011, p. 4).

Em 2015, dez companhias dominavam o mercado global de fertilizantes: Agrium e Potash do Canadá, Mosaic e CF Industries dos EUA, Yara da Noruega, K+S da Alemanha, PhosAgro e Uralkali da Rússia, ICL de Israel e Sinofert da China. As três líderes - Agrium, Yara e Mosaic - eram responsáveis por 21% da produção global de fertilizantes (SANTOS e GLASS, 2018). No mercado brasileiro, as maiores empresas são Yara e Mosaic, seguidas das brasileiras Fertipar e Heringer. Em 2017, essas quatro empresas eram responsáveis por 73% do fornecimento total de fertilizantes no país. (CADE, 2020).

O uso crescente de fertilizantes tradicionais gera sérios problemas ambientais. Adubos nitrogenados são a base de amônia, produzida sinteticamente através da reação entre nitrogênio e hidrogênio, esse último dependente de combustíveis fósseis para sua produção (petróleo, gás natural ou carvão). Além das elevadas emissões de carbono durante sua produção, contaminam os cursos d'água e liberam óxido nitroso quando de sua aplicação. Parte do fosfato aplicado nas lavouras também alcança os cursos d'água, resultando em sua eutrofização, uma multiplicação de algas altamente prejudicial para os ecossistemas aquáticos. O potássio, contamina igualmente a água, além dos efeitos ambientais negativos de sua mineração.

Diversos subprodutos do processamento industrial do etanol e do açúcar são utilizados como fertilizantes orgânicos nos canaviais. A vinhaça ou vinhoto, resíduo da destilação, que é rico em potássio e crescentemente usado em fertirrigação. A torta de filtro, gerada durante o processo de filtração do caldo de cana, rica em matéria orgânica e nutrientes, como fósforo, cálcio e micronutrientes. O melão, as cinzas de caldeira e fuligem das chaminés também podem ser utilizados para fertilizar. A Dedini, por exemplo, desenvolveu e lançou no mercado um Biofertilizante Organomineral (BIOFOM) produzido com vinhaça concentrada, torta de filtro, cinzas e fuligem (DEDINI, s.d.).

Entretanto, assim como no caso de outros fertilizantes orgânicos, ainda existem desafios de escala, tecnológicos e, sobretudo, econômicos, para que possam competir com os fertilizantes sintéticos (MENEZES et al, 2021).

### *Defensivos Agrícolas*

Como em geral todas as grandes culturas agrícolas, a da cana de açúcar está sujeita a problemas sanitários, dependendo do uso de defensivos para proteger sua cultura. Pragas como a da broca comum, cigarrinha dos canaviais, broca Gigante, a lagarta Elasm e outras, são bastante frequentes. Além das pragas, a cultura canvieira é afetada por 216 doenças já identificadas, das quais cerca de 58 estão presentes no Brasil, sendo que pelo menos dez possuem forte impacto econômico na cultura (CESAR, 2021). [E-BOOK].

Estudo realizado por pesquisadores da ESAIQ estima que a cultura de cana de açúcar utiliza 2,71 kilos de ingrediente ativo IA de defensivos por hectare (AGROENDIA, 2020). Considerando a área plantada dessa cultura em 2021, de 9.990 mil ha (PAM/IBGE), foram aplicadas cerca de 27,1 mil toneladas de defensivos em sua lavoura naquele ano (AGROEMDIA, 2020)

Em 2021, a venda total de produtos formulados foi de 720,87 mil toneladas de ingredientes ativos. Desses, produtos “Químicos e Bioquímicos” representaram 99,8%, produtos “Semioquímicos, Microbiológicos e Agentes Biológicos de Controle” 3,1% e produtos “Microbiológicos” apenas 0,2% (IBAMA, s.d.) Além da total dominância dos defensivos tradicionais, altamente danosos à saúde e ao meio ambiente, o segmento é uma dos principais responsáveis pelo déficit comercial do país. O setor importou US\$ 6,2 bilhões em 2021, de um faturamento total de R\$ 13,3 bilhões (ABIQUIM, 2022)

Os gigantes globais que controlam os mercados de sementes e pesticidas têm participado em fusões e aquisições, ampliando ainda mais a concentração desses mercados. O conglomerado originalmente conhecido como "big six" (Monsanto, Bayer, Syngenta, Basf, Dow e DuPont) reduziu-se a quatro: Bayer, Basf, Syngenta e Corteva. Uma das principais preocupações discutidas nesse contexto foi o efeito conglomerado - o potencial que essas grandes corporações possuem ao operar em diversos mercados, como o de sementes, pesticidas e mercados digitais, para oferecer serviços integrados que atendem às necessidades específicas dos consumidores. Essa tática fortalece a posição de mercado dessas corporações, pois aumenta a diferenciação de seus produtos e serviços em comparação com empresas que operam apenas em certos segmentos de mercado. (CADE, 2020)

*Mudas*

O segmento de sementes agrícolas é dominado globalmente pelas mesmas empresas que controlam os defensivos e está cada vez mais baseado nas "soluções integradas" já mencionadas. A cana de açúcar, contudo, possui uma especificidade, na medida em que não utiliza sementes para seu plantio, mas sim colmos (pedaços da própria cana) ou mudas.

No Brasil, a área plantada com cana-de-açúcar abrange 9 milhões de hectares. Cerca de 15% deste total é renovado anualmente, resultando em uma área de plantio de mais de 1 milhão de hectares. O custo do cultivo varia entre R\$ 5.000,00 e R\$ 9.000,00 por hectare, com mais da metade deste valor sendo gastos com mudas.

Para minimizar os custos, muitos produtores em diversas regiões do país optaram por investir em seus próprios viveiros. Esta tecnologia pode ser aproveitada por pequenos produtores e fornecedores de cana-de-açúcar que, se desejarem, podem vender suas mudas no mercado por um valor 1,5 vezes superior ao da cana-de-açúcar destinada à indústria (REVISTA CULTIVAR, 2021).

Outra abordagem que vem ganhando força é o sistema de mudas pré-brotadas (MPB). Esse método contribui para a produção acelerada de mudas, mantendo o padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. É uma técnica de multiplicação que diminui o custo das mudas. Para iniciar a produção de mudas, são utilizados colmos, que são cortados e preparados para gerar minirrebolos em viveiros básicos, os quais originarão a muda de cana-de-açúcar (NOVACANA, 2013).

As multinacionais do setor de sementes têm desenvolvido alternativas para estender suas "soluções integradas" para a atividade canavieira. A Syngenta, desde 2017, oferece um sistema chamado Plene, que é uma solução de plantio para cana similar ao de sementes. No sistema Plene, a cana-de-açúcar é plantada na forma de microtoletes, que são bastões cilíndricos revestidos com um material fibroso. Isso protege o material de ataques de pragas e doenças, tornando os microtoletes mais produtivos, pois suportam condições que podem prejudicar a lavoura (SEMADESC, 2016).

### **2.1.5 Máquinas e Equipamentos**

A indústria de máquinas e equipamentos para a agricultura de cana-de-açúcar e para a indústria sucroalcooleira ou sucroenergética é fundamental para

garantir a eficiência e produtividade do setor. Ela engloba uma vasta gama de equipamentos, desde os utilizados na plantação e colheita da cana, até os aplicados nos processos de moagem, fermentação, destilação e cogeração de energia.

Um dos aspectos característicos dessa indústria é a necessidade de constante inovação tecnológica para atender a demandas específicas, tais como a mecanização da colheita da cana-de-açúcar, uma tendência cada vez mais forte no setor, impulsionada tanto por fatores econômicos quanto por questões ambientais e trabalhistas. Por isso, é crescente ênfase na sustentabilidade e na eficiência energética no esforço tecnológico desse segmento.

Em termos de estrutura de mercado, essa indústria tende a ser concentrada, com algumas grandes empresas dominando o setor. Essas empresas geralmente oferecem uma ampla gama de equipamentos, permitindo aos agricultores e usinas sucroalcooleiras adquirir a maioria dos equipamentos necessários de um único fornecedor. Isso também permite que essas empresas aproveitem economias de escala, tanto em termos de produção quanto de pesquisa e desenvolvimento.

Entre as principais empresas globais que fornecem para o segmento agrícola do SPIS estão a John Deere, a Case IH e a New Holland, todas com presença significativa no Brasil. No Brasil, além das multinacionais, também há empresas nacionais importantes nesse segmento, como a DMB e a Jacto, que produzem uma variedade de máquinas e equipamentos, desde colheitadeiras a pulverizadores.

Na fabricação de equipamentos para a indústria sucroenergética se destaca a Dedini Indústrias de Base, fundada em 1920. A empresa fornece uma ampla gama de equipamentos, incluindo moendas, difusores, caldeiras e outros equipamentos essenciais para a operação de usinas de açúcar e álcool. Além da Dedini, existem várias outras empresas brasileiras que também fornecem equipamentos para a indústria sucroenergética, como Zanini Renk, a Sermatec, a Nogueira e a D'Andrea.

Essa indústria é concentrada do sul e sudeste do país, principalmente no estado de São Paulo. Goiás, contudo, conta com uma unidade da John Deere focada em equipamentos para o segmento canavieiro situada na cidade de Catalão.

## 2.2 Subsistema de Capacitação e P&D

O Subsistema de Capacitação e P&D do SPIS é integrado por um conjunto de atores que possuem foco na pesquisa e desenvolvimento tecnológico nas áreas agrícola, industrial e biotecnológica, assentada em uma base mais geral de pesquisa científica e de formação de recursos humanos (Figura 9). Apesar de seus focos específicos, sua atuação se dá de forma cada vez mais integrada, perpassando essas diversas áreas.

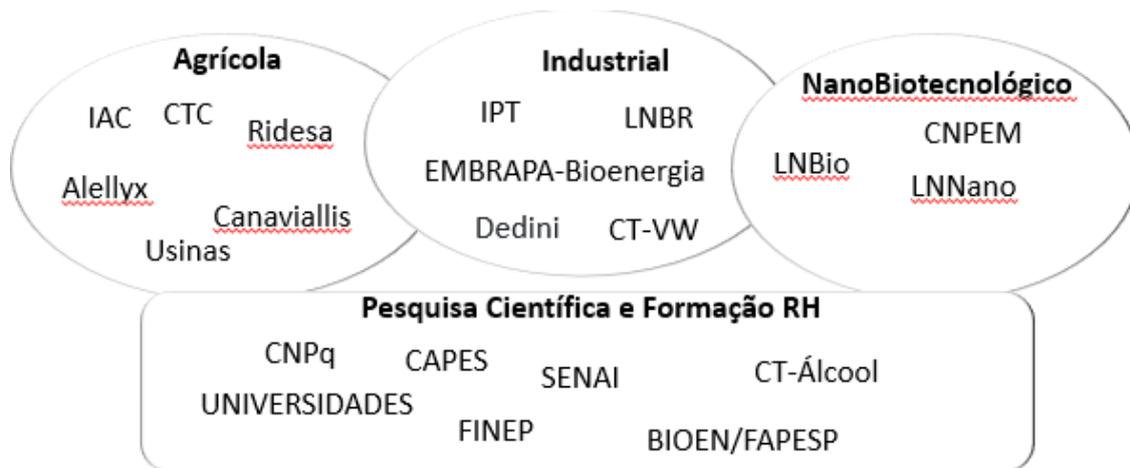


Figura 9 - Subsistema de Capacitação e P&D do SPIS  
Fonte Elaboração própria

No P&D agrícola se destacam o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Centro de Tecnologia Coopersucar (CTC), a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), a Alellyx e a Canaviallis.

O IAC, fundado em 1887, desempenha um papel central na pesquisa agrícola brasileira, incluindo a pesquisa voltada para a indústria sucroalcooleira. A instituição tem um longo histórico de pesquisa e desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar, através do seu programa de melhoramento genético. Além disso, o IAC também conduz pesquisa em outras áreas relevantes para o SPIS, incluindo manejo de solo e nutrição de plantas, controle biológico de pragas e doenças, e tecnologias de produção e processamento de açúcar e etanol. O instituto conta com rede de experimentação em 11 estados brasileiros, com cerca de 160 empresas conveniadas.

O CTC, sediado em Piracicaba-SP, foi fundado em 1970, originalmente como Centro de Tecnologia Coopersucar (CTC). Dedicava-se à pesquisa e

desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar e aprimoramento de processos produtivos, com foco nas usinas associadas à cooperativa. O CTC era sustentado por receitas provenientes das vendas da cooperativa, recursos estes considerados como despesas de assistência técnica, que posteriormente se tornou o centro das atividades.

Em 2004 a Coopersucar vendeu o CTC, que passou a ser conhecido como Centro de Tecnologia Canavieira. Esta nova entidade foi adquirida por membros da cooperativa, que reestruturaram o conselho de administração, a composição societária e o modelo de gestão. No novo formato, os associados financiam os projetos e obtêm diretamente e sem demora os benefícios resultantes das pesquisas. A ênfase do CTC passou a ser em projetos de melhoramento genético da cana-de-açúcar, abandonando a prestação de serviços em engenharia e processo industrial. Nos anos 2000 passou a desenvolver tecnologia para etanol celulósico e inaugurou em 2014 um Planta de demonstração de etanol 2G e um moderno laboratório de biotecnologia aplicada à cana. Em 2017 lançou a primeira cana transgênica no mundo e, em 2018, estabeleceu o CTC Genomics, um laboratório de fitogenética e biotecnologia nos EUA, em Saint Louis no estado do Missouri (CTC, s.d.).

A RIDESA foi criada em 1990, herdando toda a estrutura de pesquisa do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR), que havia sido constituído pelo antigo IAA em 1971. Trata-se de uma rede composta por dez universidades federais: São Carlos (UFSCar), Paraná (UFPR), Alagoas (Ufal), Pernambuco (UFPE), Sergipe (UFS), Viçosa (UFV), Rio de Janeiro (UFRRJ), Goiás (UFG), Mato Grosso (UFMT) e PiauÍ (UFPI). A Ridesa responde hoje pela maior parte da oferta de cultivares de cana plantada no Brasil (RIDESA, s.d.).

A Alellyx e a Canavialis são empresas privadas de biotecnologia criadas, respectivamente em 2002 e 2003, com recursos da unidade de novos negócios da Votorantim, que foram pioneiras na pesquisa e desenvolvimento de variedades geneticamente modificadas de cana-de-açúcar. Ambas as empresas foram adquiridas pela Monsanto (agora parte da Bayer) em 2008 (BAYER, s.d.).

A Alellyx especializou-se na pesquisa genômica da cana-de-açúcar, procurando identificar genes que conferem resistência a doenças e tolerância a estresses ambientais. A empresa tem desempenhado um papel importante na

identificação de genes de interesse e na geração de conhecimento genômico que pode ser usado para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar (BAYER, s.d.).

A Canavialis, por sua vez, focou na produção comercial de variedades de cana-de-açúcar melhoradas através da biotecnologia. A empresa desenvolveu uma extensa rede de experimentação e multiplicação de cana-de-açúcar, que permitiu a rápida disseminação de novas variedades para produtores de cana-de-açúcar (BAYER, s.d.).

Esse sistema de pesquisa e inovação do SPIS no segmento agrícola se diferencia dos sistemas dos demais complexos agropecuários brasileiros por uma menor dependência de recursos públicos, parcerias contínuas entre empresas e universidades; um menor papel da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que não é líder da pesquisa canavieira por questões históricas (FRONZAGLIA e MARTINS, 2005)

As principais instituições envolvidas com o P&D industrial no SPIS são o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), a Embrapa Agroenergia, o Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), a Dedini e o recente Centro de Pesquisa & Desenvolvimento de Biocombustíveis da Volkswagen (CT-VW).

O IPT, fundado em 1889 em São Paulo, e o INT, em 1921 no Rio de Janeiro, são os mais antigos institutos de P&D e de difusão tecnológica para a indústria no Brasil. Eles tiveram papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias e na promoção da inovação em diversos setores da economia, incluindo a indústria sucoalcooleira. Durante o Proálcool contribuíram decisivamente para a padronização do etanol e para o desenvolvimento dos carros a álcool e flex, em parceria com a indústria automobilística. Seguiram sendo relevantes no suporte ao P&D das empresas do SPIS, sobretudo em áreas como processos químicos e biotecnológicos, materiais e processos industriais (IPT, s.d; INT, s.d.)

A EMBRAPA Agroenergia foi criada em 2006 com o objetivo de desenvolver pesquisa e inovação para a produção de energia a partir de recursos agrícolas, incluindo a cana-de-açúcar. Ela tem atuado principalmente no desenvolvimento de novos processos de produção de etanol e na produção de bioenergia a partir de resíduos agrícolas (EMBRAPA, s.d.).

O LNBR, localizado em Campinas (SP), foi criado em 2010 como Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Em 2019 mudou de nome e passou a se tornar uma das instalações de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), uma organização privada sem fins lucrativos que opera quatro laboratórios nacionais e é supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Brasil (LNBR, s.d.).

O LNBR tem um papel crucial no setor sucroalcooleiro brasileiro, focando em pesquisas que visam aumentar a eficiência da produção de bioenergia e bioprodutos a partir da cana-de-açúcar e outras matérias-primas renováveis. As atividades do LNBR incluem pesquisa em genômica da cana-de-açúcar, biologia sistêmica, biotecnologia, pré-tratamento de biomassa, processos de conversão de biomassa e avaliação tecnológica e socioeconômica de bioprodutos e bioenergia. Desenvolve forte cooperação com a indústria, abrindo suas instalações para uso conjunto (LNBR, s.d.).

Além disso, o LNBR trabalha em estreita colaboração com os outros laboratórios do CNPEM: o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio), o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) e o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). Essa colaboração permite que o LNBR aproveite a expertise e as instalações desses laboratórios para realizar pesquisas multidisciplinares de alta qualidade (CNPEM, s.d.).

Por exemplo, o LNBR pode usar as instalações de microscopia avançada do LNNano para estudar a estrutura da parede celular da cana-de-açúcar e entender como ela é afetada pelos processos de pré-tratamento. Da mesma forma, pode utilizar as instalações de síncrotron do LNLS para realizar experimentos de difração de raios-X para entender a estrutura cristalina da celulose na parede celular da cana-de-açúcar. Essa colaboração entre os laboratórios do CNPEM permite ao LNBR realizar pesquisas inovadoras que podem levar a avanços significativos na produção de bioenergia, com destaque para o etanol celulósico, e bioprodutos a partir da cana-de-açúcar e outras matérias-primas renováveis (CNPEM, s.d.).

Apesar de não contar formalmente com um centro de P&D, a Dedini tem um papel ativo no sistema de inovação do SPIS, sobretudo no que diz respeito ao desenvolvimento de equipamentos e processos industriais. A

empresa desenvolve vários projetos em rede com universidades e a apoio da a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) (DEDINI, s.d.).

Um dos mais recentes atores do sistema é o Centro de Pesquisa & Desenvolvimento de Biocombustíveis América Latina (CT-VW), inaugurado pela Volkswagen, em novembro de 2022, no espaço na fábrica da Anchieta, em São Bernardo do Campo (SP). Este centro dedica-se à investigação de tecnologias baseadas em etanol e outros biocombustíveis para mercados emergentes, com foco em energia limpa para combustão e soluções híbridas. O objetivo primordial é descobrir alternativas que promovam uma mobilidade sustentável que complemente a eletrificação dos veículos.

A empresa pretende colaborar com universidades, institutos e startups, visando explorar o conhecimento e potencial local no setor de biocombustíveis. Também planeja estabelecer parcerias com outras empresas do segmento. Como um dos primeiros passos nessa direção, em outubro de 2021, a Raízen, a Shell (uma das empresas que controla a Raízen, juntamente com a Cosan) e a Volkswagen do Brasil anunciaram um acordo para reduzir a pegada de carbono do setor automotivo. As iniciativas desse acordo incluem o desenvolvimento de uma nova fórmula de etanol, pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis, e ações para promover o uso do etanol globalmente.

Todas as instituições mencionadas atuam igualmente na formação e capacitação de recursos humanos altamente qualificados, promovendo ou apoiando atividades de pós-graduação em suas áreas de especialidade. Além disso, o SPIS conta com toda a estrutura de formação e pesquisa científica do Sistema Nacional de Inovação (SNI) brasileiro, com instituições como a CAPES, o CNPQ, a FINEP, as universidades e as fundações estaduais de amparo a pesquisa. Entre essas últimas, destaca-se a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (Fapesp), com um longo histórico de apoio ao P&D no segmento.

Em 2008, a Fapesp integrou suas ações nesse campo com a criação do programa de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN-Fapesp) com o objetivo de atender à necessidade brasileira de progresso científico e tecnológico na produção de bioenergia, especialmente no que se refere à cana-de-açúcar. Para alcançar esse objetivo, o programa promove e coordena atividades de pesquisa que ocorrem em instituições públicas e privadas. O BIOEN é estruturado em cinco áreas temáticas: Biomassa para bioenergia, Processos de produção de

biocombustíveis, Biorrefinarias e alcoolquímica, Utilização de etanol em motores de veículos e Impactos socioeconômicos, ambientais e uso da terra (FAPESP,s.d.).

O Serviços Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) é, igualmente, uma ator chave do subsistema, sobretudo no que se refere à prestação de serviços e formação de recursos humanos no nível técnico e tecnológico para as empresas. As unidades do SENAI nos principais polos do SPIS no país são altamente focadas em atender as necessidades do segmento sucroenergético. Exemplos importantes são o Centro Mario Dedini, do Senai de Piracicaba (SP) e a unidade Senai Sertãozinho (SENAI, s.d.)

Tem-se observado uma mudança significativa na maneira como a organização para a inovação ocorre no subsistema de capacitação e P&D do SPIS. A relação entre instituições de pesquisa, o setor produtivo e agências de fomento está evoluindo. A formação de parcerias e a coordenação de atividades, entre outras estratégias, indicam a emergência de inovações organizacionais adotadas por instituições de pesquisa públicas e privadas no sistema de inovação do setor.

Incentivos criados pela demanda, a busca por eficiência na alocação de recursos públicos, a geração de retornos econômicos no desenvolvimento privado e a busca por resultados financeiros em atividades tecnológicas são elementos importantes. Agentes econômicos, investidores e pesquisadores criam redes de relações que direcionam a reorganização do sistema de inovação.

A introdução de novos modelos organizacionais, antes inexistentes no sistema de inovação sucroalcooleiro, demonstra que estruturas complementares se beneficiam das competências já desenvolvidas dentro e fora do sistema. Um exemplo é o investimento de capital privado para gerar resultados tecnológicos apropriáveis com retorno financeiro.

Essa dinâmica indica uma mudança institucional, na qual as estratégias de mudança surgem de uma nova visão de Ciência, Tecnologia & Inovação (CT&I) para os diversos atores do sistema de inovação. A razão para essas mudanças pode ser explicada pelo processo de internalização de uma nova

concepção de produção de conhecimento científico e tecnológico (FRONZAGLIA e MARTINS, 2005).

A inserção de Goiás nesse subsistema se dá principalmente pela participação da UFG na RIDESA. Essa inserção se deu por meio do programa PMGCA-UFG/RIDESA, que foi oficialmente criado em 27 de outubro de 2003 através de um convênio entre a UFG e outras sete universidades. Inicialmente, as atividades do programa, com foco em melhoramento genético, eram conduzidas pela UFSCar em São Paulo. Contudo, para abordar as condições ambientais específicas da região de Goiás, a UFG começou a implementar as atividades do programa a partir de 2004. Com a cessão dos convênios que a UFSCar mantinha com empresas de Goiás, a UFG passou a liderar o processo de melhoramento no estado a partir de 2005. Dez usinas e destilarias de Goiás e duas do Tocantins assinaram acordos de cooperação no âmbito do programa (UFG, s.d.).

O primeiro coordenador do PMGCA-UFG foi o professor Edward Madureira Brasil<sup>10</sup>, que contou com a colaboração de professores da UFSCar e de outras universidades. Atualmente, em 2023, o programa continua a ser conduzido pela UFG, e tem se beneficiado da contratação de profissionais especializados em genética e melhoramento de plantas, a fim de apoiar as atividades de pesquisa do programa. A administração financeira dos recursos obtidos junto ao setor privado tem sido gerida pela FUNAPE, a fundação de apoio à pesquisa da UFG (UFG, s.d.).

Entretanto, apesar dos avanços, o subsistema de inovação do SPIS sofre com as limitações e fragilidades do SNI brasileiro. Os instrumentos de coordenação são muito frágeis, sobretudo no setor público, com a ausência de uma instância governamental capaz de articular as políticas de inovação para o segmento. Além de fragmentadas, as políticas de inovação no Brasil são lineares e setoriais, e os recursos destinados são muito aquém das necessidades e do potencial que o Brasil tem de assumir a liderança global nesse segmento.

---

<sup>10</sup> O professor Edward também exerceu dois mandatos como Presidente da RIDESA, 2011-2013 e 2018-2021.

### 2.3 Subsistema de Representação e Promoção

Até o início dos anos 1990 era fortemente regulado, tendo suas funções de coordenação e suporte concentrados no Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA). Por meio do IAA o Estado regulava as cotas de produção, preços, controlava os contratos de fornecimento de cana e detinha o monopólio do comércio internacional de seus principais produtos.

Com a desregulamentação do segmento e a extinção do IAA, o setor reagiu prontamente avançando em sua organização e na constituição de mecanismos de governança privada, com a criação de novas associações representativas como a UNICA, e reformulação e fortalecimento de instituições mais antigas como robustas como a UDOP, a ORLANA e a COPERSUCAR, além de criar mecanismos de autogestão da cadeia como o CONSECANA. Todas essas organizações representam, sobretudo, os interesses de plantadores de cana e da indústria sucroenergética de São Paulo, se estendendo para o Sul-Sudeste. Mais recentemente, no início de 2019, representantes do setor sucroenergético da região Nordeste, juntamente com alguns representantes de usinas do Norte e do Centro-Oeste, Centro-Sul e Norte do Brasil criaram a Associação de Produtores de Açúcar e Bioenergia (APAB), para representar mais diretamente seus interesses (Figura 10).

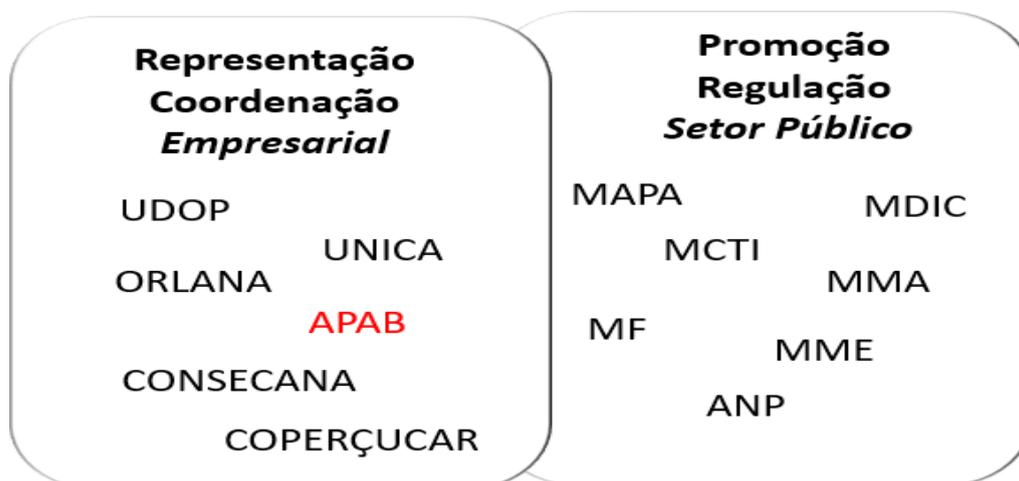


Figura 10 - Subsistema de representação e promoção do SPIS

Fonte: Elaboração própria

Obs: Associação de Produtores de Açúcar e Bioenergia (APAB), aparece em vermelho porque é ainda muito recente é pairam dúvidas sobre a sua continuidade.

A UDOP (União Nacional da Bioenergia) foi fundada em 1985 pelos representantes das destilarias autônomas criadas pelo Proálcool. A partir da desregulamentação do setor ela se transformou para representar os interesses

das unidades agroindustriais produtoras de bioenergia no Brasil, principalmente etanol e energia elétrica a partir da biomassa. Com foco em inovação, tecnologia e sustentabilidade, a UDOP tem sido uma voz importante no setor, contribuindo para o desenvolvimento e implementação de práticas agrícolas sustentáveis e eficientes. Entretanto, representa principalmente as usinas do Centro-Sul, com forte participação da São Paulo (UDOP, s.d.).

A Organização de Associações de Produtores de Cana do Brasil (ORPLANA) foi fundada em 1976, com o objetivo de organizar plantadores de cana e ampliar sua representatividade. Ela congrega 32 associações de produtores locais e regionais no Centro-Sul do país, principalmente de São Paulo. Desde 1973, a ORPLANA tem atuado como um elo importante entre os produtores de cana-de-açúcar e as indústrias de açúcar e etanol, desempenhando um papel vital na negociação de contratos e na defesa dos direitos dos produtores (ORPLANA, s.d.).

A União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (Unica) foi fundada em 1997, a partir da fusão de várias organizações setoriais do segmento de São Paulo, em resposta ao processo de desregulamentação. Tornou-se, rapidamente, a maior organização representativa do setor de açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil. A UNICA tem desempenhado um papel vital na defesa dos interesses do setor, promovendo a competitividade e a sustentabilidade da cana-de-açúcar brasileira. A entidade tem também trabalhado em estreita colaboração com o governo e outras partes interessadas para moldar políticas e regulamentos que apoiem o crescimento e a sustentabilidade do setor (UNICA, s.d.).

O CONSECANA (Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo) é uma entidade formada por representantes dos produtores de cana-de-açúcar e das indústrias de açúcar e álcool do estado de São Paulo, Brasil. Ele foi estabelecido em 1999 com o objetivo de desenvolver um sistema mais transparente e justo para a precificação da cana-de-açúcar, em substituição ao sistema de determinação de preços pelo Estado.

O principal produto do CONSECANA é o sistema de precificação da cana-de-açúcar, que é baseado no conceito de valor da cana-de-açúcar em função de seus produtos, que são o açúcar e o etanol. O valor da cana-de-açúcar é determinado mensalmente, levando em consideração os preços desses

produtos no mercado, a quantidade de cana-de-açúcar necessária para produzi-los, e os custos envolvidos no processo produtivo. O sistema de precificação do CONSECANA é considerado uma referência para o setor, sendo adotado por diversos estados brasileiros e utilizado como base para a negociação de contratos de fornecimento de cana-de-açúcar (CONSECANA, s.d.).

A Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool de São Paulo (Coperçucar) foi fundada em 1959, por um grupo de produtores de açúcar e álcool do estado de São Paulo, com o objetivo de unificar e fortalecer a posição dos produtores em um mercado altamente competitivo. A cooperativa atuava na comercialização, na negociação com o governo e no apoio ao desenvolvimento tecnológico, tendo criado, em 1979, Centro de Tecnologia Coperçuçar (CTC), que deu origem ao atual CTC.

Em 2008, a Coperçucar passou por uma reestruturação que resultou na criação da Coperçucar S.A. Tornou-se uma comercializadora que atua na logística, venda e exportação dos produtos dos cooperados. A Coperçucar S.A. opera terminais portuários e sistemas de transporte para garantir que o açúcar e o etanol produzidos pelos cooperados cheguem aos mercados doméstico e internacional de maneira eficiente (COPERÇUCAR s.d.).

Como já mencionado, em abril de 2019 foi criada a APAB, para representar os interesses principalmente das usinas do Nordeste. A nova instituição nasceu com 30 empresas e associações dos nove estados nordestinos, além algumas no Pará, Goiás e Espírito Santo. Sua origem imediata foi a divisão do setor em torno da defesa da realização de venda direta das usinas aos postos, sem precisar passar pelas distribuidoras (BRASILAGRO, 2019).

A UNICA foi contrária a essa proposição, por já contar com uma forte estrutura logística, por seus efeitos sobre a tributação e sobre a operação do RENOVABIO, e por que a legislação que as empresas produtoras possam criar suas próprias distribuidoras, se assim o desejarem (UNICA, 2018). Para as usinas nordestinas, entretanto, situadas próximas ao Litoral e dos grandes centros consumidores a proposta era favorável.

Contudo, a criação da APAB reflete uma questão mais de fundo, relacionada ao fato de que as principais instituições não representam os interesses do segmento no Nordeste, que possui uma série de características

próprias. A grande dúvida é se a nova instituição vai se firmar e sobreviver, passada a demanda imediata da venda direta.

Além das instituições de representação nacional, em nível estadual e local estão presentes sindicatos patronais da indústria do açúcar e do álcool, vinculados ao sistema da Confederação Nacional da Indústria (CNI), e grande número de associações locais de produtores, vinculadas, em geral, às representações nacionais. O estado de Goiás conta com o SIAFAEG e o SIFAÇUCAR, que são integrados na prática e bastante atuantes. Além disso, possui duas associações vinculadas à ORELANA: Associação dos Produtores de Matérias-Primas para as Indústrias de Bioenergia de Goiás (APMP), situada em Rio Verde (Go), e a Associação dos Fornecedores de Cana de Goiás (APROCANA), que tem sede em Quirinópolis (Go) (SIFAEG, s.d; ORELANA, s.d.).

Após o processo de desregulamentação, as políticas para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, bem como sua regulação, passaram a ser responsabilidade de diferentes estruturas em diversos ministérios (Figura 11).

<b>Ministério</b>	<b>Secretaria</b>	<b>Coordenação/Departamento</b>
Ministério da Fazenda (MF)	Secretaria de Acompanhamento Econômico	Coordenação-Geral de Energia – COGEN
Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC)	Secretaria de Desenvolvimento da Produção	Coordenação-Geral de Análise da Competitividade e Desenvolvimento Sustentável (CGACDS)
Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)	Secretaria de Produção e Agroenergia	Departamento de Cana-de-Açúcar e Agroenergia; Coordenação-Geral de Açúcar e Alcool
Ministério de Minas e Energia (MME)	Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis	Departamento de Combustíveis Renováveis
		Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)
Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC)	Coordenação-Geral de Tecnologias Setoriais

Figura 11 - Organizações federais de promoção e regulação ao SPIS  
Fonte: SOUSA, 2015. Elaboração própria.

Entretanto, apesar dos avanços institucionais, a fragmentação das políticas de apoio à bioeconomia do etanol em diversas secretarias e agências de cinco diferentes ministérios, sem uma instância efetiva de coordenação, resulta em dispersão de esforços e baixa efetividade estratégica.

## 2.4 Subsistema de Financiamento

As principais formas de financiamento do setor crédito agrícola e para o desenvolvimento industrial e tecnológica (BNDES/FINEP), fundos constitucionais de financiamento (FNE, FCO, FNO) e crescentemente as novas formas de financiamento securitizadas e o mercado de capitais. Essa conexão entre o setor agrícola e o mercado de capitais tem aumentado ao longo das últimas décadas, com atores importantes da agricultura impulsionando esses novos projetos.

Por muito tempo, o capital financeiro foi relutante em investir diretamente na agricultura, principalmente devido aos riscos associados. Por isso, o Estado desempenhou um papel crucial no fornecimento de apoio a agricultores através de empréstimos, hipotecas e outros subsídios. No Brasil, o Estado foi quase o único financiador da agricultura por muitas décadas.

A modernização da agricultura no final do século XX resultou em uma transformação intensa que demandou um grande volume de capital para financiar suas atividades. Nesse contexto, foram criados novos mecanismos de financiamento, incluindo a Cédula do Produtor Rural (CPR), o Certificado de Depósito Agrícola (CDA), o Warrant Agropecuário (WA), o Certificado de Direitos Creditórios do Agronegócio (CDCA), e a Letra de Crédito do Agronegócio (LCA), entre outros (SCHEDENFFELDT, 2021).

A partir de 2020, o financiamento da agricultura pelo mercado financeiro ganhou um novo impulso com a aprovação da chamada Lei do Agro, que visa modificar os marcos regulatórios da concessão de crédito ao setor. Além disso, foram criados novos mecanismos de garantia nas operações de financiamento rural, como o patrimônio rural em regime de afetação e a Cédula Imobiliária Rural (CIR) (SCHEDENFFELDT, 2021).

Em 2021, uma lei foi criada que autoriza o registro de fundos de investimento na Bolsa de Valores voltados para a alocação de capital em imóveis rurais, oferecendo benefícios aos investidores. Esta lei representa uma das principais mudanças no setor e tem um grande impacto sobre as terras e o processo de financeirização (SCHEDENFFELDT, 2021).

Com o passar do tempo, a relação da agricultura com o capital financeiro tornou-se mais direta e substancial. Os novos mecanismos de financiamento,

como a Cédula do Produtor Rural (CPR), facilitaram a participação de empresas de insumos, agroindústrias e tradings na provisão de crédito aos produtores. Isso permitiu a venda antecipada da produção do agricultor, estimulando uma maior relação com o mercado financeiro.

Os títulos financeiros como o Certificado de Direitos Creditórios do Agronegócio (CDCA), o Certificado de Recebíveis do Agronegócio (CRA) e a Letra de Crédito do Agronegócio (LCA) são instrumentos destinados ao refinanciamento de recebíveis originados em relações comerciais entre produtores e empresas. Essas novas formas de financiamento indicam uma mudança no modelo de financiamento da produção agrícola, que agora favorece a expansão do agronegócio com maior participação do setor privado (PARREIRA, 2023).

A abertura do capital na bolsa de valores tem sido outra forma de financiamento do segmento que tem crescido. Grandes grupos sucroalcooleiros como Cosan e São Martinho foram os primeiros. Em 2021, o grupo Jalles Machado, do estado de Goiás, realizou seu IPO com grande sucesso, o que tem estimulado grupos médios como CerradinhoBio, a Cocal, a CMAA e a Colombo a cogitarem a possibilidade. A grande instabilidade do segmento, entretanto, que tem se refletido em fortes oscilações nos preços das ações das empresas, é um limitador para maiores avanços (UDOP, 2021).

Em 2021, a criação dos Fundos de Investimento nas Cadeias Produtivas Agroindustriais (Fiagro) e a permissão para que fundos de investimento sejam registrados na Bolsa de Valores para a alocação de capital em imóveis rurais marcaram uma evolução significativa no setor. Os recursos aportados pelos investidores nesses fundos são aplicados em recebíveis, imóveis rurais ou participações societárias em atividades do agronegócio (PARREIA, 2023).

No entanto, esses novos instrumentos tiveram inicialmente um baixo poder de captação de recursos, representando apenas cerca de 7% dos recursos totais. Porém, atualmente, eles representam uma parcela mais significativa dos recursos para o financiamento do agronegócio no Brasil, intensificando a relação entre a agricultura e o capital financeiro.

### 3 POTENCIALIDADES DO SPIS

Esse capítulo discutirá as potencialidades do SPIS, que estão associadas aos desafios tecnológicos e as pressões ambientais. Os desafios tecnológicos do sistema e as crescentes exigências ambientais representam oportunidades para que o sistema avance em termos de agregação de valor e amplie sua capacidade de contribuir para o desenvolvimento dos territórios em que atuam. A agregação de valor com sustentabilidade no SPIS será tratada em dois grandes campos: a produção mais eficiente e sustentável; e a diversificação com o desenvolvimento de coprodutos e novos produtos. Embora esses dois campos se interpenetrem, cada um possui seus próprios desafios tecnológicos, demandando elevados investimentos em P&D e na produção, com potencial para geração de empregos de qualidade e promoção de desenvolvimento nas regiões produtoras.

#### 3.1 Produção mais eficiente e sustentável

Envolve o desenvolvimento e utilização de tecnologias que asseguram eficiência produtiva, o que está associado, sobretudo, à aumento de produtividade e redução de custos de produção, e sejam comprometidas com a agenda ASG (Ambiente, Social e Governança)<sup>11</sup>. Isto é, adote práticas socioambientais sustentáveis, tanto na etapa agrícola como na industrial do SPIS, o que implica no compromisso com:

- Respeito ao ZAE Cana;
- redução das emissões de GEE;
- regeneração do solo e da sua biodiversidade;
- redução e reaproveitamento de resíduos;
- aumento da fixação de carbono e nitrogênio no solo;
- geração de trabalho qualificado no campo;
- aumento do conhecimento e da autonomia dos produtores(as) rurais;
- diminuição da dependência de insumos agropecuários externos;
- redução do consumo e reaproveitamento da água;
- aumento da eficiência energética no processamento;
- redução de desperdícios. (KIESZKOWSKI, 2021, CASTRO, 2019)

Os principais desafios tecnológicos para a produção mais eficiente e sustentável no SPIS estão sintetizados no Quadro 3 . Com exceção do que se refere ao etanol celulósico, ou de segunda geração (2G), trata-se de tecnologias

---

<sup>11</sup> Mais conhecida por sua sigla em inglês ESG (Environmental, Social and Governance).

já dominadas, de forma que os desafios se referem a inovações incrementais e sua difusão e adoção em um sistema produtivo bastante heterogêneo. No caso do etanol 2G, apesar dos significativos avanços nos últimos anos, ainda persistem gargalos importantes sobretudo quanto a integração e escalonamento de processos de pré-tratamento, hidrólise e fermentação (LORENZI, B.R; ANDRADE, 2019).

Quadro 3 - Principais desafios tecnológicos do SPIS para a produção mais eficiente e sustentável

<b>Etapa Agrícola</b>	<b>Etapa Industrial</b>
Desenvolvimento novas variedades de cana com maiores teores de açúcar ou fibras (cana energia).	Aumento da eficiência energética no processo de produção
Aprimoramento das técnicas de manejo do solo e de plantas	Melhorias nos equipamentos, especialmente para geração de calor
Aumento da produtividade agrônômica da cana (rendimento) por área plantada	Aprimoramento de processos de produção e conversão da energia da biomassa
Substituição de fertilizantes e defensivos químicos de base fóssil por biológicos e outras alternativas sustentáveis	Desenvolvimento de tecnologias de co-geração de energia
Aprimoramento e desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e sustentáveis para plantio, trato e colheita	Desenvolvimento de processos de destilação avançados
Desenvolvimento de novas tecnologias de plantio, a exemplo de mudas pré-brotadas (MPB) e “sementes de cana”.	Automação e monitoramento por meio do uso de sensores, softwares e inteligência artificial
Avanço na automação e na adoção de agricultura de precisão, com o uso de drones, visão computacional, IoT e big data analytics.	Desenvolvimento de rotas de produção do etanol celulósico
Modernização e informatização da gestão com a adoção de plataformas ERP (Enterprise Resource Planning) e outras.	

Fonte: SANTOS et al., 2016; SILVA, 2015. Elaboração própria.

O enfrentamento desses desafios tem gerado oportunidades econômicas e impulsionado o desenvolvimento principalmente por meio dos investimentos das usinas necessários para enfrentá-los, pela estruturação do mercado de carbono com foco no segmento, e por novas empresas que produzem os bens e serviços demandados pelo processo. Essas últimas são, em geral, *startups* que vêm se desenvolvendo para atender as exigências de modernização e sustentabilidade do agronegócio.

Analisaremos, a seguir, esses movimentos utilizando os dados de investimentos realizados pelas usinas no Brasil e em Goiás, com base em recursos do BNDES, do novo mercado de carbono e o de criação de startups.

### 3.1.1 Investimentos com recursos do BNDES

A maior parte dos investimentos das usinas são realizados com investimentos do BNDES, em suas diferentes linhas e programas. Trata-se do principal instrumento de financiamento de longo prazo da economia brasileira<sup>12</sup>. Junta-se ao BNDES no financiamento específico à inovação, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), vinculada ao Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), com uma participação bem mais modesta.

Em 2011 foi lançado o Plano BNDES-Finep de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico (PAISS), com o objetivo de incentivar a inovação tecnológica e a sustentabilidade no setor sucroenergético e sucroquímico brasileiro. O PAISS, que ficou conhecido como PAISS industrial, possuía três linhas temáticas: bioetanol de 2ª Geração; novos produtos de cana-de-açúcar; e gaseificação, incluindo tecnologias, equipamentos, processos e catalisadores (FINEP, s.d). Sua ação, portanto, estava mais diretamente vinculada ao nosso segundo campo, que se refere à diversificação do SPIS, e que será tratado mais à frente.

Em 2014 foi lançado o PAISS agrícola, com foco na modernização produtiva e na sustentabilidade no segmento. Entre 2014 e 2015, período em que operou o programa, foram contratados 19 projetos somando investimentos de R\$ 504 milhões (FINEP, s.d.).

Entretanto, apesar de apenas o PAISS agrícola ter uma ligação mais direta com o primeiro campo, o programa como um todo é um marco nos investimentos em modernização tecnológica com foco na sustentabilidade do segmento. Isso porque, seu lançamento, em 2011, foi acompanhado de uma maior envolvimento do BNDES no financiamento do SPIS, por meio de suas diferentes linhas e uma maior exigência do banco em relação ao cumprimento de requisitos ambientais para ter acesso aos mesmos.

Entre 2011 e 2022, somando-se os recursos das operações não automáticas do BNDES, tanto as diretas quanto indiretas, com as automáticas indiretas, mais os recursos liberados em conjunto com a FINEP no PAISS

---

<sup>12</sup> No caso nas usinas situadas nos estados de regiões menos desenvolvidas se conta, igualmente, com os recursos dos Fundos Constitucionais. No caso de Goiás, o Fundo Constitucional do Centro-Oeste (FCO). Contudo, como mencionado na metodologia, nos concentraremos nos financiamentos do BNDES, uma vez que não estão disponíveis os dados do FCO específicos para o segmento sucroalcooleiro.

industrial, as usinas sucroalcooleiras investiram R\$ 39,3 bilhões entre 2011 e 2022 (BNDES, s.d.; FINEP; s.d.)

Observando-se as operações diretas e indiretas não automáticas, para as quais existem dados mais detalhados para todo o período, pode-se observar uma elevação expressiva nos financiamentos concedidos às usinas entre 2011 e 2014, no auge do PAISS, tanto em valores absolutos quanto na participação do total destinado pelo BNDES para a agropecuária e a indústria de transformação (Tabela 8).

Tabela 8 - Contratações de crédito do BNDES por segmento. Operações diretas e indiretas não automáticas (2011-2022)

Ano	Segmentos		Participação Sucroalcooleiro no total (%)
	Total Agropecuária e Indústria de Transformação	Sucroalcooleiro	
2011	26.321,9	1.583,5	6,0
2012	31.839,7	2.774,5	8,7
2013	28.930,9	2.894,9	10,0
2014	33.227,7	2.392,6	7,2
2015	19.789,5	937,5	4,7
2016	11.701,7	406,3	3,5
2017	8.224,2	313,6	3,8
2018	15.218,1	2.422,7	15,9
2019	8.694,0	716,6	8,2
2020	8.390,5	1.101,6	13,1
2021	13.009,7	1.088,7	8,4
2022	15.333,0	977,2	6,4
Total	220.680,9	17.609,6	8,0

Fonte: BNDES (s.d.). Elaboração própria.

A partir de 2015 se observa uma queda geral dos financiamentos do BNDES, em razão da mudança de orientação do governo federal e a crise econômica no país. Ainda assim, os investimentos no segmento sucroalcooleiro permaneceram importantes, alcançando, em todo o período (2011-2022) a cifra de R\$ 17,6 bilhões, o que correspondeu a 8% de todo o valor contratado pelo BNDES nessas operações (Tabela 8).

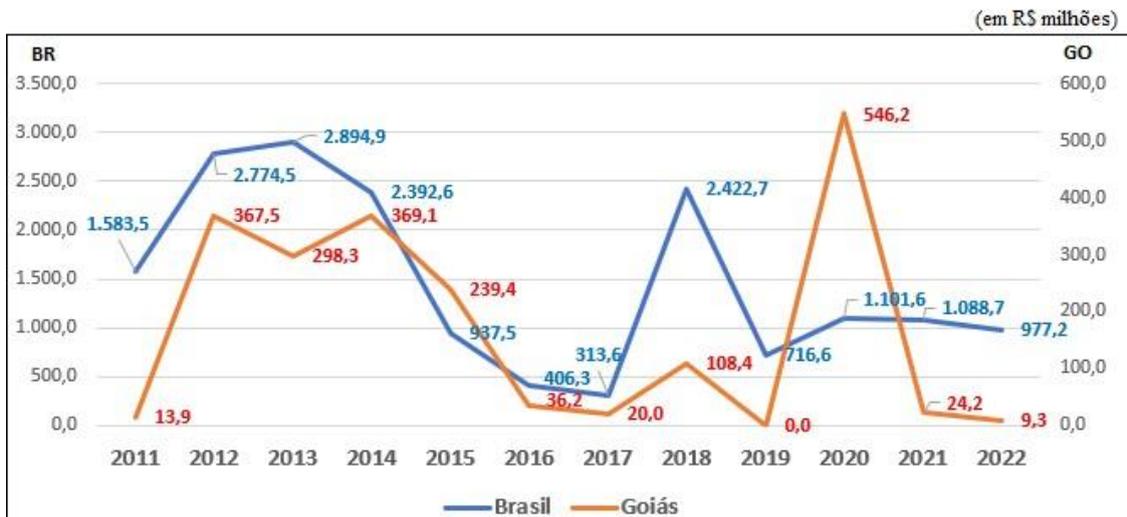


Figura 12 - BNDES: Valor operações não-automáticas do setor sucroalcooleiro. Brasil e Goiás (2011-2022)

Fonte: BNDES (s.d.). Elaboração própria.

A Figura 12 revela que as usinas instaladas em Goiás acompanharam esse movimento, com investimentos que somaram R\$ 2,03 bilhões no período 2011-2022, o que representou 11,5% de todas as inversões dessas operações do BNDES<sup>13</sup>.

Abrindo-se os dados das operações não automáticas por projeto, é possível verificar que, dos R\$ 17,6 bilhões investidos pelas usinas brasileiras no período, R\$ 3,7 bilhões foram investidos diretamente em projetos de modernização produtiva, inovações e sustentabilidade, dos quais R\$ 882,4 milhões especificamente em ASG, no âmbito do RENOVABIO (Política Nacional de Biocombustíveis). Além disso, todos os empréstimos do BNDES são condicionados à agenda ambiental das empresas, que inclui, entre outras exigências, a não utilização de queimadas e o respeito ao Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar (ZAC) (BNDES, s.d.).

Assim, além terem tomado recursos diretamente para a inovação e melhoria de seu desempenho ambiental, as usinas foram induzidas a se comprometer com a agenda ASG para ter acesso aos demais recursos do BNDES necessários para suas diferentes necessidades, como expansão de capacidade, por exemplo.

<sup>13</sup> Somadas as operações indiretas automáticas os investimentos totais das usinas do estado com recursos do BNDES alcançaram R\$ 4,1 bilhões (BNDES, s.d.). Lembrando que, em Goiás, as usinas utilizam também recursos do FCO e, que, portanto, o valor de seus investimentos pode ter sido significativamente maior.

### 3.1.2 RENOVABIO e os CBIOs

Outra oportunidade econômica associada à busca de produção mais eficiente e sustentável no SPIS está associada ao mercado de carbono. O RenovaBio foi criado pela Lei nº 13.576/2017 tendo como objetivo principal "estabelecer metas compulsórias de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, de forma a contribuir para o atendimento dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris" (BRASIL, 2017). O programa possui três instrumentos de implementação: metas de descarbonização; certificação da produção eficiente de biocombustíveis; e créditos de descarbonização (CBIOs) (ANP, 2022).

O mercado de carbono representa um oportunidade de grandes dimensões. Segundo o International Finance Corporation (2016), o Acordo Climático de Paris poderá resultar em US\$ 23 trilhões em oportunidades de investimento apenas nos mercados emergentes entre 2016 e 2030. De acordo com estimativas do Banco Mundial (WORLD BANK, 2020) o valor total do mercado global de carbono em 2020 foi de cerca de US\$ 272 bilhões, acima dos US\$ 214 bilhões em 2019. Isso foi amplamente impulsionado pelo Sistema de Comércio de Emissões da UE (EU ETS), o maior mercado de carbono do mundo.

No Brasil esse mercado encontra-se em fase inicial de estruturação. Várias iniciativas estão em curso, mas é no campo dos biocombustíveis, a partir do RenovaBio e seus instrumentos, que se registram os avanços mais concretos. O instrumento principal são os CBIOs, estabelecidos pelo Decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019 (BRASIL, 2019). Eles são emitidos por produtores e importadores de biocombustíveis certificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e são negociados no mercado financeiro.

A operação de emissão e negociação dos CBIOs funciona da seguinte maneira:

- Emissão: Produtores e importadores de biocombustíveis que possuam a Certificação RenovaBio emitida pela ANP podem emitir CBIOs, onde cada CBIO equivale a uma tonelada de CO<sub>2</sub> evitada. A quantidade de CBIOs que podem ser emitidos é calculada com base na quantidade de biocombustível produzido ou importado e no seu fator de redução de emissões em relação aos combustíveis fósseis.
- Registro: Os CBIOs são registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e na B3, a bolsa de valores brasileira.

- **Negociação:** Os CBIOs podem ser negociados no mercado financeiro como qualquer outro ativo. Investidores, empresas e distribuidoras de combustíveis podem comprar e vender CBIOs na bolsa de valores.
- **Aquisição e comprovação:** As distribuidoras de combustíveis são obrigadas a adquirir uma quantidade de CBIOs proporcional ao volume de combustíveis fósseis que comercializam. Essa quantidade é estabelecida por metas individuais de descarbonização definidas pela ANP. Ao final de cada ano, as distribuidoras devem comprovar a aquisição dos CBIOs junto à ANP, demonstrando o cumprimento de suas metas (ANP, s.d.; CCEE, s.d.).

Os CBIOs são uma forma de precificar o valor ambiental dos biocombustíveis e promover a substituição de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução das emissões de gases do efeito estufa e para o combate às mudanças climáticas. Mas são, igualmente, uma importante nova fonte de geração de renda para as usinas e, conseqüentemente para o desenvolvimento das regiões onde elas se encontram implantadas.

A meta de emissão de CBIOs para 2022, definida pela ANP, é de 37,47 milhões de CBIOs (OBSERVATÓRIO DA CANA, s.d.). Utilizando-se o preço médio dos CBIOs, em 01/02/2023, de R\$ 100,00 cada (UDOP, 2023), estima-se um volume anual de R\$ 3,75 bilhões gerados em créditos de carbono, evidenciando o potencial econômico dessa nova ferramenta no país.

Outra ferramenta importante do RenovaBio é a Nota de Eficiência Energética Ambiental (NEEA), utilizada para certificar que as usinas estão produzindo o etanol de forma ambientalmente eficiente. Para obtê-la as usinas devem demonstrar seu efetivo comprometimento com a agenda ASG. As usinas certificadas pelo programa são obrigadas a emitir o NEEA anualmente, garantindo a melhoria contínua de seu desempenho ambiental (ANP, s.d.).

Assim, o número de usinas certificadas é um bom indicador desse desempenho e, por consequência, dos esforços em termos de investimentos que as usinas têm realizado para alcançá-lo. Em abril de 2023, 287 usinas brasileiras de etanol estavam certificadas no RenovaBio e outras 38 com certificação em andamento. Goiás possui 35 usinas certificadas e 4 em certificação (OBSERVATÓRIO DA CANA, s.d.; Figura 13).

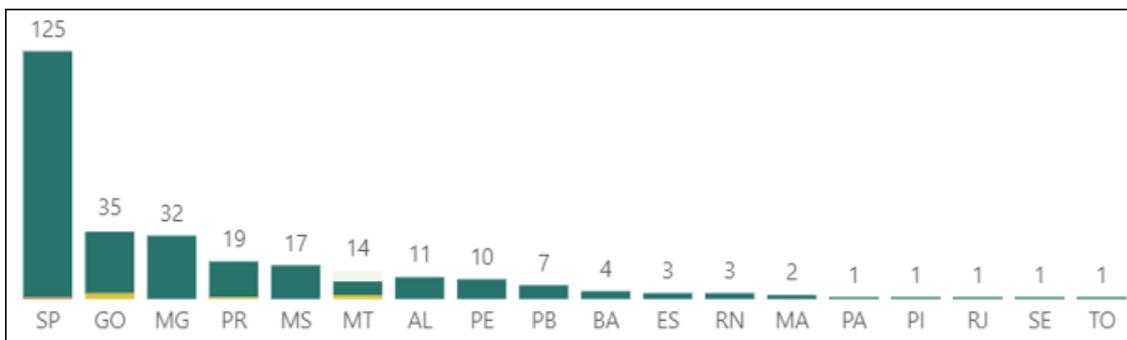


Figura 13 - Número de usinas de etanol certificadas no RenovaBio por estado (2023)

Fonte: Retirado do Observatório da Cana Bioenergia<sup>14</sup>.

Como pode ser observado na Figura 12, Goiás é o segundo estado em número de usinas sucroalcooleiras certificadas, perdendo apenas para o estado de São Paulo. No caso do Brasil, as certificadas representam 67,0% do total de usinas, enquanto em Goiás elas correspondem a 83,3% do total, com o desempenho superior à média nacional.

### 3.1.3 Desempenho social das usinas no Brasil e em Goiás

Um dos importantes compromissos da agenda ASG, no qual se destaca o SPIS, refere-se à “geração de trabalho qualificado no campo”. Utilizaremos o nível de salários para mensurar a qualidade dos empregos na atividade sucroalcooleira em relação aos demais empregos agrícolas.

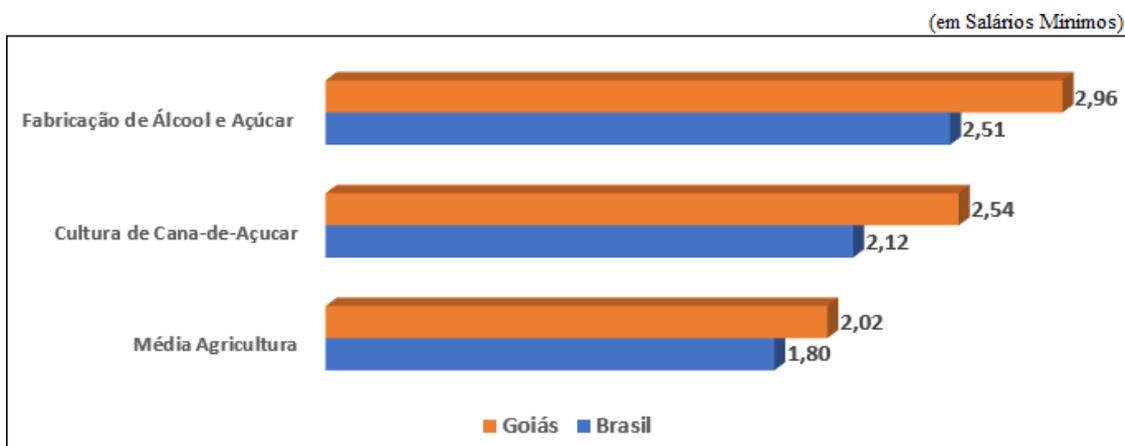


Figura 14 - Salários médios na agricultura, na cultura de cana de açúcar e na fabricação de álcool e açúcar. Brasil e Goiás (2021).

Fonte: RAIS. Elaboração própria.

Pode-se verificar na Figura 14 que a remuneração na cultura de cana-de-açúcar é significativamente superior à média da agricultura. Além disso, a atividade de fabricação de açúcar e álcool é realizada, necessariamente,

<sup>14</sup> <https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=142>

próxima à produção canavieira e, portanto, também no interior. E, os salários pagos nessa etapa industrial são ainda maiores do que os da fase agrícola.

A Figura 14 revela ainda que Goiás se destaca nesse quesito. Os salários na agricultura no estado são superiores à média brasileira em 12,2%, mas a diferença é ainda maior tanto na cultura de cana-de-açúcar, onde alcança 19,8%, quanto na etapa industrial, onde é 17,9% superior à média do país.

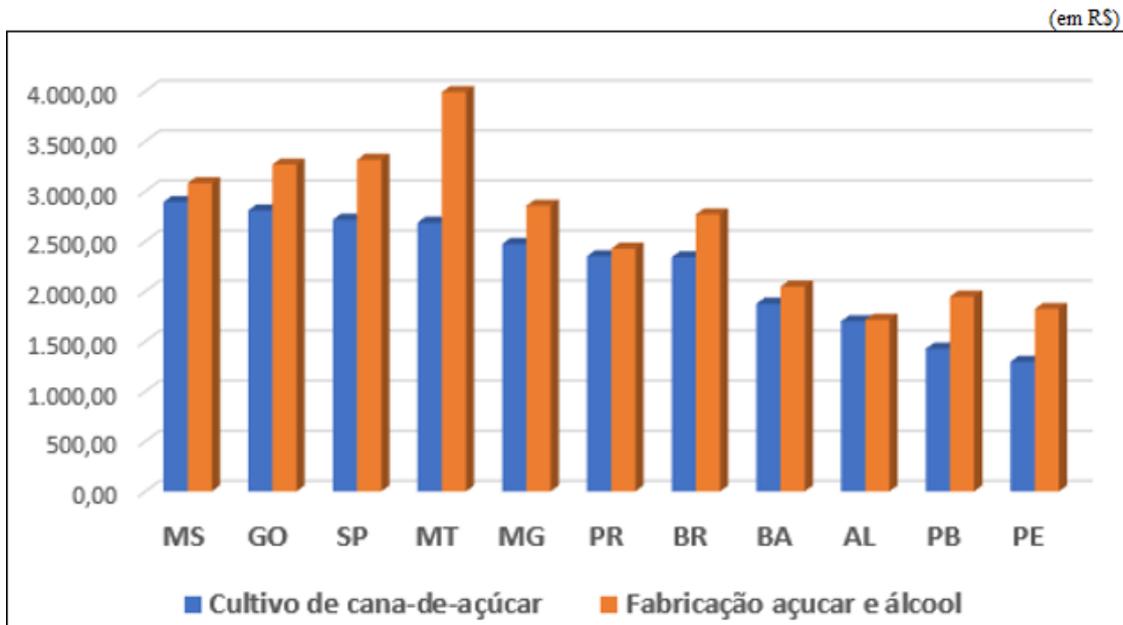


Figura 15 - Salários médios no cultivo de cana-de-açúcar e na fabricação de álcool e açúcar nos principais estados produtores (2021)

Fonte: RAIS. Elaboração própria.

Goiás se sobressai, igualmente, quando comparado aos principais estados produtores no segmento. Ocupa o segundo lugar entre os maiores salários pagos no cultivo na cana-de-açúcar, atrás apenas do Mato Grosso do Sul, e a terceira posição na remuneração na etapa industrial, após o Mato Grosso e São Paulo (Figura 15).

Os impactos em termos de salário e renda gerados no interior pelo SPIS não se limitam a seus efeitos diretos. Castro e Silva (2019) destacam o elevado efeito multiplicador local da agroindústria em decorrência de seu caráter fortemente “territorializado”. Além de adquirir sua principal matéria-prima localmente, promove o desenvolvimento ou atrai grande número de atividades industriais e de serviços produtivos complementares. Ademais, tem forte efeito sobre o comércio e os serviços urbanos que se desenvolvem em razão da elevação geral da renda.

### 3.1.4 Expansão das AGtechs

Os desafios tecnológicos e ambientais do SPIS têm contribuído, igualmente, para o desenvolvimento de pequenas empresas de base tecnológica. As startups com foco no agronegócio, conhecidas como Agtechs, têm transformado o setor em nível mundial, trazendo soluções inovadoras para aumentar a produtividade e a sustentabilidade (NASSIF et al., 2020).

Globalmente, as Agtechs têm apresentado inovações em diversas áreas, como agricultura de precisão, biotecnologia, big data e robótica. Essas tecnologias permitem melhor monitoramento e gerenciamento das atividades agrícolas, otimizando recursos e reduzindo os impactos ambientais (LEITE; MELO, 2019; MACHADO; DIAS, 2021).

Segundo estimativas do AGFunder (2021), globalmente as Agtechs levantaram entre US\$ 26,1 bilhões e US\$ 30 bilhões em capital de risco em 2020. Um crescimento de 15,5% a 34,5% em relação a 2019, revelando não só a dimensão, como a velocidade de crescimento desse mercado.

O Brasil, um dos países líderes do agronegócio mundial, tem avançado rapidamente na criação e desenvolvimento dessas startups. Não existem dados que permitam individualizar as agtechs que integrem exclusiva ou prioritariamente o SPIS. Contudo, elas atendem os segmentos mais avançados do agronegócio, entre os quais se insere o sucroalcooleiro. Utilizaremos, portanto, os números referentes a todas as agtechs como um indicador qualitativo do potencial de agregação de valor e conhecimento do SPIS.

O número de agtechs tem crescido rapidamente no país, principalmente a partir de 2014. O Brasil possui 366 agtechs distribuídas em sete grandes categorias. Em primeiro lugar vem aquelas que se dedicam à agricultura de precisão, com 35,2% do total, seguidas de miscelânea, automação e robotização, biotecnologia, marketplace, midstream technologies e novel farm (Figura 16).

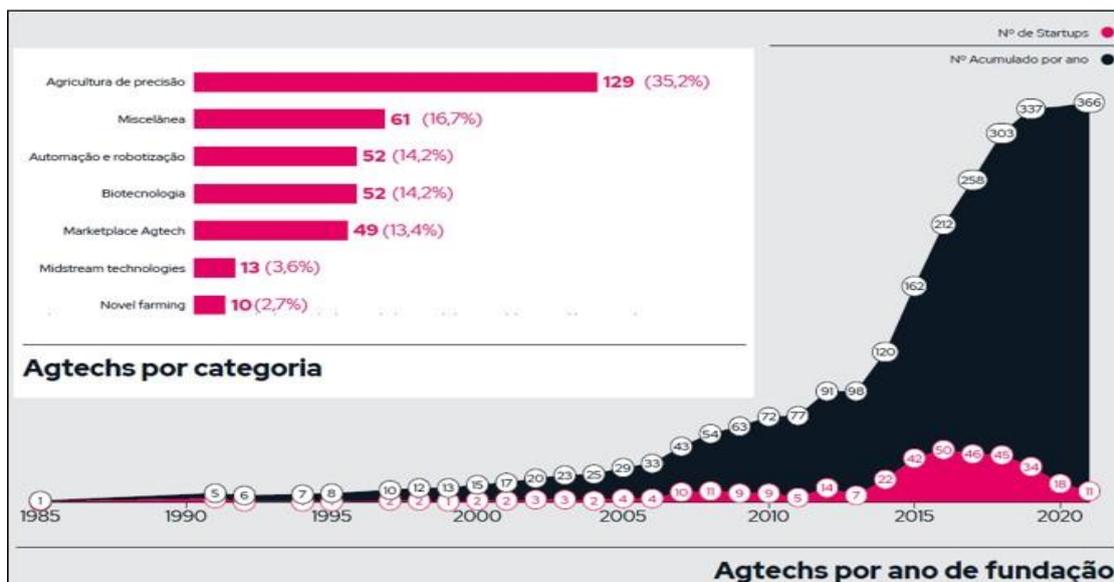


Figura 16 - Agtechs por categoria e ano de fundação. Brasil (1985-2022).  
 Fonte: Distrito, 2022, p.5.

Miscelânea se refere a startups de outras áreas, como fintechs (financeiro) e edtechs (educação) que prestam serviços prioritariamente para empresas do agronegócio. Marketplace engloba as agtechs que oferecem plataformas para a negociação de produtos e insumos, além de aluguel de equipamentos. Na categoria midstream technologies se enquadram as que oferecem serviços de logística, rastreabilidade e segurança alimentar. Já em novel farming, situam-se as que oferecem métodos e produtos agropecuários inovadores. Para as demais categorias os títulos são autoexplicativos (Distrito, 2022).

As agtechs em todas as áreas, mas especialmente na de automação e robotização de fazendas, com desenvolvimento de equipamentos e usos de drones, por exemplo, tem sido amplamente demandadas pelos produtores de cana-de-açúcar, além daquelas de base biotecnológica, especializadas em bioinsumos e soluções alternativas aos defensivos e adubos de origem fóssil.

Piracicaba (SP), um dos principais polos sucroalcooleiros do país, concentra 120 agtechs com foco do setor canavieiro e já está sendo chamada de “Agtech Valey”, numa referência ao Vale do Silício na Califórnia. Monitoramento de plantações via satélite, uso de sensores para irrigação inteligente e drones para a disseminação de pesticidas, estão entre os serviços desenvolvidos e oferecidos por essas startups (NOVACANA, 2019).

Uma startup da região, cujo próprio nome é AGTech, desenvolveu um sistema de automação de plantadoras e distribuidoras de cana picada com controle de fluxo de cana, insumos sólidos e líquidos, denominado PremoPlan.

Em janeiro de 2021 ela foi selecionada como um dos 14 melhores projetos brasileiros na área pelo Programa Agro 4.0, da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) (RPANEWS, 2021).

A agtech Cromai desenvolveu e comercializa um sensor baseado em inteligência artificial para ser acoplado às colheitadeiras, que possibilita a automação da retirada das impurezas vegetais que se misturam à cana colhida, reduzindo a eficiência da etapa de moagem. Essa limpeza é tradicionalmente feita de forma manual, consumindo uma grande quantidade de mão de obra e tempo (PORTAL DO AGRONEGOCIO, 2023).

A agtech goiana Solubio, localizada em Jataí (GO), que oferece a solução de biofábricas *on farm*, para o desenvolvimento de bioinsumos nas próprias fazendas, e que tinha seu foco nas culturas de soja, milho e algodão, tem avançado crescentemente no atendimento aos produtores de cana, em função do crescimento dessa demanda (SOLUBIO, 2022).

A Eacea, agtech sediada em Cunha (SP), implantou uma biofábrica de mudas pré-brotadas de cana visando atender um mercado estimado de 20 bilhões de unidades. A startup participa de um programa de aceleração da Braskem, o Braskem Labs, e utiliza o plástico verde, produzido a partir de etanol por aquela empresa para as estufas de propagação das mudas que são implantadas próximas as usinas (FRAGA, 2021).

Esse modelo de parcerias entre as grandes empresas e organizações do SPIS e as agtechs são cada vez mais comuns e tendem a se expandir. Trata-se do modelo de inovação aberta, em que as empresas abrem editais para que agtechs apresentem soluções e produtos para atender suas necessidades de aumento de produtividade e sustentabilidade. Muitas agtechs são criadas para atender demandas identificadas nesses programas.

Além da Braskem, a Orplana, que reúne 20 associações de plantadores e cerca de 10 mil produtores de cana, lançou, em 2021, o programa *Pro Farmers*, em parceria com o hub AgTech Garage, convocando agtechs para desenvolverem soluções para o segmento (AGTECH GARAGE, 2021). Em 2022, a Tereos, um dos maiores grupos sucoenergéticos do país, lançou uma chamada, na modalidade desafio, com o tema “ Automação do plantio da cana-de-açúcar”, igualmente em parceria com a AgTech Garage. Nessa modalidade,

as agtechs são chamadas a apresentar soluções dentro da temática pedida, sendo as melhores contratadas posteriormente pela empresa (UDOP, 2022).

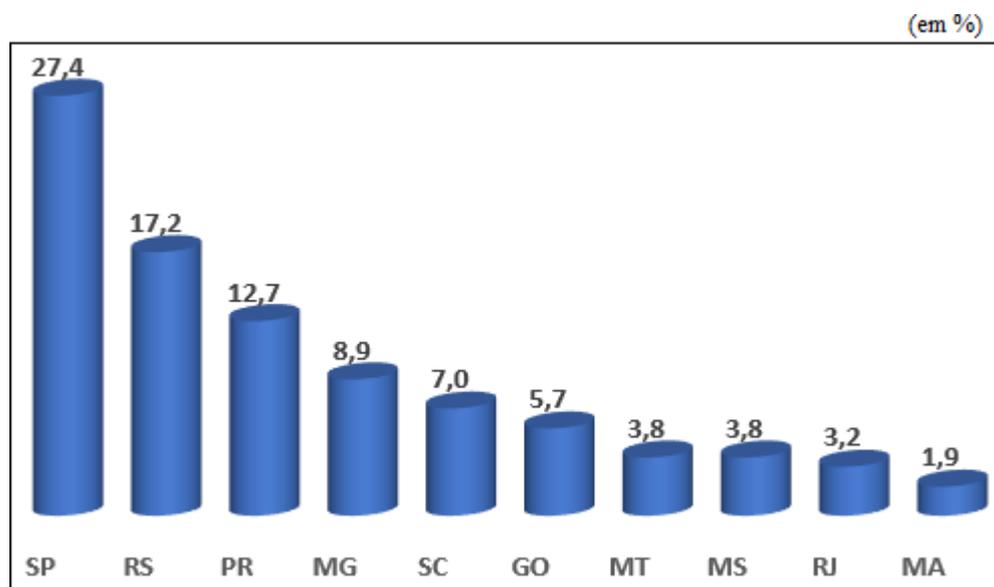


Figura 17 - Percentual de AGtechs por estado (2017)  
 Fonte: Abstartups, 2018. Elaboração própria.

As startups no Brasil ainda são bastante concentradas regionalmente no sudeste e sul do país, de forma que Goiás, apesar de sua força na economia agrícola, dispõe de apenas 5,7% do total das agtechs brasileiras em 2017, o que corresponderia a 17 empresas (Figura 17). Em um amplo levantamento realizado pela internet, cruzando informações de diferentes fontes, identificamos apenas 14 agtechs ativas no estado (Quadro 4).

Quadro 4 - AGtechs Goiás (2023)

AGtech	Área de atuação	Website
Solubio	Bioinsumos	<a href="https://www.solubio.agr.br/">https://www.solubio.agr.br/</a>
SIAGRI	Softwares de Gestão	<a href="https://www.siagri.com.br/cases/">https://www.siagri.com.br/cases/</a>
Casa da Minhoca	Adubos Defensivos Ecológicos	<a href="https://www.casadaminhoca.com.br/">https://www.casadaminhoca.com.br/</a>
Droneops	Drones e Geoprocessamento	<a href="https://www.droneops.com.br/">https://www.droneops.com.br/</a>
Agropocket	Manejo e Gestão	<a href="https://agropocket.com.br/">https://agropocket.com.br/</a>
Droclin	Monitoramento Climático	<a href="https://www.droclin.com/">https://www.droclin.com/</a>
Geolnova	Georeferenciamento	<a href="https://geoinova.com.br/">https://geoinova.com.br/</a>
AvantAgro	Drones na Agricultura	<a href="https://www.instagram.com/avant.agro/?hl=en">https://www.instagram.com/avant.agro/?hl=en</a>
Fazenda Rentável	Plataforma de Gestão	<a href="https://fazendarentavel.com.br/">https://fazendarentavel.com.br/</a>
Hiib Colheita	Serviços colheita	site desativado
Maxsoft	Gerenciamento rural e automação de vendas	<a href="http://www.maxxsoft.com.br/">http://www.maxxsoft.com.br/</a>

Nong	Drones na Agricultura	<a href="https://www.nong.com.br/">https://www.nong.com.br/</a>
Irancho	Gestão Pecuária	<a href="https://www.irancho.com.br/">https://www.irancho.com.br/</a>
Goyas Fazendas	Negociação de fazendas	<a href="https://goyasfazendas.com.br/">https://goyasfazendas.com.br/</a>
Negociagro	Negociação de vendas	<a href="https://www.instagram.com/negociagro/?hl=en">https://www.instagram.com/negociagro/?hl=en</a>

Fonte: Distrito, 2019; Fapeg. Sedi; Sebrae-Go. e sítios das empresas na internet. Elaboração própria.

Trata-se de um segmento que vem atraindo volumes crescentes de capital de risco. Entre 2009 e maio de 2020 as agtechs brasileiras receberam investimentos da ordem de R\$325,9 milhões de diferentes instituições de *venture capital*. Os valores foram relativamente baixos até 2016, mas tem crescido de forma acelerada a partir de 2017, indicando que se trata de um segmento novo, mas com grande potencialidade (Figura 18).

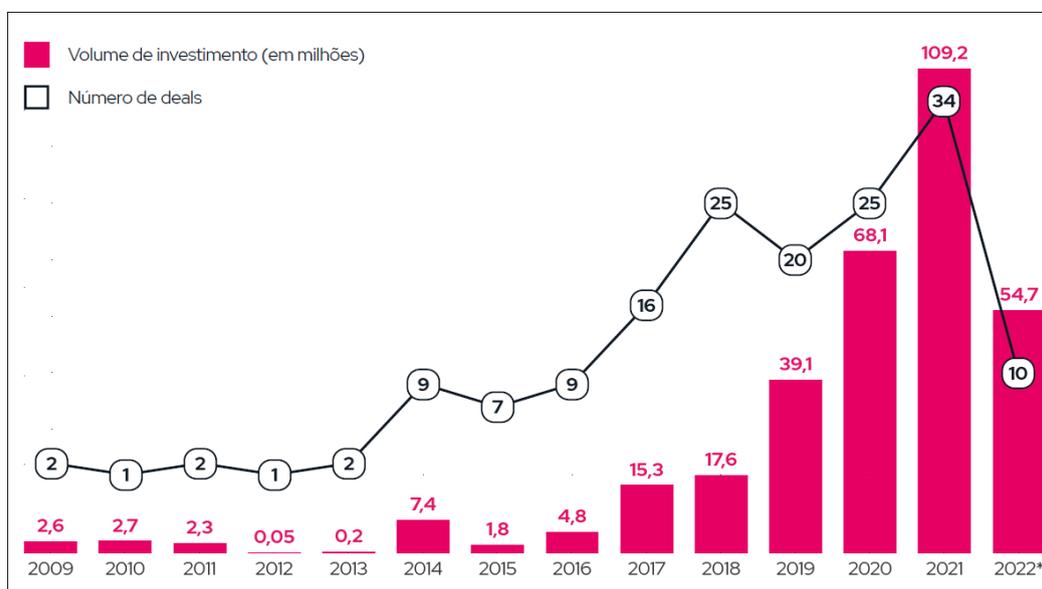


Figura 18- Volume de investimento e número de deals em Agtechs por ano. Brasil (2009-2022\*)

\*até 11/05/2022

Fonte: Distrito, 2022, p.7

Contudo, os impactos econômicos do crescimento das agtechs, bem como das startups em outros segmentos, não se resumem ao volume de investimentos que mobilizam e ao emprego e renda gerados na própria atividade. Sua relevância está, sobretudo, em todo o ecossistema de inovação e empreendedorismo que se cria em seu entorno, afetando quantitativa e qualitativamente o processo de desenvolvimento nacional, regional e territorial.



Figura 19 - Ecosistema de inovação agrícola brasileiro  
 VC = ventura capital; TI = tecnologia da informação; C&T = ciência e tecnologia.  
 Fonte: Figueiredo et al, 2022, p.17.

Um ecossistema de inovação é uma rede complexa e interconectada de atores que interagem e colaboram para promover a inovação e o desenvolvimento econômico. Esses atores incluem empresas, empreendedores, universidades, instituições de pesquisa, investidores, governos, organizações não governamentais e outros agentes envolvidos no processo de inovação. A Figura 19 revela os principais atores de uma ecossistema de inovação agrícola.

Um ecossistema de inovação bem-sucedido permite o crescimento e a prosperidade sustentável em todo o tecido econômico ao promover a cultura de inovação; conexões e colaboração; desenvolvimento de capital humano, infraestrutura e sistemas de financiamento adequados (BUZATTO et al, 2019).

Enfim, existe uma estreita ligação e retroalimentação entre os três subtemas tratados. Vários dos investimentos realizados pelas usinas com recursos do BNDES tiveram como objetivo explícito atender às exigências do Renovabio para certificação. Por outro lado, essas exigências e os investimentos em eficiência das usinas criaram demanda para produtos e serviços inovadores produzidos por agtechs, alimentando o crescimento desse novo segmento no SPIS.

### 3.2 Potencial de Diversificação para Agregação de Valor

O segundo campo do potencial de agregação de valor do SPIS diz respeito ao amplo espaço para a diferenciação de produtos e a diversificação

produtiva oferecida pelo sistema. A cana-de-açúcar e os subprodutos de seu processamento são tradicionalmente utilizados como matéria-prima para uma grande e diferenciada gama de produtos (Figura 20).

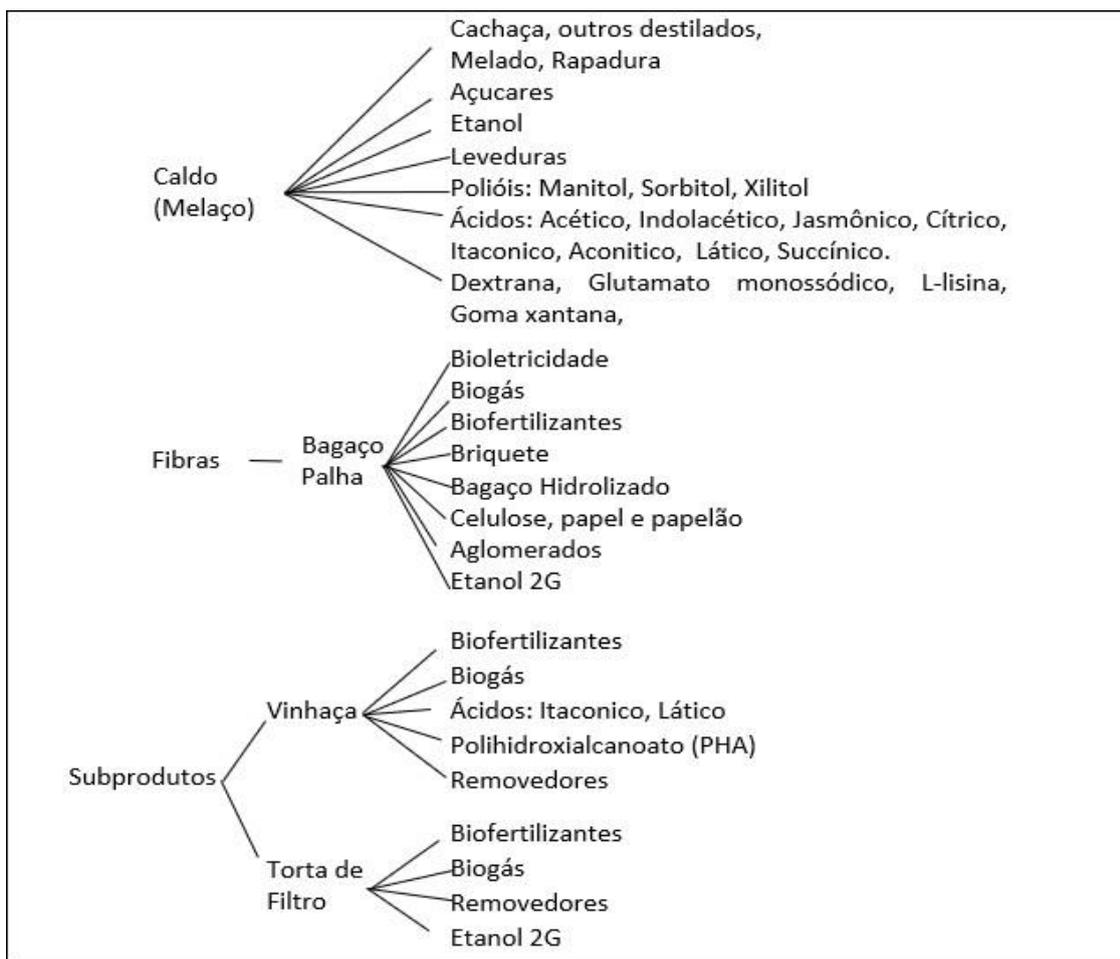


Figura 20 - Principais produtos produzidos a partir da cana-de-açúcar  
 Fonte: elaboração própria

Vamos considerar três grupos de possibilidades de se avançar em termos de agregação de valor nesse campo. O primeiro se refere aos produtos tradicionais da cana de açúcar, de tradição artesanal e vinculados, em geral, a pequenos produtores. O segundo, aos produtos com tecnologia madura e escala industrial. E, em terceiro lugar, os produtos que se encontram na fronteira tecnológica, ligados à chamada bioeconomia avançada.

### 3.2.1 Potencial dos produtos tradicionais

Os produtos tradicionais da cana de açúcar com maior potencial e agregação de valor são a cachaça, a rapadura e o açúcar mascado. Esse potencial está relacionado à sua longa tradição histórica artesanal, e a cultura territorial que embutem. Embora sua expressão econômica em termos nacionais

seja limitada, seu potencial de promoção de desenvolvimento sustentável em escala local e regional é elevado.

O mercado de produtos agroalimentares tem passado por transformações significativas ao longo dos anos, com uma tendência crescente à valorização de produtos locais, ambientalmente e socialmente corretos (MARTINS; BATALHA, 2015). Essas mudanças abrem oportunidades para se avançar na agregação de valor de produtos tradicionais da cana de açúcar como cachaça, melado, rapadura e açúcar mascavo beneficiando, sobretudo, pequenos produtores.

A utilização de marcas, denominações de origem e certificações de comércio justo e de produtos orgânicos são algumas das estratégias que têm sido utilizadas para agregar valor a este tipo de produtos, além de fortalecer a identidade cultural e o desenvolvimento sustentável das regiões produtoras (MUCHAGATA; MOREIRA, 2016).

A denominação de origem (DO) é um selo que identifica a procedência geográfica de um produto, indicando que suas características específicas são resultado das condições naturais e humanas do local onde é produzido (BRASIL, 1996). Essa ferramenta tem sido utilizada em diversos países, inclusive no Brasil, para proteger e valorizar produtos agroalimentares tradicionais, como o queijo da Serra da Canastra, o vinho do Vale dos Vinhedos e o café do Cerrado Mineiro (BRASIL, 2021).

Além disso, a criação e gestão de marcas fortes também desempenha um papel fundamental na agregação de valor aos produtos agroalimentares tradicionais. De acordo com Kotler e Keller (2012), a marca é um nome, termo, símbolo, design ou combinação desses elementos que identifica e diferencia os produtos e serviços de uma empresa. As marcas podem transmitir atributos de qualidade, confiança, tradição e sustentabilidade, influenciando positivamente a percepção dos consumidores e, conseqüentemente, o seu valor no mercado (KOTLER; KELLER, 2012).

As certificações de comércio justo são selos atribuídos a produtos que seguem padrões específicos relacionados a práticas sociais, ambientais e econômicas justas em toda a cadeia de produção. Essas certificações são concedidas por organizações especializadas, como a Fairtrade International, e têm como objetivo garantir que os produtores recebam preços adequados pelos

seus produtos, além de promover condições de trabalho dignas e ações de desenvolvimento sustentável (FAIRTRADE INTERNATIONAL, 2020).

O potencial econômico dessas estratégias pode ser observado no mercado europeu, onde denominações de origem, marcas fortes e certificações têm impulsionado o sucesso de produtos agroalimentares tradicionais. De acordo com a Comissão Europeia (2020), existem mais de 3.300 produtos agroalimentares e bebidas registrados como Denominações de Origem Protegidas (DOP), Indicações Geográficas Protegidas (IGP) e Especialidades Tradicionais Garantidas (ETG) na União Europeia. Estima-se que o valor anual de vendas desses produtos seja superior a €74,76 bilhões.

O mercado europeu de produtos orgânicos atingiu €41,4 bilhões em 2019, com uma taxa de crescimento de 8% em relação ao ano anterior, sendo a Alemanha, França e Itália os maiores consumidores (WILLER; LERNOUD, 2021). A crescente demanda por alimentos orgânicos demonstra o interesse dos consumidores europeus por produtos sustentáveis e de qualidade.

A Fairtrade International (2020) informou que as vendas de produtos certificados como comércio justo na Europa alcançaram €12,4 bilhões em 2019. Essa certificação indica que os produtos são produzidos respeitando critérios sociais, ambientais e econômicos, e tem atraído consumidores preocupados com as condições de trabalho e a sustentabilidade na cadeia produtiva.

No Brasil, que ainda está dando os primeiros passos na estruturação desses mercados, o caso do queijo mineiro da serra da Canastra é uma exemplo eloquente. Em 2003 ele foi certificado pelo Iphan (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) como patrimônio imaterial do Brasil e conseguiu o selo de indicação geográfica. Seu preço imediatamente triplicou, saltando de 10 reais para 30 reais o kilo. Em junho de 2022 o Taste Atlas, um importante guia norte-americano de gastronomia em viagens internacionais deu ao Queijo Canastra o primeiro lugar entre os 50 melhores queijos do mundo. O que não apenas elevou ainda mais seus preços<sup>15</sup> e abriu seu mercado exportador, como tornou a Serra da Canastra, no sudoeste de Minas Gerais, um mercado mundialmente cobiçado do ecoturismo mundial (TIEPPO, 2014; AGROFY NEWS, 2022).

---

<sup>15</sup> Marcas como o Canastra Cláudio são encontrados à venda no Mercado Livre por R\$ 140,00 o kilo, por exemplo.

Entre os produtos tradicionais da cana-de-açúcar citados, a cachaça é o que possui um mercado mais desenvolvido e tem investido mais fortemente em estratégias de valorização. O Brasil já possui três regiões produtoras que possuem indicação de procedência (IP) ou indicação geográfica (IG) de suas cachaças: Cachaça de Paraty (RJ), com IP obtido em 2007; Cachaça de Salinas (MG), IP de 2021; e Cachaça de Abaíra (BA), com IG conquistado em 2014. Na Cachaçaria Nacional (Clube CN), a maior loja online do segmento no país, com mais de 2 mil rótulos e 1,3 milhões de visitantes e faturamento de R\$ 6,5 milhões em 2021, o produto mais comercializado foi uma cachaça premium vendida a R\$ 149,70 (CAROL, 2022).

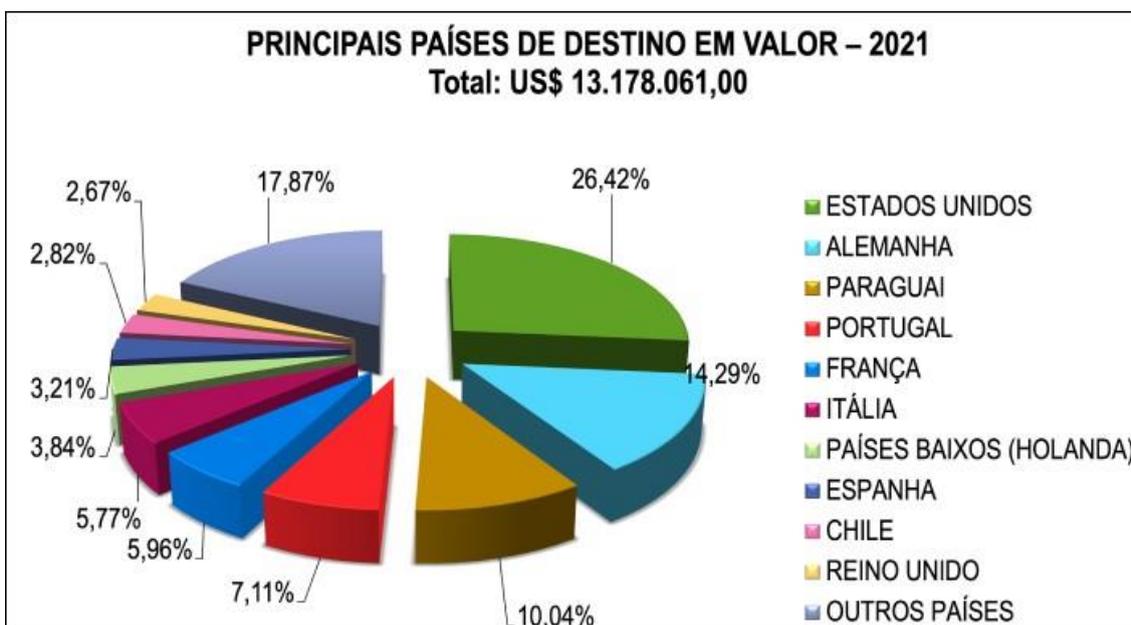


Figura 21 - Exportações brasileira de cachaça por país de destino (2021)  
Fonte: ExpoCachaça, s.d.

Em 2021 as exportações brasileiras de cachaça foram de US\$ 13,17 milhões, para 67 países de destino. Os principais destinos foram os EUA, a Alemanha e o Paraguai (EXPOCACHAÇA, s.d.; Figura 21).

As exportações estão em franco crescimento, tendo avançado 52% entre 2021 e 2022, chegando a US\$ 20,03 milhões nesse último ano. Fato importante é que o crescimento se deu principalmente em valor, e não em volume, indicando que os produtos de maior valor agregado vêm ampliando sua participação nas vendas externas. Novos mercados também vêm se afirmando rapidamente, com o número de destino tendo subido para 75. Em países como Portugal, França e Espanha a venda de cachaça dobrou nesse período (COMEX DO BRASIL, 2023).

Tradicionalmente a cachaça brasileira no exterior é utilizada em drinks, sobretudo na conhecida caipirinha, o que favorece o produto industrializado. Entretanto, as cachaças artesanias de qualidade vem ganhando mercado com o movimento global de premiunização no mercado de *Spirits*, onde a bebida é consumida pura. Contudo, apesar dos avanços, o espaço para crescimento ainda é enorme, como demonstram as exportações da tequila mexicana, que foi 200 vezes maior do que a de nossa cachaça em 2022 (COMEX DO BRASIL, 2023).

O mercado de rapadura e o açúcar mascavo encontram-se em fase inicial de desenvolvimento, mas já conta com marcas conhecidas (Figura 22) e possui também uma forte potencial de crescimento,



Figura 22 - Açúcar mascavo e rapadurinha à venda no Mercado Livre (fev. 2023)

Fonte: Sítio do Mercado Livre. Elaboração própria.

Enfim, a utilização de marcas e denominações de origem tem mostrado seu potencial para agregar valor aos produtos tradicionais da cana-de-açúcar, ao mesmo tempo em que fortalece a identidade cultural e promove o desenvolvimento sustentável das regiões produtoras. Essa tendência é resultado da crescente conscientização dos consumidores e da demanda por produtos locais, ambientalmente e socialmente corretos. Por isso, é fundamental que os produtores e empresas do setor continuem investindo nessas estratégias, buscando aprimorar a qualidade e a sustentabilidade de seus produtos e processos.

### 3.2.2 Potencial dos produtos de tecnologia madura

Existe um conjunto de produtos e subprodutos da cana-de-açúcar com usos já bastante conhecidos, com tecnologias maduras. O potencial econômico desses produtos está associado, de um lado, à tendência de ampliação do uso de orgânicos, de fonte renovável, as mais diferentes indústrias, em função das crescentes demandas ambientais e, de outro lado, à possibilidade de novos usos e desenvolvimentos tecnológicos desses produtos associados à mercados de maior valor agregado.

Incluem-se nesses categoria, os ácidos acético, indolacético, jasmônico, cítrico, itacônico, aconítico, láctico e succínico, assim como os polióis como o manitol, sorbitol e xilitol e, ainda, outros produtos como dextrana, glutamato monossódico, L-lisina e goma xantana, que já são produzidos a bastante tempo em diferentes segmentos industriais (Figura 19). São utilizados, principalmente, nas indústrias alimentícia, química, farmacêutica e cosmética com diversas funções.

De um lado, sua demanda tende a se ampliar com a procura cada vez maior por aditivos orgânicos nessas e outras indústrias. Além disso, novas tecnologias e usos estão emergindo. Dois exemplos, bastante conhecidos, são os dos ácidos láctico e succínico. O primeiro utilizado principalmente como acidulante, estabilizante e conservante na indústria alimentícia, e o segundo em solventes, corantes e resinas na indústria química. Ambos ganharam na última década uma possibilidade de aplicação mais nobre na produção de bioplásticos e outros bioprodutos, que deve impulsionar sua demanda, gerando significativos impactos em suas cadeias de valor. O ácido láctico, por exemplo, é a matéria-prima básica para a produção do bioplástico PLA (poliácido láctico) que, por ser biodegradável tem apresentado um mercado bastante dinâmico.

O PLA pode ser produzido, também, a partir da vinhaça, subproduto do processamento do caldo. Desse subproduto, que em geral é utilizado diretamente como fertilizante de baixa eficiência, pode-se produzir ainda o PHA ( polihidroxicanoato), o segundo bioplástico biodegradável cujo mercado mais cresce atualmente. Além de ácido itacônico, que igualmente é matéria-prima para biopolímeros (European Bioplastics, 2022).

Ainda entre os produtos do processamento do caldo, os ácidos Indolacético e Jasmônico são outros exemplos importantes. O primeiro é

utilizado como regulador de crescimento vegetal e o segundo atua como um sinalizador de defesa em plantas, desencadeando respostas de resistência contra patógenos (BONASSA et al, 2015) . Devem se beneficiar da tendência de substituição de fertilizantes e defensivos químicos, a partir de novos desenvolvimentos tecnológicos.

As leveduras também se destacam nesse contexto. Sua utilização na indústria alimentícia, de nutrição animal e farmacêutica já é antiga, e a demanda nesses segmentos continua crescente (CORTEZ et al, 2011). Contudo, com os avanços na biotecnologia e nos bioeconomia elas passam a desempenhar um papel fundamental. Elas são cruciais para a produção de enzimas, indispensáveis nos bioprocessos. Além disso, elas podem ser modificadas geneticamente para produzir compostos de interesse industrial, como ácidos orgânicos, aminoácidos, vitaminas, bioplásticos e biocombustíveis.

Grandes empresas globais como a Lallemand e a Lesaffre atuam no Brasil produzindo leveduras tendo a cana-de-açúcar como matéria-prima. O potencial desse produto tem levado várias grupos sucroalcooleiros a investirem no segmento, como alternativas de diversificação. O grupo São Martinho criou uma empresa, a OMTEK, especificamente para se ocupar da produção de leveduras. Em Goiás, a Jales Machado é um exemplo de empresa que incluiu a produção de leveduras em seu portfólio (JORNALCANA, 2011; CANAONLINE, 2015)

O bagaço da cana era tradicionalmente utilizado diretamente como combustível para as caldeiras nas usinas. A partir do ano 2000 ele passou a ter utilização mais nobre como fonte de bioeletricidade e com a fabricação de Pellets de biomassa, essa última agregando valor à sua utilização como combustível calorífico. Seu uso para a produção de celulose e papel também já começa a ganhar escala comercial. Desde 2009 a GCE produz papel a partir do bagaço em parceria com a colombiana Propal, cuja planta tem capacidade para 180 mil toneladas. Em 2017, a FibraResist uma fábrica com capacidade para 70 mil toneladas ano de celulose e papel feitos de bagaço, com tecnologia 100% nacional. Os desafios ainda são grandes nesse campo. A escala das principais empresas de produção tradicional de celulose, com as quais elas devem competir, gira em torno de 1 milhão de toneladas. Contudo, desempenho que

vem tendo essas empresas mostra que o potencial é bastante concreto (ZAPAROLLI, 2018).

Outras utilizações, como para a produção de agregados para a construção civil, assim como para fertilizantes têm sido estudadas e poderão se tornar alternativas viáveis. Contudo, as novas tecnologias para a produção de etanol celulósico, que serão tratadas no item 3.2.3, são as que indicam um maior potencial. Não principalmente por seu uso como matéria-prima do novo combustível, mas pelas possibilidades de surgimento de novos produtos com valor agregado, a partir do momento em que as tecnologias e de conversão estiverem totalmente dominadas.

Por fim, a torta do filtro, ainda bastante subutilizada, deverá ampliar seu potencial como base fertilizante e para a geração de biogás, além de ser também matéria prima para etanol 2G.

### **3.2.3 Potencial na fronteira tecnológica**

É na fronteira tecnológica que se localiza o potencial mais promissor para os derivados da cana-de-açúcar. Com os avanços da biologia sintética, da nanobiotecnologia e sua integração com a ciência de dados emerge toda uma nova bioeconomia avançada. O etanol celulósico e os biopolímeros são os dois segmentos que se destacam nesse quadro.

#### **3.2.3.1 Biopolímeros e bioquímicos intermediários**

Os polímeros são abundantes na natureza e estão entre as principais classes de materiais utilizados pelo homem para tornar facilitar sua existência. Alguns exemplos de polímeros naturais amplamente utilizados são ossos, seda, látex ou borracha natural, as lacas e vernizes retirados das cascas das arvores. O surgimento dos polímeros sintéticos no século 20 foi um marco na história da ciência dos materiais, impulsionando uma série de inovações tecnológicas e transformando a sociedade moderna (GUERRA e LIMA, 2012).

Entre eles estão os diferentes tipos de plásticos, acrílicos, borrachas artificiais, fibras sintéticas, isopores, elastômeros, solventes, bases para tintas, selantes, adesivos etc. Os polímeros sintéticos representaram avanços significativos em termos de propriedades mecânicas, químicas e térmicas em comparação com materiais naturais, permitindo a fabricação de produtos mais leves, duráveis e resistentes. Além disso, os polímeros sintéticos podem ser facilmente processados por técnicas como moldagem por injeção, extrusão e

sopro, o que contribuiu para a popularização e a diversificação desses materiais, estando presentes hoje em praticamente todos os produtos que caracterizam a “vida moderna” (GUERRA e LIMA, 2012).

Polímeros são macromoléculas compostas de repetidas unidades de monômeros, que são pequenas moléculas simples que se ligam em cadeia por meio de processos conhecidos como polimerização. A quase totalidade dos polímeros sintéticos hoje são produzidos a partir de seis monômeros básicos<sup>16</sup> obtidos a partir do processamento do petróleo e do gás natural (GUERRA e LIMA, 2012). Esses monômeros desenvolvidos pela indústria petroquímica, são “blocos de construção” químicos para os polímeros e, a partir deles, para uma infinidade de produtos (Figura 23).

Todos esses monômeros e polímeros, além de outros novos, podem ser produzidos a partir de biomassa com um impacto ambiental muito menor. Esse é a base para a bioeconomia avançada, que vislumbra a possibilidade de substituir nossa atual economia de base fóssil, de recursos finitos e altamente poluentes, por uma de base biológica, que utiliza recursos renováveis, reutilizáveis e mais facilmente degradáveis, sendo, portanto, muito mais amigável com o meio ambiente.

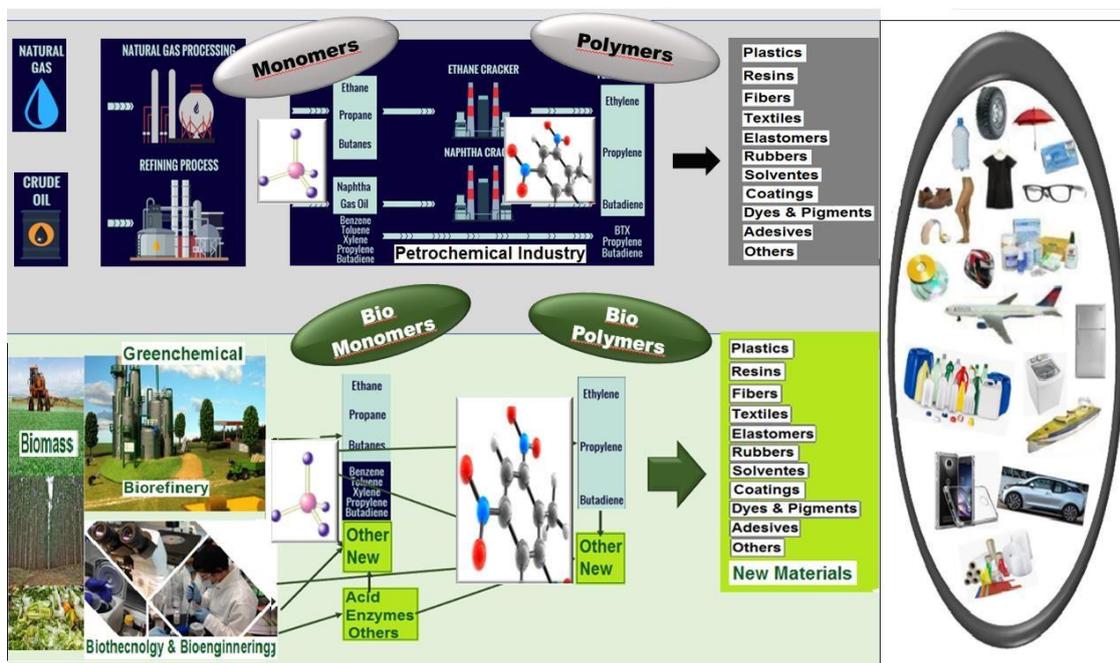


Figura 23 - Monômeros e polímeros de base fóssil e biológica e suas aplicações. Fonte: Castro, 2019.

<sup>16</sup> Eteno, Propeno, Butano, Benzeno, Tolueno e Xileno (Figura 22).

Os plásticos, uma das formas mais conhecidas de polímeros, levam em geral mais de 100 anos para se degradar na natureza. Atualmente, mais de 8 milhões de toneladas de plásticos são lançadas nos oceanos todos os anos, representando 85% dos resíduos que chegam aos mares. Parte significativa na forma de microesferas plásticas, amplamente utilizadas hoje nas indústrias de cosméticos, limpeza e farmacêutica, que são engolidas pelos peixes. Segundo estimativas da ONU (UNEP, 2021) esse número deve mais do que triplicar até 2040, representando um desastre ambiental de grandes proporções.

Os avanços tecnológicos e a crescente pressão regulatória para inibir a produção de plásticos tradicionais tem impulsionado a produção de bioplásticos, cuja capacidade instalada de produção em 2022 foi de 2,2 milhões de toneladas, representando pouco menos de 1% do total de plásticos produzidos no mundo, com a previsão de quase triplicar até 2027 (Figura 24). Pode parecer pouco, mas o mercado mundial de plásticos foi de US\$ 390,7 bilhões em 2021 (ESTATISTA, 2023).

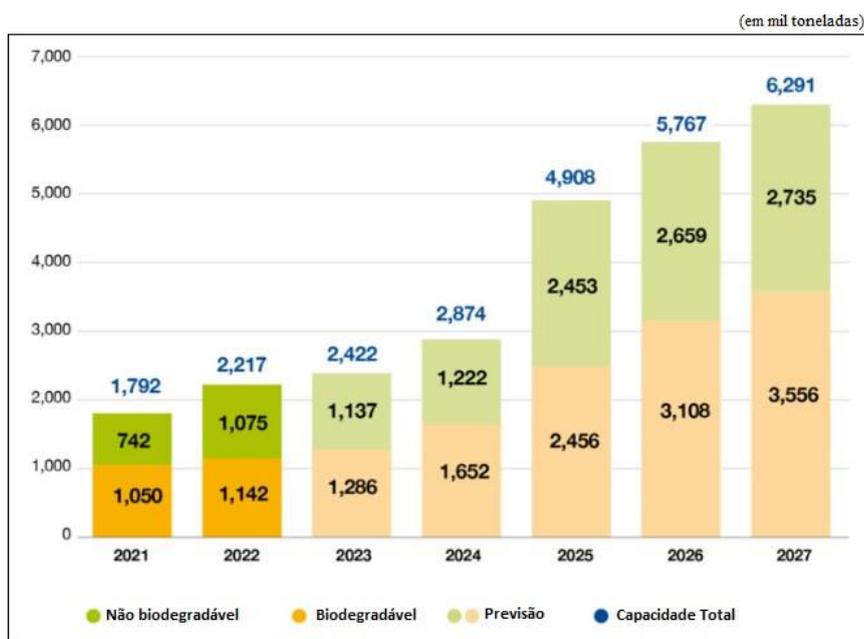


Figura 24 - Capacidade global e produção de bioplásticos  
 Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2022)

Os biopolímeros, entre os quais se incluem os bioplásticos, são classificados em duas categorias: "*drop-in*" e "*não drop-in*", com base em suas características e propriedades em comparação aos polímeros sintéticos convencionais. Os biopolímeros "*drop-in*" são similares, possuindo propriedades e características semelhantes aos polímeros sintéticos derivados do petróleo,

podendo ser usados como substitutos diretos sem a necessidade de alterar os processos de fabricação ou as especificações do produto final. São praticamente os mesmos obtidos a partir do petróleo, mas produzidos a partir de matérias-primas renováveis, o que facilita muito sua adoção pela indústria. Eles são recicláveis, mas não são biodegradáveis. Sua vantagem decorre, sobretudo, de um processo de produção que possui uma pegada de carbono muito inferior ao correspondente de base fóssil (DIAS et al ,2020).

Já os biopolímeros "não *drop-in*" são produtos novos, com propriedades e características distintas dos polímeros sintéticos convencionais, o que pode exigir adaptações nos processos de fabricação e nas especificações do produto final. Eles oferecem novas funcionalidades e aplicações, além de serem biodegradáveis (DIAS et al, 2020).

Os bioplásticos e não biodegradáveis representam 48,5%, enquanto os biodegradáveis são 51,5%. A tendência é de maior crescimento relativo dos últimos que, em geral, são mais difíceis de produzir, mas embutem maior valor agregado. Entre os não-biodegradáveis, entretanto, alguns tipos como polipropilenos (PP), a poliamidas (PA) e o polietilenos (PE) deverão manter taxas de crescimento elevadas. Entre os biodegradáveis, os Ácidos Poliláticos (PLA) e os Polihidroxialcanoatos (PHA) e suas variantes, como o PHB, são os que devem liderar o crescimento (Figura 25). Todos eles têm como principal matéria-prima a cana-de açúcar.

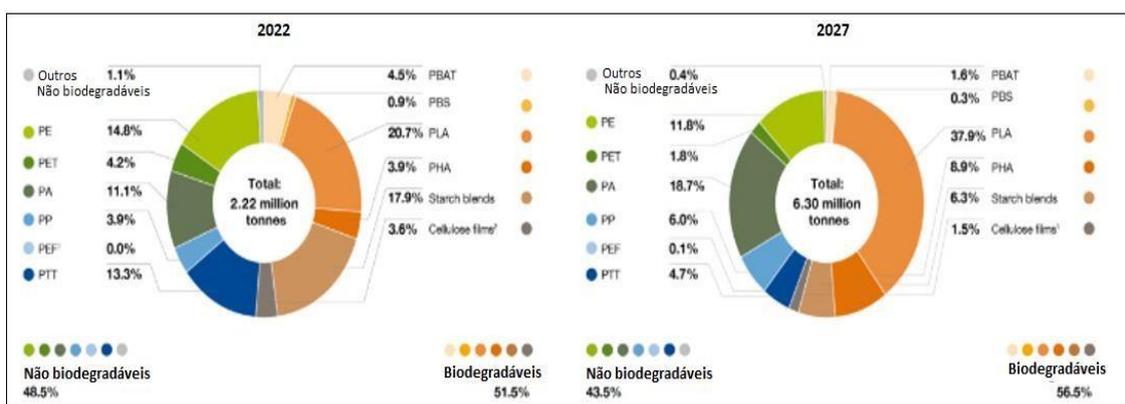


Figura 25 - Produção global de bioplásticos, por tipo (2022 e 2027\*)

\*Previsão

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2022).

Biopolímeros podem ser produzidos a partir de diferentes fontes biológicas como óleos vegetais, de lignocelulose, amidos e sacarose. Está última, entretanto, representa a fonte de mais de 90% dos biopolímeros e seus diferentes “blocos de construção” químicos que vem sendo desenvolvidos

(Figura 25). E, a cana-de-açúcar, por sua vez, é de longe a matéria-prima mais utilizada para a sua produção.

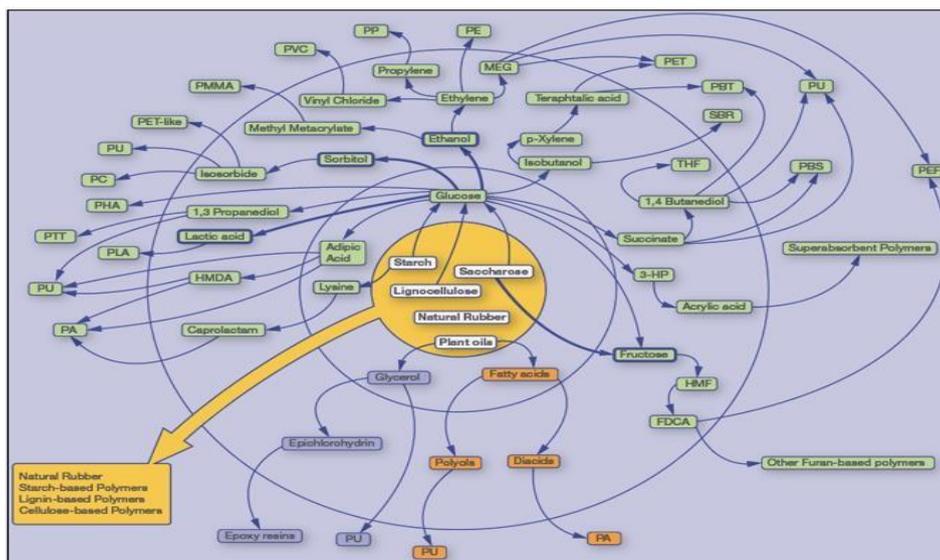


Figura 26 - Biopolímeros: fontes e rotas tecnológicas (2013)

Obs: O quadros nas pontas finais das linhas são tipos de bioplásticos. O quadros que aparecem no caminho são bioprodutos intermediários que possuem em geral, dezenas de outras aplicações além da produção ode bioplásticos.

Fonte: Adaptado de European Bioplastics (2022).

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais produtivas em termos de produção de biomassa por hectare, o que contribui para sua ampla disponibilidade e elevada viabilidade econômica como matéria-prima para a produção de biopolímeros. A sacarose presente na cana-de-açúcar pode ser facilmente convertida em monômeros, seja diretamente, seja a partir do álcool. Além disso, as usinas de açúcar e álcool existentes podem ser convertidas em biorefinarias para tal fim, o que representa uma enorme vantagem competitiva para o Brasil.

No início dos anos 1990, quando a tecnologia e o mercado de bioprodutos ainda estava dando seus primeiros passos, a Copersucar, dentro de uma estratégia mais geral de busca de diversificação para agregação de valor na cadeia da cana, buscou uma parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e com o Instituto de Ciências Biomédicas (ICB) da Universidade de São Paulo (USP), para desenvolver biopolímeros.

Contando também com o apoio da Fapesp, conseguiu-se produzir, em 1994, um polihidroxibutirato (PHB), uma variação do PHA, em uma planta piloto na Usina de Pedra. Em 2000, essa usina se associou a outro grupo

sucroalcooleiro de porte médio, o Grupo Balbo, para criar a PHB industrial, e produzir comercialmente o novo produto sob a marca Biocycle (FAPESP, 2012).

Apesar de continuar em operação e ter conseguido novos avanços tecnológicos importantes no seu produto, a empresa nunca conseguiu atingir escala industrial e penetrar no mercado. A dificuldade é que o PHB é um biopolímero não *drop in*, que tem a vantagem de ser biodegradável, mas que sua adoção depende a adaptações em toda a cadeia produtiva que pretenda utilizá-lo (CASTRO, 2019). Como visto na Figura 26, juntamente com o PLA ele é um dos biopolímeros cujo mercado mais cresce no mundo. Entretanto, seu crescimento vem se dando em países que adotaram fortes estratégias de desenvolvimento da bioeconomia, articulando os diferentes atores da cadeia produtiva, ao mesmo tempo que subsidiam fortemente a pesquisa.

A ausência de uma política estratégica de apoio no Brasil, juntamente com a baixa capacidade de investimento dos grupos que possuem a empresa, explicam seu baixo desempenho. Contudo, a tendência é que, diante da tendência do crescimento da utilização internacional do PHA/PHB, e das vantagens do Brasil na produção da matéria-prima, a empresa venha a crescer muito, seja com a entrada de novos sócios, seja por meio de aquisição.

Diferentemente do primeiro caso, a outra experiência brasileira de produção de biopolímeros é um grande sucesso. A empresa brasileira Braskem, do antigo grupo Odebrecht<sup>17</sup>, foi a primeira no mundo a produzir bio eteno em escala industrial, monômero fabricado a partir do etanol da cana-de-açúcar, lançando em 2010 sua linha de plásticos verdes com a marca l'm green.

Iniciou produzindo bio polietileno (PE), produto no qual é líder mundial, e expandiu sua linha incluindo bio Polipropileno (PP Verde), e EVA Verde, uma espuma de copolímero de etileno e acetato de vinila, também produzida a partir de bioeteno<sup>18</sup> (BRASKEM, 2023).

Sua capacidade de produção de biopolímeros da Braskem é de 260 mil toneladas ano, o que corresponde a mais de 10% da capacidade instalada global de bioplásticos em 2022 (BRASKEM, 2022). Além disso, a empresa vem

---

<sup>17</sup> Hoje NOVONOR. O grupo mudou seu nome em razão da perda de confiabilidade que decorreu do processo movido contra a empresa pela operação Lava Jato (JARDIM, 2017).

<sup>18</sup> Produz também uma variação do PE, um PEBD Verde, que é um tipo de polietileno de baixa densidade.

investindo também no desenvolvimento de bioMEG, que é a matéria-prima utilizada em uma das formas mais comuns de plásticos, o PET (politereftalato de etila). Em 2021 a empresa criou um *joint venture* chamada Sustainea, em parceria com a japonesa Sojitz, devendo construir três novas plantas industriais que somarão uma capacidade total de 700 mil toneladas de bioMEG.

Esse é um exemplo da extensão do potencial desse campo da bioeconomia. Como se pode observar na Figura 25, o processo de produção de bioplásticos envolve uma grande quantidade de blocos de construção químicos intermediários, que são bioprodutos já utilizados em várias indústrias, com amplas possibilidades de novas aplicações. Entre eles estão alguns que já foram comentados no item 3.2.2, como o ácido láctico que se converteu na base de um dos mais promissores bioplásticos biodegradáveis, o PLA.

A Braskem é a maior empresa petroquímica brasileira e a principal produtora de resinas plásticas a partir do petróleo na América Latina. Sua opção estratégica foi pelo bio eteno, um monômero *drop in*, similar ao eteno derivado do petróleo, que entra na cadeia produtiva na qual a empresa já ocupa uma posição de liderança sem exigir adaptações. Além disso, sua entrada no segmento de bioprodutos se deu dentro de uma estratégia mais geral da antiga Odebrecht, que por meio de seu braço agroindustrial era, até 2017, um dos maiores grupos sucroalcooleiros do Brasil, possuindo nove grandes usinas no país, como capacidade de moagem de 3,6 milhões de toneladas de cana, além de usinas em Angola e no Peru<sup>19</sup> (JARDIM, 2017). Ademais, a Petrobrás possui 47% do capital votante da empresa.

A Braskem é um exemplo das novas tendências de integração entre diferentes segmentos produtivos no SPIS. As possibilidades em termos dos biopolímeros, tem atraído para o segmento sucroalcooleiro grandes petroleiras, petroquímicas e conglomerados químicos, que têm se associado às principais tradings globais e grupos econômicos que já operam tradicionalmente no segmento, e com *startups* e outras empresas de base tecnológica. Entre os maiores investidores globais em biopolímeros estão as petroleiras ENI, italiana, a Total, francesa, as britânicas Shell e BP, a americana Chevron e a PTT da Tailândia. Na química, se destacam Basf, Dow, DuPont e Ely Lilly. As grandes

---

<sup>19</sup> A empresa foi obrigada a se desfazer de suas operações no setor sucroalcooleiro em razão da crise provocada pelas denúncias da Operação Lava Jato (JARDIM, 2017).

tradings e processadoras de alimentos transnacionais Cargill, ADM e Bunge têm investido crescentemente na área.

Quadro 5 - Empresas que tiveram projetos aprovados no PAISS\* (2011-2015)

<b>EMPRESA</b>	
Braskem	Mascona
PHB Industrial	Ghemtex
CTC	Bunge Açúcar e Bioenergia
Total	ETH Bioenergia
Dow	Raizen (São Martinho&Shell)
Du Pont	GranBio
Ely Lily	Grupo Moussi Ghisolfi
Rhodia	Grall Bio
DSM	Biom Technology
Amyres	Codexis
VTT Brasil	Agace Sucroquímica S.A
Solazyme	Butamax
LS9 Brasil	Ideon Tecnologia
Kior	Kemira Chemicals Brasil

Fonte: BNDES e FINEP. Elaboração própria.

\*Nas linhas de etanol de segunda geração e novos produtos de cana de açúcar.

Entre as startups e empresas de base tecnológica que mais se destacam no mundo nesse campo estão Amyres, Solazime, DSM, VTT, LS9, KioR, Croda, Gevo, Coskata, Mascoma, LanzaTec, Range, entre outras (CASTRO, 2019). Todas essas empresas atuam no Brasil e parte significativa delas aprovou projetos de financiamento no PAISS, nas linhas de etanol de segunda geração e novos produtos de cana de açúcar (Quadro 5). Braskem, Basf, Amyres, Solazime, DSM, Croda e Raizen, juntamente com outras grandes empresas como a BRF, criaram, em 2014, a Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), com o objetivo que impulsionar o segmento no país e fazer avançar políticas públicas nesse sentido (ABBI, s.d.).

Embora atuem no Brasil, em razão sobretudo da abundância de biomassa, especialmente de cana-de-açúcar, e de laços históricos com a agroindústria brasileira, o desenvolvimento das principais tecnologias e investimentos dessas empresas em biopolímeros tem sido realizada fora do país, onde contam com grande suporte de políticas públicas.

Em 2009, a OECD publicou um grande estudo, intitulado “The bioeconomy to 2030. Designing a policy agenda”, chamando a atenção para o enorme potencial e papel econômico dos bioprodutos avançados. Em 2012 foram lançadas as grandes estratégias dos EUA e da União Europeia (EU) para o desenvolvimento da bioeconomia avançada. Entre 2009 e 2018 doze outros países, além dos Estados Unidos, definiram estratégias nacionais no mesmo sentido, incluindo todas as economias do G7, além da Rússia, Finlândia, Suécia, Espanha e Letônia. Tais estratégias se traduzem em uma grande quantidade de programas e projetos, mobilizando expressivos volumes de recursos (CASTRO, 2019).

A disponibilidade de biomassa em volume, preço e logística apropriada é um dos maiores desafios para que os bioplásticos e demais biopolímeros possam concorrer com os derivados de petróleo, além das dificuldades tecnológicas e de redução de custos. Pelas razões já apresentadas, a cana-de-açúcar se apresenta como a fonte de biomassa mais apropriada e utilizada para esse fim. O Brasil, por sua vez, possui condições únicas em termos de competitividade e capacidade de expansão dessa produção. Não é por acaso que os principais players que atuam no segmento não só estão presentes no Brasil, como buscando ampliar suas posições no país, apesar da ausência de políticas públicas adequadas.

Entretanto, em uma perspectiva de médio e longo prazo, a capacidade de obter sacarose e etanol de fonte celulósica é fundamental para a viabilização da oferta de biomassa em quantidade suficiente para viabilizar a efetiva substituição da economia de base fóssil. Isso nos remete para o segundo segmento de oportunidades que se referem ao etanol celulósico.

#### 3.2.3.2 Etanol celulósico

O etanol celulósico, também conhecido como etanol de segunda geração (2G), é produzido a partir de matérias-primas lignocelulósicas, que incluem resíduos agrícolas, florestais e outros materiais ricos em celulose, hemicelulose e lignina, ampliando sobremaneira a biomassa disponível para a produção bioenergia e bioprodutos. No caso da cana-de-açúcar, pode-se aproveitar o bagaço e o palhiço, i.e. as folhas e os ponteiros. Eles representam dois terços da capacidade energética da cana, que hoje, apesar de seu uso para geração

de calor e energia elétrica, sua utilização ainda está muito aquém de seu potencial de geração de valor.

As tecnologias para sua produção começaram a avançar nos anos 1990, dando um salto de qualidade a partir de 2005, com a implantação do programa Renewable Fuel Standard (RFS) nos EUA. O RFS estabeleceu metas obrigatórias para o uso de biocombustíveis, incluindo o etanol celulósico, na mistura de combustíveis do país. Ao mesmo tempo, um enorme volume de recursos foi dirigido para a pesquisa e desenvolvimento no segmento, incluindo a pesquisa em enzimas e microrganismos para a conversão de biomassa em açúcares fermentáveis, ao mesmo tempo em que programas de financiamento e incentivos fiscais para incentivar a construção de usinas comerciais de produção de etanol celulósico (AFDC, s.d).

As primeiras usinas comerciais de etanol celulósico entraram em operação na segunda década do ano 2000. Uma das primeiras e mais importantes foi uma usina pertence à empresa Beta Renewables, com capacidade para produzir cerca de 75 milhões de litros de etanol por ano, instalada na cidade de Crescentino, na Itália, em 2013. Em 2014 entraram em operação as usinas Poet-DSM Advanced Biofuels LLC, nos EUA, como capacidade de 20 milhões de litros/ano e a Inbicon Biomass Refinery, na Dinamarca com 5 milhões de litros. Ao lado dessas, dezenas de pequenas usinas, a maior parte em escala experimental, foram implementadas nos EUA e na Europa (CASTRO, 2019).

O RFS norte-americano definiu, em 2007, um ousado cronograma de mistura obrigatória de etanol 2G, que crescia ano a ano chegando a 39,8 bilhões de litros em 2022. A demanda garantida, os investimentos em P&D e incentivos fiscais e financeiros criou uma expectativa de rápida expansão da produção. Entretanto, os desafios tecnológicos se revelaram mais complexos do que o esperado, e a indústria tem enfrentado dificuldades para escalar a produção e reduzir os custos no ritmo necessário. Isso fez com que o governo americano reduzisse a exigência para 2,4 bilhões de litros em 2022 (EPE, 2022).

Os principais desafios na produção de etanol celulósico se concentram em quatro questões: no desenvolvimento de métodos eficientes e econômicos pré-tratamento, i.e. na separação e despolimerização dos componentes da biomassa lignocelulósica para aumentar a acessibilidade das enzimas aos

açúcares fermentescíveis na hidrólise enzimática, onde é necessário reduzir o custo e aumentar a eficiência de enzimas que fazer a conversão de polissacarídeos complexos em açúcares fermentescíveis é feita por enzimas; na fermentação, que depende da seleção ou engenharia de microrganismos capazes de fermentar eficientemente a fermentação de açúcares derivados da biomassa lignocelulósica que são muito complexos e; por fim, na necessidade de integração em escala dos três processos anteriores (LYND et al, 2008).

No Brasil o desenvolvimento do etanol 2G avançou a partir de 2011, como o lançamento do PAISS, que tinha como primeira linha de atuação exatamente o bioetanol de segunda geração. Os financiamentos do programa viabilizaram a instalação de três plantas no novo combustível no Brasil, sendo duas em escala comercial, da GranBio e da Raizen, e uma em escala piloto, do CTC (MILANEZ et al, 2015).

A GranBio, uma empresa com capital brasileiro e norte-americano, inaugurou sua unidade planta em escala comercial de fabricação de etanol 2G, em 2014, em São Miguel dos Campos (AL), com capacidade instalada de 82 milhões de litros/ano de etanol 2G. O projeto foi financiado no âmbito do PAISS. No ano seguinte, a Raizen colocou em operação a segunda planta de etanol celulósico do país, em Piracicaba (SP), com capacidade instalada de 40 milhões de litros/ano (LORENZI e ANDRADE, 2019).

As duas empresas seguiram rotas tecnológicas diferentes, sendo que a planta da GranBio é exclusivamente de etanol 2G, enquanto a da Raizen é integrada com a produção de primeira geração. Ambas as empresas enfrentaram sérias dificuldades iniciais, operando de forma instável e muito abaixo de sua capacidade instalada, enfrentando as mesmas dificuldades de ajustes tecnológicos e custos elevados de suas congêneres no mundo (LORENZI e ANDRADE, 2019).

Segundo estudo apresentado Milanez et al (2015), a tendência é que custo de produção do etanol celulósico se equiparará ao do de primeira geração por volta de 2025, tornando-se mais barato que aquele a partir de 2030. Os avanços na curva de aprendizado, entretanto, parecem estar evoluindo mais lentamente do que o esperado (LORENZI e ANDRADE, 2019).

Contudo, os mandatos de consumo obrigatório nos EUA e na Europa estão criando oportunidades para avanços importantes. Em 2022 a Raizen assinou um contrato de longo prazo para a comercialização de etanol 2G com a Shell, que prevê o fornecimento de 3,3 bilhões de litros do combustível até 2037, gerando uma receita de cerca de 3,3 bilhões de euros. Anunciou, ainda, a construção de cinco novas usinas, com investimentos de US\$ 6 bilhões, que devem entrar em operação entre 2025 e 2027 para atender a nova demanda (REUTERS, 2022). A empresa se adianta, assim, em relação às demais, devendo assumir a liderança global, além de contribuir para a acelerar a redução de custos de equipamentos e operação para todo o segmento.

Os avanços no etanol 2G possuem sinergia importante com os dos biomateriais tratados no item anterior, com uma base tecnológica comum, intensiva em biologia sintética e enzimas. Assim, o desenvolvimento de ambos se autoalimenta criando oportunidades para várias empresas que atuam no desenvolvimento e produção de insumos e soluções.

Além disso, a rota tecnológica que tem se revelado mais promissora é a de usinas complementares, que produzem o etanol das duas gerações. À medida que os custos de produção do 2G forem reduzindo e a tecnologia disponibilizada, fortes investimentos deverão ocorrer no parque atual de usinas para se adequar. E, apesar de se ampliar a base de biomassa utilizada, com o uso de resíduos agrícolas e outros, a cana de açúcar deverá continuar ocupando um papel central, em razão de sua base produtiva e logística capaz de garantir escala.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SPIS tem um papel destacado no movimento global de expansão da bioeconomia, que tem o vetor ambiental como carro chefe. Isso se deve à sua capacidade de gerar biomassa em grande escala e baixo custo, à versatilidade da cana como matéria-prima, e ao fato de que o açúcar e o etanol são as principais matérias-primas para a maioria das rotas de desenvolvimento e produção dos bioprodutos e intermediários fundamentais para superar a atual economia de base fóssil.

Essas características estão na base do potencial que o SPIS tem para avançar em termos de sustentabilidade e agregação de conhecimento e valor. Esse potencial se manifesta concretamente, de um lado, pelas possibilidades que abre para diversificação produtiva, com a transformação e criação de novos produtos e mercados e, de outro, pelas oportunidades criadas pela necessidade imperiosa que o sistema possui de buscar processos produtivos mais eficientes e sustentáveis.

Cada um desses campos possui seus próprios desafios produtivos e tecnológicos, que demandam elevados investimentos, representando oportunidades de geração de emprego e renda e desenvolvimento produtivo e inovativo nas regiões produtoras. Além disso eles se interpenetram, potencializando essas oportunidades.

Pelo lado da busca por processos produtivos mais eficientes e sustentáveis, o potencial foi evidenciado pelos elevados investimentos realizados pelas empresas para atender as exigências da agenda ASG, pelos avanços na estruturação e adesão ao mercado de carbono no segmento, e pelo crescimento e capacidade de atração de capital de risco das AGtechs.

No campo da diversificação para agregação de valor, mostrou-se que o potencial não se limita aos setores tecnológicos de ponta, mas se faz presente, igualmente, nos produtos tradicionais e artesanais, e naqueles com tecnologias e mercados já maduros. Nos primeiros, em razão de que, como parte do vetor socioambiental que orienta hoje o crescimento, expandem-se os mercados que valorizam o conteúdo local, cultural, social e ambiental dos produtos. Nos segundos, com a valorização da química verde e as possibilidades de novas aplicações criadas pelo avanço tecnológico.

Na fronteira tecnológica, o potencial se assenta nas possibilidades de se produzir, a partir do açúcar e do etanol, os principais monômeros, polímeros e outros blocos de construção químicos derivados do petróleo, além de uma infinidade de novos biomateriais e bioprodutos que podem advir dos avanços tecnológicos em curso.

Quanto aos impactos dos avanços do SPIS sobre o desenvolvimento do país e das regiões onde se concentra, eles não se limitam aos impulsos econômicos que decorrem dos investimentos realizados pelas empresas do sistema e seus efeitos multiplicadores diretos, como a indução de investimentos em atividades complementares, criação de empregos de qualidade e aumento da renda regional. Seus efeitos indiretos através do impulso à inovação e a geração de conhecimento, bem como de transformação das atividades comerciais e de serviços das cidades médias dos territórios em que se situam, é também bastante importante.

Para um estado periférico como Goiás, como um economia baseada em *commodities* e um histórico de modernização conservadora de sua agricultura, o avanço do SPIS em direção a um modelo de maior agregação de conhecimento e valor, significa uma oportunidade de transformação estrutural. Potencial que não se limita à cana-de-açúcar e seu sistema produtivo e inovativo. Outras *commodities* como o milho e a soja possuem igualmente potencial para transitarem para os segmentos mais avançados da bioeconomia.

Nenhum outro país no mundo possui as condições naturais e a curva de aprendizado econômico e tecnológico do Brasil no âmbito do SPIS, e Goiás é uma das principais fronteiras de sua expansão no país. Contudo, potencial não se realiza automaticamente e nem se transforma espontaneamente em desenvolvimento mais inteligente e inclusivo. Depende da mobilização dos atores e de políticas públicas para enfrentar os desafios conjunturais e limitações estruturais do país e do estado.

Alguns desses desafios foram apontados na caracterização da estrutura do SPIS. Eles se situam, principalmente, nos subsistemas de capacitação e P&D e no de política, representação e promoção. No primeiro, apesar dos avanços que o diferenciam em relação a conhecidas fragilidades do SNI brasileiro, de baixo engajamento do setor privado, distanciamento entre universidade e empresas, e entre a pesquisa científica e a inovação, ele ainda sofre com os

problemas daquele. Destaca-se a ausência de uma estratégia nacional de bioeconomia, o grande déficit de recursos humanos altamente qualificados, e investimentos públicos em P&D na área muito aquém dos necessários.

Soma-se a isso as limitações do subsistema de política, representação e promoção. Neste, do lado empresarial, falta unidade nas entidades representativas, ainda fortemente dominadas pelos interesses paulistas. Do lado do setor público, evidencia-se a ausência de uma estratégia nacional clara, a fragmentação das políticas de apoio, com dispersão e sobreposição de esforços, uma visão predominantemente setorial e baixa capacidade de coordenação. Tudo isso se soma, ainda, aos fatores estruturais que conhecemos como “custo Brasil”.

São entraves que necessitam ser urgentemente superados para que o Brasil e Goiás possam aproveitar suas vantagens competitivas e transformar o potencial presente e futuro do SPIS em avanços concretos para seus processos de desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). *RenovaBio: perguntas frequentes*. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/preguntas-frecuentes>. Acesso em: 19 nov. 2022.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2022*. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2022> . Acesso em: 20 dez. 2022.

AGFUNDER. Agri-FoodTech Investing Report - 2020. San Francisco, CA: AgFunder, 2021. Disponível em <https://agfunder.com/research/2021-AgFunder-agrifoodtech-investment-report/> . Acesso em 12 de março de 2023.

AGROEMDIA. Saiba quais culturas usam mais defensivos no Brasil e as que utilizam menos. Agroemdia, 3 marc. 2020. Disponível em : <https://agroemdia.com.br/2020/03/03/saiba-quais-culturas-usam-mais-defensivos-no-brasil-e-as-que-utilizam-menos/> . Acesso em: 14 de fev. de 2023

AGROFY NEWS. Taste Atlas eleger Queijo Canastra como o melhor do mundo. *Agrofy News*, 22 jun 2022. Disponível em: <https://news.agrofy.com.br/noticia/199103/taste-atlas-eleger-queijo-canastra-como-o-melhor-do-mundo> . Acesso em: 20 de dez. 2022.

AGTECH GARAGE. *Orplana anuncia maior programa de inovação aberta no setor sucroalcooleiro no Brasil*. Agtech Garage, 01 jun. 2021. Disponível em: <https://www.agtechgarage.news/orplana-anuncia-maior-programa-de-inovacao-aberta-no-setor-sucroalcooleiro-do-brasil/> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER (AFDC). *Renewable Fuel Standard*, s.d. Disponível em: <https://afdc.energy.gov/laws/RFS> . Acesso em: 10 dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). *O desempenho da indústria química brasileira 2021*. Abiquim, 2022. [https://abiquim-files.s3.us-west-2.amazonaws.com/uploads/guias\\_estudos/2bc236800018f99168cf4d8c5fd\\_De\\_sempenho%2Bda%2BInd%C3%BAstria%2BQu%C3%ADmica%2B2021.pdf](https://abiquim-files.s3.us-west-2.amazonaws.com/uploads/guias_estudos/2bc236800018f99168cf4d8c5fd_De_sempenho%2Bda%2BInd%C3%BAstria%2BQu%C3%ADmica%2B2021.pdf) . Acesso em: 10 de dez. de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOINOVAÇÃO (ABBI). *Associados*. Disponível em <https://abbi.org.br/associados-abbi/> . Acesso em em 13 de dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). *Pesquisa Setorial*. Disponível em: [https://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://anda.org.br/pesquisa_setorial/) .

B3. *Créditos de Descarbonização - CBIO*. Disponível em: [http://www.b3.com.br/pt\\_br/produtos-e-servicos/negociacao/renda-variavel/cbios/](http://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/renda-variavel/cbios/). Acesso em: 20 dez. 2022.

BAYER. *Canavialis e Alellyx*. Disponível em: [www.bayer.com.br](http://www.bayer.com.br) . Acesso em: 12 de dez. de 2022.

BNDES (n.d.). *Critérios ambientais para apoio ao setor de processamento de cana de açúcar*. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/o-que-nos-orienta/outras-politicas-e-regulamentos/regulamento-socioambiental/regulamento-gestao-socioambiental> , Acesso em: 16 nov. 2022.

BOLOGNESI, A. Análise do Ambiente Concorrencial do Setor Elétrico no Brasil. out. 2018. Apresentação Power Point. Disponível em: [http://site1368799385.hospedagemdesites.ws/XXIVsimposiojuridico/palestras/pale\\_Antonio\\_Bolognesi.pdf](http://site1368799385.hospedagemdesites.ws/XXIVsimposiojuridico/palestras/pale_Antonio_Bolognesi.pdf) . Acesso em: 14 de fev. de 2023.

BONASSA , G. et al. Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.4, p. 144- 166, 2015. Disponível em: [https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/44075/pdf\\_72](https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/44075/pdf_72) . Acesso em: 25 de novembro de 2022.

BOONS, F.; LÜDEKE-FREUND, F. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, v. 45, p. 9-19, 2013.

BRASIL. Decreto nº 9.888, de 27 de junho de 2019. Regulamenta a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, que institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 jun. 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato2019-2022/2019/Decreto/D9888.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2019-2022/2019/Decreto/D9888.htm). Acesso em: 20 dez. 2022.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm). Acesso em: 20 dez. 2022.

BRASILAGRO. *Criada em Pernambuco a Associação de Produtores de Açúcar e Bioenergia*. BrasilAgro, 03 abr. 2019. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/criada-em-pernambuco-a-associacao-de-produtores-de-acucar-e-bioenergia.html> ,. Acesso em: 24 de novembro de 2022.

BRASKEM. *Braskem investe US\$ 61 milhões na expansão da produção de biopolímeros*. Braskem, 23 fev. 2021. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-investe-us-61-milhoes-na-expansao-da-producao-de-biopolimeros> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

BRASKEM. *Relatório Integrado 2022*. Disponível em: <https://www.braskem-ri.com.br/divulgacoes-documentos/relatorios-anuais/> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

BRESCHI, S.; MALERBA, F. *Sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries*. In: EDQUIST, C. (Ed.). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations*. London: Pinter, 1997. p. 130-156.

BUGGE, M. M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, v. 8, n. 7, p. 691, 2016.

BUZATTO, H. K.; TOSO, H.; DE CARVALHO, M. A. Uma visão geral sobre o ecossistema de inovação brasileiro. In: *12º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento de Produto*, 2019. Anais...[S.l.]: [s.n.], 2019. DOI: 10.5151/cbgdp2019-80 .

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). *Créditos de Descarbonização (CBIOS)*. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/cbios?\\_afLoop=478784850988053&\\_adf.ctrl-state=yjbfp0n1l\\_9](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/cbios?_afLoop=478784850988053&_adf.ctrl-state=yjbfp0n1l_9). Acesso em: 20 dez. 2022.

CAMPO & NEGÓCIOS. Soluções para automação no plantio de cana-de-açúcar. *Revista Campo & Negócios*, 14 nov. 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/solucoes-para-automacao-no-plantio-de-cana-de-acucar/>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

CANAONLINE. Jalles Machado se prepara para personalizar sua levedura. *Cana on line*, 09 set. 2015. <http://www.canaonline.com.br/conteudo/jalles-machado-se-prepara-para-personalizar-sua-levedura.html>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.

CAROL. *Cachaçaria Nacional encerra 2021 com mais de R\$ 6.500 mi de faturamento e expectativa de crescimento de 10% em 2022*. *Portal IN*, 31 jan. 2022. Disponível em: <https://www.portalin.com.br/in-loco/cachacaria-nacional-encerra-2021-com-mais-de-r-6-500-mi-de-faturamento-e-expectativa-de-crescimento-de-10-em-2022/>. Acesso em: 20 de dez. 2022.

CASSIOLATO, J. E., & LASTRES, H. M. M.. *Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?* GLOBELICS Working Paper Series, n. 08-02, s.d.

CASSIOLATO, J. E., & LASTRES, H. M. M.. Sistemas de Inovação e Desenvolvimento: as implicações de política. *São Paulo em Perspectiva*, 19(1), p.34-45, 2005  
<https://www.scielo.br/j/spp/a/9V95npxV66Yg8vPJTpHfYh/?lang=pt&format=pdf>

CASTRO, L.S. Panorama recente da cana-de-açúcar no Brasil: aspectos da convergência espacial na produtividade. *Rev. Econ. NE*, Fortaleza, v. 53, n. 2, p. 27-40, abr./jun., 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/sergi/Dropbox/My%20PC%20\(DESKTOP-QH9K2JQ\)/Downloads/1084-5405-1-PB.pdf](file:///C:/Users/sergi/Dropbox/My%20PC%20(DESKTOP-QH9K2JQ)/Downloads/1084-5405-1-PB.pdf). Acesso em: 24 de novembro de 2022.

CASTRO, S, D.. *National bioeconomy strategies in Europe and the Italian experience*. Roma, 2019, mimeo.

CASTRO, S. D. e ARRIEL, M. F. A Indústria no Brasil Central: Transformações, desafios e oportunidades. *Conjuntura Econômica Goiana*, Goiânia, n. 36, p.21-40, jul. 2016. Disponível em: [http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj36/artigo\\_02.pdf](http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj36/artigo_02.pdf). Acesso em: 30 de set. de 2022.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). *Institucional*. Disponível em: <https://ctc.com.br/>. Acesso em: 12 de dez. de 2022.

CHERUBINI, F. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n. 7, p. 1412-1421, 2010.

COMEX DO BRASIL. *Exportação de cachaça bate recorde em 2022, soma mais de US\$ 20 milhões e conquista mercados em 75 países*. Comex do Brasil, 19 jan. 2023. Disponível em: <https://www.comexdobrasil.com/exportacao-de->

[cachaca-bate-recorde-em-2022-soma-mais-de-us-20-milhoes-e-conquista-mercados-em-75-paises](#) . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

COMISSÃO EUROPEIA. *Quality schemes explained*. Bruxelas, 2020. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/quality-schemes-explained\\_en](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/food-safety-and-quality/certification/quality-labels/quality-schemes-explained_en). Acesso em: 24 de nov. de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (COBAL). Acompanhamento da safra brasileira. Cana de açúcar. Safra 2021-2022. Brasília: *Boletim Cobal*, v. 8 n.4, abr. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar> . Acesso em: 10 dez. 2022.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA (CADE). Mercados de distribuição e varejo de combustíveis líquidos. Brasília, Cade, 2022. Disponível em: [https://cdn.cade.gov.br/Portal/centrais-de-conteudo/publicacoes/estudos-economicos/cadernos-do-cade/Caderno\\_Mercados-de-distribuicao-e-varejo-de-combustiveis-liquidos.pdf](https://cdn.cade.gov.br/Portal/centrais-de-conteudo/publicacoes/estudos-economicos/cadernos-do-cade/Caderno_Mercados-de-distribuicao-e-varejo-de-combustiveis-liquidos.pdf) Acesso em: 14 de fev. de 2023.

CONSECANA. Quem somos e Histórico. Disponível em : <http://www.consecana.com.br/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

CORTEZ,L.;MAGALHAES,P.; HAPPI,J. Principais subprodutos da agroindústria a canaveira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia*, v. 2, n. 2, p.1-17, 2011. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/download/45/45/> . Acesso em: 25 de novembro de 2022.

DEDINI. *Pesquisa e desenvolvimento*. Disponível em: [www.dedini.com.br](http://www.dedini.com.br) . Acesso em: 10 de dez. de 2022.

DIAS, A. C., R.; PACHECO, E. B.; GUILHERME, M. R.; OTAGURO, H. Biopolímeros: propriedades e aplicações na substituição de polímeros convencionais. *Polímeros*, 30(2), e2020024, 2020.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

EDMONDSON, A. C. The Local and Variegated Nature of Learning in Organizations: A Group-Level Perspective. *Organization Science*, v. 13, n. 2, p. 128-146, 2001.

EDQUIST, C.; JOHNSON, B. *Institutions and organizations in systems of innovation*. In: EDQUIST, C. (Ed.). *Systems of Innovation: Technologies, Institutions, and Organizations*. London: Pinter, 1997. p. 41-63.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Embrapa Agroenergia. A unidade*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroenergia> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA (EPE). *Cellulosic (second generation) ethanol –2GE*. EPE, 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-628/FS-EPE-DPG-SDB-2021-01-E2G\\_EN.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-628/FS-EPE-DPG-SDB-2021-01-E2G_EN.pdf) . Acesso em: 12 de mar. de 2023.

ESTATISTA. *Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2021*. Estatista, 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> . Acesso em: 10 dez. 2022.

EUROPEAN BIOPLASTICS. *Bioplastics market data*. European Bioplastics/Nova Institute, 2022. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/market/> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

EUROPEAN COMMISSION. *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. Brussels: European Commission, 2012.

EXPOCACHAÇA. *Números da cachaça mercado externo*. Disponível em: <https://www.expocachaca.com.br/numeros-da-cachaca/> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

FAIRTRADE INTERNATIONAL. *Monitoring the scope and benefits of Fairtrade: Ninth edition*. Bonn, 2020. Disponível em: [https://files.fairtrade.net/publications/2020\\_Monitoring\\_Report\\_web.pdf](https://files.fairtrade.net/publications/2020_Monitoring_Report_web.pdf). Acesso em: 24 de nov. de 2022.

FIGUEIREDO, S. S. S.; JARDIM, F.; SAKUDA, L. O. (Orgs.) *Radar AgTech Brasil 2022: Mapeamento das Startups do Setor Agro Brasileiro*. Embrapa, SP Ventures e Homo Ludens: Brasília e São Paulo, 2022. Disponível em: [www.radaragtech.com.br](http://www.radaragtech.com.br) . Acesso em: 30 de set. de 2022.

FRAGA, A. Startup planeja produzir mais de 1 bilhão de mudas pré-brotadas de cana em 5 anos. *Globorural*, 01 marc. 2021. Disponível em <https://globorural.globo.com/Noticias/Agtech/noticia/2021/02/startup-planeja-produzir-mais-de-1-bilhao-de-mudas-pre-brotadas-de-cana-em-5-anos.html> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

FREEMAN, C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Pinter, 1987.

FRONZAGLIA, T; MARTINS, R. . *O avanço institucional do sistema de inovação sucroalcooleiro*. São Paulo: IEA, jun. 2005. Disponível em : <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=2476>. Acesso em: 24 de novembro de 2022.

FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DE SÃO PAULO (FAPESP). *Plástico biodegradável de açúcar está pronto para escala industrial*. Agência Fapesp, 07 ago. 2012. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/plastico-biodegradavel-de-acucar-esta-pronto-para-escala-industrial/15994/> . Acesso em: 10 dez. 2022.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). *Bioen-Fapesp*. Disponível em: <https://fapesp.br/bioen/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). *Plástico biodegradável de açúcar está pronto para escala industrial*. Agência Fapesp, 07 ago. 2012. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/plastico-biodegradavel-de-acucar-esta-pronto-para-escala-industrial/15994/> . Acesso em: 13 de dez. de 2022.

GORDINHO, M. C. *Do álcool ao etanol: trajetória única*. São Paulo: Editora Terceiro Nome, 2016.

GUERRA, E. S.; LIMA, E.V. Introduction to Polymers and Polymer Types. In: GUERRA, E. S; LIMA, E.V. (Eds) *Handbook of polymer synthesis, characterization, and processing*. John Wiley & Sons, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781118480793.ch1> . Acesso em Acesso em 13 mar. 2022.

HEKKERT, M. P.; SUURS, R. A. A.; NEGRO, S. O.; KUHLMANN, S.; SMITS, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), p.413–432, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). *Pesquisa e inovação*. Disponível em: [www.iac.sp.gov.br](http://www.iac.sp.gov.br) . Acesso em: 12 de dez. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais> . Acesso em: 10 de dez. de 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS (IPT). *Histórico e Soluções Tecnológicas*. Disponível em: <https://www.ipt.br/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Investment 2020*. Paris: IEA, 2020.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. *Climate Investment Opportunities in Emerging Markets: An IFC Analysis*. Washington, DC: IFC, 2016.

JARDIM, L. *Odebrecht põe à venda seus negócios de açúcar e etanol*. Novacana, 16 jan.2017. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/lauro-jardim-odebrecht-venda-negocios-acucar-etanol-160117> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

JORNALCANA. São Martinho incorpora Omtek para aumentar eficiência. *Jornal Cana*, 26 abr. 2011. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/sao-martinho-incorpora-omtek-para-aumentar-eficiencia/> . Acesso em: 25 de novembro de 2022.

KEMP, R.; PEARSON, P. *Final report MEI project about measuring eco innovation*. Maastricht, 2007.

KIESZKOWSKI, D. Os reflexos da Agenda Internacional de ESG sobre meio ambiente no agronegócio brasileiro: um olhar sobre a Associação Brasileira do Agronegócio (ABAG) e a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). 2021. 33 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Gestão de Políticas Internacionais), PUC Rio, Rio de Janeiro, 2021.

KOVARIK, B. History of Biofuels In: B.P. Singh (ed.) *Biofuels Crops: Production, Physiology and Genetics*. CABI, 2013 Disponível em <https://billkovarik.com/bio/cabi/> . Acesso em 26 jun. 2022.

LEITE, F. P.; MELO, C. A. O impacto das AGtechs na sustentabilidade do agronegócio: uma análise global. *Revista Internacional de Desenvolvimento Sustentável*, v. 16, n. 4, p. 229-248, 2019.

LORENZI, B.R; ANDRADE, T.H.N. O etanol de segunda geração no Brasil. Políticas e redes sociotécnicas. *RBCS* vol. 34 n. 100, p.1-19, 2019.

LOYOLA, M. P. *Caracterização do Setor Sucoalcooleiro no Estado de Goiás*. Piracicaba: ESALQ/USP, mimeo, 2010.

LUNDEVALL, B.-Å. (Ed.). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London: Pinter, 1992.

- LUNDEVALL, B.-Å. *Innovation, Growth and Social Cohesion: The Danish Model*. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.
- LYND, L. R.; LASER, M. S.; BRANSBY, D.; DALE, B. E., DAVISON, B., HAMILTON, R., WYMAN, C. E.. How biotech can transform biofuels. *Nature Biotechnology*, 26(2), p. 169-172, 2008.
- MACHADO, R. B.; DIAS, T. A. O futuro das AGtechs no Brasil: uma análise de tendências e desafios. *Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 21, n. 1, p. 102-121, 2021.
- MALERBA, F. *Sectoral systems of innovation and production*. Research Policy, v. 31, n. 2, p. 247-264, 2002.
- MENEZES, M.M.V. et al. Aplicabilidade de resíduos da indústria sucroalcooleira como fertilizantes. In: SOUSA, C.S; SABIONI, S.C.; LIMA, F.S. *Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável - volume 3*. Guarujá-SP: Editora Científica, 2021.
- MILANEZ, A.Y. et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar – uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*. Rio de Janeiro: BNDES, marc. de 2015. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/4281> . Acesso em: 16 nov. 2022.
- MILANEZ, A.Y.; SOUZA, J.A.P. ; MANCUSO, R. Panoramas Setoriais Setor Energético. IN: BNDES. *Panoramas Setoriais 2030*. Desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenegerg%C3%A9tico\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14245/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Sucroenegerg%C3%A9tico_P_BD.pdf)
- NASSIF, A. L.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, L. B. AGtechs no cenário global: inovação e impacto no agronegócio. *Revista de Economia e Administração*, v. 19, n. 2, p. 175-194, 2020.
- NELSON, R. R. (Ed.). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. New York: Oxford University Press, 1993.
- NORTH, D. C. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- NOVACANA. As 7 etapas do sistema de plantio de mudas pré-brotadas. NovaCana, 27 nov. 2013. Disponível em <https://www.novacana.com/n/cana/plantio/as-7-etapas-sistema-plantio-mudas-pre-brotadas-271113> . Acesso em: 10 de dez. de 2022.
- NOVACANA. Polo da cana, Piracicaba (SP) está virando o 'Vale do Agronegócio'. Novacana, 17 jul. 2019. Disponível em: <https://www.agtechgarage.news/orplana-anuncia-maior-programa-de-inovacao-aberta-no-setor-sucroalcooleiro-do-brasil/> . Acesso em: 01 de junho de 2023.
- PARREIRA, M. M. O financiamento do agronegócio pelos FIAGROs e a relação mercado de crédito e mercado de capitais. Migalhas, 21 mar. 2023 . Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/383227/o-financiamento-do-agronegocio-pelos-fiagros> . Acesso em: 25 de março de 2023.
- PINTO JUNIOR, M.E.; DUTRA, J.C. (Org) Concessões no setor elétrico brasileiro. Evolução e perspectivas. São Paulo: Synergia Editora, 2022.

PORTAL DO AGRONEGOCIO. Agtech desenvolve sensor de impurezas vegetais que consegue analisar até 95% da cana-de-açúcar que chega na usina. Portal do Agronegocio, 06 marc. 2023. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/tecnologia/outros/noticias/agtech-desenvolve-sensor-de-impurezas-vegetais-que-consegue-analisar-ate-95-da-cana-de-acucar-que-chega-na-usina> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. Creating shared value. *Harvard Business Review*, v.89, n. 1-2, p. 62-77, 2011.

POSSAS, M. L.. *Estruturas de mercado em oligopólio*. São Paulo, Hucitec, 1985. 202 p.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO (RIDESA). *Pesquisa e inovação*. Disponível em: [www.ridesa.com.br](http://www.ridesa.com.br) . Acesso em: 12 de dez. de 2022.

REUTERS. Raízen acerta venda de etanol 2G à Shell e investirá R\$6 bi em 5 novas plantas. UOL notícias, 7 nov. 2022. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/reuters/2022/11/07/raizen-fecha-contrato-para-venda-de-etanol-2g-a-shell-a-partir-de-5-novas-plantas.htm> . Acesso em: 14 de fev. de 2023.

REVISTA CULTIVAR. Produtores de mudas de cana-de-açúcar alcançam altas produtividades e economia com irrigação por gotejamento. Revista Cultivar, 28 jul. 2021. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/produtores-de-mudas-de-cana-de-acucar-alcancam-altas-produtividades-e-economia-com-irrigacao-por-gotejamento> . Acesso em: 10 de dez. de 2022.

RPANEWS. AGTech é selecionada para programa Agro 4.0 com automação para plantadoras de cana. RPA News, 19 de janeiro de 2021. Disponível em <https://revistarpanews.com.br/agtech-e-selecionada-para-programa-agro-4-0-com-automacao-para-plantadoras-de-cana/> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

SAJI, Z.; SILVA, M.A.B.; DANIAL S.N. Historical Analysis of the Role of Governance Systems in the Sustainable Development of Biofuels in Brazil and the United States of America (USA). *Sustainability*, 13, 6881, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/sustainability> . Acesso em 26 jun. 2022.

SANTOS, G. R. (Org.) Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas. Brasília : Ipea, 2016

SANTOS, G. S.; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P.F.A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. Radar, 39, p.27-38, jun. 2015.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; MONFORTI-FERRARIO, F.; NITA, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, v. 15, p. 3-34, 2015.

SCHALTEGGER, S.; BURRITT, R.; PETERSEN, H. *An Introduction to Corporate Environmental Management: Striving for Sustainability*. Sheffield: Greenleaf Publishing, 2003.

SCHALTEGGER, S.; WAGNER, M. Sustainable entrepreneurship and sustainability innovation: categories and interactions. *Business Strategy and the Environment*, v. 20, n. 4, p. 222-237, 2011.

SCHEDENFFELDT, B. F. et al. Instrumentos privados de financiamento do agronegócio. *Revista de Política Agrícola*, ano XXX, n. 1, p.70-84, jan.fev.mar,

2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1599> . Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, DESENVOLVIMENTO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (SEMADESC). Sementes de cana ?. SEMADESC-MS, 7 jan. 2016. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/sementes-de-cana/> . Acesso em: 10 de dez. de 2022.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). *Unidades*. Disponível em: <https://www.sp.senai.br/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE FABRICANTES DE ETANOL DE GOIÁS (SIFAEG). Quem somos. <https://sifaeg.com.br/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

SOLUBIO. Aqua Capital compra participação minoritária na SoluBio. Solubio, 29 ago. 2022. Disponível em: <https://www.solubio.agr.br/post/aqua-capital-compra-participa%C3%A7%C3%A3o-minorit%C3%A1ria-na-solubio> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

STATISTA. *Market size value of plastics worldwide from 2021 to 2030*. Statista, 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1060583/global-market-value-of-plastic/> . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

TÁVORA, F. L. História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil. Brasília: Centro de Estudos da Consultoria do Senado, abril, 2011. (Textos para Discussão 89) Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-89-historia-e-economia-dos-biocombustiveis-no-brasil> . Acesso em: 10 mar. 2022

TEREOS. História. Grupo Tereos, s.d. Disponível em <https://br.tereos.com/pt-pt/sobretereos/historia/#:~:text=O%20ponto%20de%20partida%20da,maior%20produtor%20mundial%20de%20a%C3%A7%C3%BAcar> . Acesso em: 13 de dez. de 2022.

TIEPPO, P. *Queijo da Canastra é regulamentado, e preço triplica*; conheça produção. UOL, São Paulo, 13 fev. 2014. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/agronegocio/noticias/redacao/2014/02/13/queijo-da-canastra-e-regulamentado-e-preco-triplica-conheca-producao.htm> . Acesso em: 20 de dez. 2022.

UN (United Nations). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations, 2015.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (UNICA). Unica é contra a venda direta de etanol pelo produtor ao posto revendedor. Única, 13 jun. 2018. disponível em: <http://old.unica.com.br/noticia/42854212920320945974/unica-e-contra-a-venda-direta-de-etanol-pelo-produtor-ao-posto-revendedor/> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA (UDOP). *Preço médio dos CBios subiu quase três vezes em 2022*. 02/01, 2023. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/01/02/preco-medio-dos-cbios-subiu-quase-tres-vezes-em->

[2022.html#:~:text=Assim%20que%20o%20Minist%C3%A9rio%20de,em%20R%24%2085%2C56](#). Acesso em: 20 dez. 2022.

UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA (UDOP). *Produção sucroalcooleira*. UDOP, s.d.. Disponível em: <https://www.udop.com.br/> . Acesso em 12 de março de 2022.

UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA (UDOP). *Tereos lança desafio para startups em busca de soluções para automação no plantio de cana-de-açúcar*. UDOP, 01 nov. 2022. Disponível em : <https://www.udop.com.br/noticia/2022/11/04/tereos-lanca-desafio-para-startups-em-busca-de-solucoes-para-automacao-no-plantio-de-cana-de-acucar.html> . Acesso em: 01 de junho de 2023.

UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA (UDOP). *Usinas testam retorno à bolsa com estreia da Jalles Machado*. UDOP, 08 fev. 2021. Disponível em: <https://udop.com.br/noticia/2021/02/08/usinas-testam-retorno-a-bolsa-com-estreia-da-jalles-machado.html> Acesso em: 15 de dezembro de 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). *From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution*. Synthesis. Nairobi, 2021. Disponível em: [https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum\\_1.pdf](https://malaysia.un.org/sites/default/files/2022-02/POLSOLSum_1.pdf) . Acesso em: 10 de fev. de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG). Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar / UFG (PMGCA-UFG). Disponível em: <https://ppggmp.agro.ufg.br/p/43743-evolucao-historica> . Acesso em: 24 de novembro de 2022.

VALOR ECONÔMICO. Cofco Agri planeja ampliar usinas no Brasil. *Valor Econômico*, 08 de novembro de 16. Disponível em: <https://www.investe.sp.gov.br/noticia/cofco-agri-planeja-ampliar-usinas-no-brasil/> . Acesso em: 12 de mar. de 2023.

VAZZOLÉR , L.F.R; BONACELLI, M.B.M. Geração e uso de etanol combustível: oportunidades e limites da tecnologia flex-fuel. *Revista Gestão & Conexões*, Vitória (ES), v. 1, n. 1, p.111-133, jul./dez. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287556157\\_Geracao\\_e\\_Uso\\_de\\_Etanol\\_Combustivel\\_oportunidades\\_e\\_limites\\_da\\_tecnologia\\_flex\\_fuel](https://www.researchgate.net/publication/287556157_Geracao_e_Uso_de_Etanol_Combustivel_oportunidades_e_limites_da_tecnologia_flex_fuel) . Acesso em: 10 mar. 2022.

VIRGIN, I. The Bioeconomy: A Path to Sustainability? In: MOLLER, A.; MANFREDI, S.; PISTOIA, A. (Eds.). *Sustainable Development Research at Universities in the United Kingdom*. Cham: Springer, 2018. p. 253-262.

WEISS, M.; BIRNBAUM, M. H. Socially responsible investment in clean energy infrastructure. *Business Strategy and the Environment*, v. 19, n. 7, p. 460-471, 2010.

WILLER, H.; LERNOUD, J. (Eds.). *The world of organic agriculture*. Statistics and emerging trends 2021. Frick, Switzerland: Research Institute of Organic Agriculture (FiBL); Bonn, Germany: IFOAM - Organics International, 2021. Disponível em: [https://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2021/FiBL-IFOAM-2021-The\\_World\\_of\\_Organic\\_Agriculture.pdf](https://www.organic-world.net/fileadmin/documents/yearbook/2021/FiBL-IFOAM-2021-The_World_of_Organic_Agriculture.pdf). Acesso em: 24 de novembro de 2022.

WORLD BANK. State and trends of carbon pricing 2020. Washington, DC: World Bank, 2020.

ZAPAROLLI, D. Papel de bagaço e palha. *Revista Pesquisa FAPESP*, 263, p.69-71, 2018. Disponível em: [https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/01/068-071\\_papel-de-cana\\_263.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2018/01/068-071_papel-de-cana_263.pdf) . Acesso em: 25 de novembro de 2022.