



Universidade de Brasília

Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas
Ciências Econômicas

João Marcelo Fernandes Abbud

POR QUE O ALTERNATIVO NÃO SE TORNA DOMINANTE?
Barreiras e facilitadores à inovação em bioinsumos para agricultura no Brasil

Brasília, DF
2024

João Marcelo Fernandes Abbud

Por que o alternativo não se torna dominante?

Barreiras e facilitadores à inovação em bioinsumos para agricultura no Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Andrei Domingues Cechin

Brasília, DF
2024

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AA134P Abbud, João Marcelo Fernandes
 / João Marcelo Fernandes Abbud; orientador Andrei
 Domingues Cechin. -- Brasília, 2024.
 95 p.

 Monografia (Graduação - Ciências Econômicas) --
 Universidade de Brasília, 2024.

 1. Bioinsumos. 2. Regime Tecnológico. 3. Transições
 Sociotécnicas. 4. Agricultura. 5. Sustentabilidade. I.
 Cechin, Andrei Domingues, orient. II. Título.

João Marcelo Fernandes Abbud

Por que o alternativo não se torna dominante?

Barreiras e facilitadores à inovação em bioinsumos para agricultura no Brasil

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Data da aprovação: 05/08/2024

Andrei Domingues Cechin — Orientador
Doutor em Administração pela Universidade de Wageningen
Professor do Departamento de Economia (UnB)

Cristiane Gomes Barreto — Membro da Banca
Doutora em Política e Gestão Ambiental pelo CDS-UnB
Professora do Centro de Desenvolvimento Sustentável (UnB)

RESUMO

Diante dos impactos humanos no Antropoceno, é necessário pensar em mudanças para os sistemas de consumo e produção vigentes. Os sistemas agroalimentares convencionais, apesar de essenciais à satisfação das necessidades básicas da sociedade, são grandes emissores de Gases do Efeito Estufa e oferecem graves riscos sanitários e ecossistêmicos. O ramo agrícola brasileiro, em sendo dependente da importação e do uso de pesticidas e fertilizantes químicos, contribui em grande medida para esses efeitos deletérios sobre o meio ambiente. Nesse sentido, a tecnologia dos bioinsumos tem o potencial de se inserir nesse ramo e contribuir para uma agricultura mais sustentável no Brasil. Essa tecnologia alternativa, no entanto, mesmo ganhando notoriedade nos últimos anos, ainda é um nicho de mercado do agronegócio e apresenta barreiras ao crescimento. Usando o arcabouço das Transições Sociotécnicas, é feito um mapeamento do ambiente regulatório e do mercado de bioinsumos, identificando componentes chave do processo de inserção da tecnologia ao regime agrícola dominante, nomeadamente tecnologias, usuários e organizações. A partir disso, com a metodologia de predição, são adotadas premissas que embasam cenários de alinhamento dos bioinsumos ao ramo agrícola brasileiro. As projeções apontam que é possível chegar a um cenário de sucesso, em que os bioinsumos compartilham uma dinâmica 40-60% de mercado com os insumos químicos, caracterizando uma agricultura de menor impacto. Para isso, é necessário que haja coesão entre componentes chave do processo, resultando em coordenação regulatória e tecnológica. A coordenação promove o alinhamento entre nicho e regime dominante, mas depende fortemente do desenho institucional e da ação estatal direcionada.

Palavras-chave: Bioinsumos. Regime Tecnológico. Transições Sociotécnicas. Agricultura. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Given the human impacts in the Anthropocene, it is necessary to consider changes to current consumption and production systems. Conventional agri-food systems, although essential to meeting society's basic needs, are major emitters of greenhouse gases and pose serious health and ecosystem risks. Being dependent on the import and use of chemical pesticides and fertilizers, the Brazilian agricultural sector significantly contributes to these harmful effects on the environment. In this context, the technology of bio-inputs has the potential to enter this sector and contribute to a more sustainable agriculture in Brazil. This alternative technology, however, despite gaining notoriety in recent years, is still a niche market within agribusiness and faces barriers to growth. Using the framework of Socio-Technical Transitions, a mapping of the regulatory environment and the bio-inputs market is carried out, identifying key components of the process of integrating the technology into the dominant agricultural regime, namely technologies, users, and organizations. From this, using prediction methodology, assumptions that underpin scenarios for aligning bio-inputs with the Brazilian agricultural sector are adopted. Projections indicate that it is possible to reach a successful scenario in which bio-inputs share a 40-60% market dynamic with chemical inputs, characterizing a lower-impact agriculture. For this, cohesion between key components of the process is necessary, resulting in regulatory and technological coordination. Coordination promotes alignment between the niche and the dominant regime but is heavily dependent on institutional design and directed state action.

Keywords: Bio-inputs. Technological Regime. Socio-Technical Transitions. Agriculture. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1 – REDE MULTI-ATORES ENVOLVIDA EM REGIMES SOCIOTÉCNICOS	22
FIGURA 2 - MÚLTIPLOS NÍVEIS EM HIERARQUIA INTEGRADA	23
FIGURA 3 - PERSPECTIVA DINÂMICA MULTINÍVEL DAS TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS	26
FIGURA 4 - PERSPECTIVA MULTINÍVEL APLICADA A TRANSIÇÕES EM SISTEMAS CONSUMO- PRODUÇÃO ENFATIZANDO A INTEGRAÇÃO NATUREZA-SOCIEDADE	29
FIGURA 5 – EXEMPLOS DE MUDANÇAS TECNOLÓGICAS E RESPECTIVAS TRANSIÇÕES	37
FIGURA 6 - GUIA PARA PROCESSOS DE PREVISÃO DENTRO DA MUTUAL LEARNING PLAFORM	52
FIGURA 7 – NÚMERO DE PRODUTOS BIOLÓGICOS REGISTRADOS NO BRASIL DE 1991 A 2023	60
FIGURA 8 - VOLUME DE NEGÓCIOS NO MERCADO DE INSUMOS BIOLÓGICOS NO BRASIL DE 2017 A 2023	63
FIGURA 9 - PARCELA DE DEFENSIVOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NO MERCADO BRASILEIRO DE 2017 A 2023	64
FIGURA 10 - CORRELAÇÃO ENTRE ÁREA POTENCIALMENTE TRATADA E VOLUME DE NEGÓCIOS DO SEGMENTO DE BIOINSUMOS	66
FIGURA 11 - PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E VENDAS DE INGREDIENTES BIOLÓGICOS ATIVOS DE 2017 A 2019 PARA O BRASIL	72
FIGURA 12 - FATORES QUE APOIAM O DESENVOLVIMENTO DAS CAPACIDADES AGROINDUSTRIAS EM PAÍSES EMERGENTES	75
FIGURA 13 - OBJETIVOS E FERRAMENTAS DA REDE DE PESQUISA DEPHY	77
FIGURA 14 - PREVISÃO DO VOLUME DE NEGÓCIOS PARA O MERCADO DE BIOINSUMOS ATÉ 2034, EM USD – CENÁRIO 1	79
FIGURA 15 - PROJEÇÃO DO TOTAL DE MERCADO DE INSUMOS AGRÍCOLAS ATÉ 2034 NO BRASIL EM USD – CENÁRIO 1	81
FIGURA 16 - PREVISÃO DO VOLUME DE NEGÓCIOS PARA O MERCADO DE BIOINSUMOS ATÉ 2034, EM USD – CENÁRIO 2	82
FIGURA 17 - PROJEÇÃO DO TOTAL DE MERCADO DE INSUMOS AGRÍCOLAS ATÉ 2034 NO BRASIL EM USD – CENÁRIO 2	84

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS.....	18
2.1	CONFIGURAÇÕES SOCIOTÉCNICAS.	18
2.2	REGIMES E PAISAGENS.	20
2.3	NICHOS TECNOLÓGICOS.....	22
2.4	ANÁLISE HIERÁRQUICA.....	23
2.5	MECANISMOS DAS TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS.....	26
2.6	TRANSIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE.....	27
3.	ECONOMIA EVOLUCIONÁRIA, INOVAÇÕES E POLÍTICAS PÚBLICAS.	34
3.1	TRAJETÓRIA DAS INOVAÇÕES E CONCEITOS DA COMPLEXIDADE.....	34
3.2	FORMAS ORGANIZACIONAIS E INSTITUIÇÕES.	37
3.3	COEVOLUÇÃO TECNOLÓGICA.....	39
3.4	IMPLICAÇÕES EVOLUCIONÁRIAS PARA POLÍTICAS PÚBLICAS.	41
3.5	IMPLICAÇÕES DA ECONOMIA EVOLUCIONÁRIA PARA POLÍTICAS AMBIENTAIS.....	45
4.	METODOLOGIA.....	49
4.1	BASE CONCEITUAL.....	49
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
5.	BIOINSUMOS NO BRASIL.	57
5.1	PROGRAMA NACIONAL DE BIOINSUMOS.	57
5.2	REGISTRO E REGULAÇÃO.	59
5.3	MERCADO E VOLUME DE NEGÓCIOS.	63
5.4	BIOFÁBRICAS, ESTRUTURAS DE OFERTA E GEOLOCALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO.	66
5.5	ORGANIZAÇÃO EMPRESARIAL.....	68
5.6	CRÉDITO E INSTRUMENTOS ECONÔMICOS.....	70
5.7	IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO.	71
6.	QUADROS INTERNACIONAIS DE BIOINSUMOS.	73
6.1	ARGENTINA.	73
6.2	FRANÇA.....	76
7.	PREVISÕES.....	79
7.1	CENÁRIO 1.....	79
7.2	CENÁRIO 2.....	81
8.	CONCLUSÕES.....	85
9.	REFERÊNCIAS.....	89

1. INTRODUÇÃO.

O impacto das atividades humanas no meio ambiente é certamente um dos maiores desafios enfrentados no Antropoceno. Questões como o colapso de ecossistemas, a frequência de eventos climáticos extremos e o aumento da demanda calórica, decorrente das projeções de crescimento populacional, alertam sobre a problemática do estilo de vida baseado em extração de recursos, consumo excessivo e crescimento desenfreado. Como consequência, processos adaptativos e transformacionais são necessários para evitar catástrofes humanitárias, ecológicas e socioeconômicas a nível global (FAO, 2017).

Apesar da urgência das imposições ambientais, alternativas que consideram os limites biofísicos do planeta não são recentes. Restrições ao crescimento econômico (Meadows, 1972), a irreduzibilidade do caráter entrópico da produção (Georgescu-Roegen, 1971) e a possibilidade de manutenção das capacidades atuais sem comprometer as capacidades futuras (Daly, 2002) são bases importantes para caminhos formadores de um Desenvolvimento Sustentável. Com isso, é possível repensar aspectos centrais de produção e consumo que permeiam sistemas e padrões de vida contemporâneos.

A par desse pensamento, importantes arcabouços conceituais como Economia Ecológica (Daly, 2007), Sociologia Econômica (Callon, 2021), Economia Evolucionária (Anderle, 2020; Dosi; Nelson, 1994) e Teoria da Inovação (Lundvall, 1988), em paralelo à ciência da Sustentabilidade (Anand; Sen, 2000), embasam a área interdisciplinar dos Estudos de Transição, concebida para lidar com problemas fundamentalmente transversais. Nesse campo, defende-se que sistemas centrais ao funcionamento da sociedade, como mobilidade, energia e alimentação, precisam passar por mudanças profundas nas respectivas estruturas, funções e finalidades, como forma de adaptação às imposições climáticas, sociais e ecológicas.

Sistemas agroalimentares, por exemplo, são essenciais à satisfação das necessidades básicas da humanidade. Mesmo assim, são responsáveis por cerca de 30% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) mundiais, abrangendo produção, distribuição e consumo de alimentos. Além disso, a degradação de terras decorrente da agricultura intensiva também diminui a capacidade de produção de alimentos e contribui para a escassez de água potável (FAO, 2023). O uso intensivo de agrotóxicos ainda acarreta desequilíbrio ecológico e gera

severas consequências à saúde humana. Ou seja, mesmo que agricultura seja indispensável à manutenção da vida moderna, urge a necessidade de reestruturação (Bortoloti, 2022).

Fertilizantes minerais, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), são insumos importantes para a agricultura moderna. No entanto, o uso deles em grandes quantidades causou, nas últimas décadas, impactos sérios, como a eutrofização do solo e de corpos d'água, perda de biodiversidade, poluição de água potável e riscos à saúde humana e animal (Gazzani, 2017). Além disso, de acordo com a Associação Internacional de Fertilizantes (IFA), em geral, eles representam cerca de 2,5% das emissões totais de Gases do Efeito Estufa (GEE) para a atmosfera, resultantes do gasto de energia fóssil para síntese, processamento, transporte de fertilizantes e reações do solo após aplicação (Poliodro; Perez, 2022).

Em termos de emissão de GEE, na média, estima-se que, a partir de cada tonelada de fertilizante nitrogenado fabricada, cerca de 2,5t de CO₂ equivalente são emitidas na atmosfera. Isso acontece para além da liberação de dióxido nitroso (NO₂), que também é um dos principais interventores no balanço radioativo no ozônio da estratosfera (Menegat; Ledo; Tirado, 2022). Considerando a média de custos de produção de fertilizantes nitrogenados, pode-se chegar à noção de que para cada \$100 gastos em fertilizantes nitrogenados, gera-se cerca meia tonelada de CO₂ equivalente emitida na atmosfera (Schnitkey; Baltz; Zulauf, 2023).

Pesticidas químicos, por outro lado, na medida em que também aumentam a produtividade agrícola, geram graves externalidades negativas ao ambiente físico, deteriorando terras produtivas, corpos hídricos, vegetações nativas e vida silvestre. Outra consequência importante é a redução de predadores naturais de insetos, acarretando uma profusão de pragas agrícolas e pragas mais resistentes. Mortalidade e morbidez entre trabalhadores rurais devido à exposição a pesticidas também são comuns (Wilson; Tisdell, 2001).

Quantificando-se as externalidades negativas geradas pelo uso intensivo de defensivos químicos, tem-se, por exemplo, que para cada dólar gasto com a compra de pesticidas no estado do Paraná, incorre-se em cerca de \$1,28 com custos externos relacionados à intoxicação humana. Dessa forma, o montante de custos associados a intoxicações agudas chegou a \$149 milhões para o estado em 2012, evidenciando a realidade perigosa sobre o risco de envenenamento relacionado à exposição ocupacional ou indireta a pesticidas químicos (Soares; Porto, 2012).

Paradoxalmente, a agricultura pode ser uma boa medida para mitigar as mudanças climáticas e trabalhar na construção de sistemas mais sustentáveis (FAO, 2023). As políticas

agroambientais, por exemplo, têm um papel crucial no tratamento de externalidades derivadas da produção agropecuária e na garantia da segurança alimentar à população (Gazzani, 2017). Desde o começo do século, a Agroecologia, termo para o conjunto de práticas capazes de construir alternativas sustentáveis aos modelos de agricultura dominantes, ganhou notoriedade, particularmente a partir de organizações internacionais como a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (Le Velly *et al.*, 2023).

O desenvolvimento da Agroecologia é associado à ideia de reduzir insumos e práticas nefastos ao meio ambiente e à saúde humana, a exemplo de sistemas agropecuários intensivos em recursos e grandes emissores de GEE (Goulet; Vinck, 2012). Mas para além da reivindicação de alimentos mais saudáveis e da conservação de serviços ecossistêmicos, o movimento da Agroecologia levanta pautas socioeconômicas, políticas e educacionais, contribuindo para uma transição agroecológica que também serve como estratégia de desenvolvimento nacional (Lopes; Araújo; Lopes, 2019).

As práticas agroecológicas e sustentáveis, no entanto, encontram dificuldades para se inserir no sistema agroalimentar dominante. O Brasil, cuja participação do agronegócio no PIB nacional tange os 24% (CEPEA, 2024b), é o maior consumidor mundial de agrotóxicos desde 2009 (Dias *et al.*, 2023). Além disso, a dependência externa de N, P e K, respectivamente em 88%, 61% e 99%, não tem perspectiva de mudança para os próximos anos (Poliostro; Perez, 2022). Adicionalmente, o sistema agroalimentar brasileiro é responsável por cerca de 3/4 das emissões totais de CO₂ do país (Alencar *et al.*, 2023) incluindo uso da terra, mudança no uso da terra e florestas (LULUCF) e o mercado de carbono nacional, regulamentado como sistema de *Cap and Trade*, não incluiu o agronegócio, negligenciando qualquer limitação de emissões do setor.

Mesmo assim, a contenção de externalidades não seria suficiente para construir novos mercados sustentáveis e promover a resiliência efetiva de ecossistemas. É preciso entender o papel da indústria de insumos agrícolas para fornecer melhores ações à governança de transição que rege essa questão. É nesse sentido que os insumos de origem biológica, ou bioinsumos, representam uma grande promessa tecnológica, atraindo não só a atenção de produtores alternativos, mas também a de produtores tradicionais e de grande porte do ramo agrícola brasileiro (Le Velly *et al.*, 2023).

Para o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), bioinsumo é considerado:

[...] o produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (Brasil, 2020).

Dessa forma, os bioinsumos se alinham à produção sustentável de culturas ao promoverem sanidade vegetal, ou seja, ao garantirem o desenvolvimento sadio das plantas, prevenindo e controlando pragas e assegurando a produção eficiente (Gindri; Moreira; Verissimo, 2020). Ressalta-se que o caráter de “guarda-chuva” do termo, sem distinção entre biopesticidas ou biofertilizantes, aproximou as duas famílias alternativas de insumos. Esse pareamento semântico, baseado na origem biológica desses subsegmentos, não deixa de ser uma inovação, uma vez que não se tem uma agregação similar para insumos químicos: pesticidas e fertilizantes geralmente são tratados separadamente, ainda que muito se fale em agrotóxicos (Goulet, 2021).

No aspecto ambiental, os insumos biológicos promovem a recuperação produtiva de terras, estimulando o equilíbrio de microrganismos favoráveis à saúde do solo. Assim, formam uma barreira aos fitopatógenos que podem causar perdas por pragas e prejuízos financeiros. O uso deles também se alinha a compromissos internacionais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas para a Agenda 2030, sobretudo Combate à Pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem-Estar; Redução de Desigualdades; Consumo e Produção Responsáveis; e Ação Contra a Mudança do Clima (Vidal *et al.*, 2022).

Além disso, contribuem para construção de bioeconomias no Brasil, seja enquanto economias compatíveis com os limites da biosfera; baseadas na biotecnologia industrial; ou alicerçadas sobre a produção de biomassa. Isso porque os insumos biológicos decorrem, em grande parte, da operação de biofábricas ou biorrefinarias, i.e., a expressão física das bioeconomias (Conteratto *et al.*, 2021). Em termos econômicos, portanto, os insumos biológicos reduzem a dependência da importação de insumos agrícolas e emancipam produtores ao estimularem a geração de renda localmente e diminuírem desigualdades regionais (Goulet, 2021).

Na prática, os bioinsumos podem ser usados como alternativa integral ou como complementação a pesticidas minerais na administração de inimigos naturais das culturas agrícolas para promoção da fitossanidade. O Controle Biológico de Pragas, enquanto método alternativo de controle de patógenos, por exemplo, tem como principal característica não causar

danos cumulativos às culturas nem aos inimigos naturais do objeto do controle, e para tal, demanda insumos de menor impacto às lavouras (Bortoloti, 2022).

Assim, a substituição dos químicos pelo biocontrole, ainda que gradativa, é um passo importante para a segurança fitossanitária, ou seja, para que se tenha a menor quantidade possível de resíduos químicos, pragas e contaminação nos vegetais (Oliveira *et al.*, 2006). Essa estratégia de hibridização, conhecida como Manejo Integrado de Pragas (MIP), encontra espaço tanto em sistemas agroecológicos, como na agricultura convencional. Nesse processo, o MIP combina utensílios biológicos, físicos e químicos que visam mitigar riscos às plantações, ao passo que também minimiza riscos ambientais de contaminação microbiológica e, em geral, diminui a dependência da aplicação de químicos.

A noção de Controle Biológico é, portanto, a que geralmente se relaciona ao mercado dos bioinsumos, principalmente com a força do subsegmento de biodefensivos. Isso é demonstrado, por exemplo, pela existência de organizações internacionais como a *International Biocontrol Manufacturers' Association* (IBMA) e a *BioProtection Global*. Domesticamente, a associação CropLife Brasil e organizações públicas como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) lidam com questões relativas ao MIP e à pesquisa em bioinsumos.

Já os subsegmentos de biofertilizantes e bioinoculantes são um pouco menos discutidos perante o contexto *mainstream* do agronegócio, uma vez que há menos preocupação em torno dos problemas causados na nutrição vegetal em relação ao uso de pesticidas. Apesar disso, representam uma parcela significativa do mercado dos bioinsumos por oferecerem boa capacidade de nutrição vegetal e desenvolvimento fitossanitário, também respaldados por tecnologias desenvolvidas pela Embrapa (Miranda; Marriel; Oliveira-Paiva, 2023).

Entretanto, face ao regime agroindustrial dominante, profundamente baseado na aplicação intensiva de insumos químicos, os insumos biológicos ainda representam um nicho de mercado (Goulet, 2021). O segmento biológico, a despeito de ter apresentado crescimento expressivo nas últimas safras, tem uma participação minoritária no mercado de insumos para o ramo agrícola brasileiro, representando entre 4% e 5% do total (Gottens, 2023).

Entre os fatores que impedem maior parcela de mercado, está o estigma de desconfiança dos produtores sobre a eficácia alcançada com a aplicação de insumos biológicos, uma vez que podem apresentar desempenho variável devido a fatores como temperatura, umidade e dinâmica populacional. No entanto, o desenvolvimento de soluções consistentes que possam atuar confiavelmente em diversas condições é uma prioridade para a indústria, a exemplo de

relatos de usuários sobre maior eficiência de controle em 29% e maior durabilidade em 25% com produtos biodefensivos. Assim, a comprovação de eficácia é crucial para melhorar a confiabilidade e aceitação dos bioinsumos como alternativas aos químicos (Borsari; Santos; Dias, 2022).

Outro empecilho parece ser o teto inexorável sob o qual cresce o mercado de biológicos. Este pode existir porque o estabelecimento rígido dos insumos tradicionais na dominância do agronegócio brasileiro espelha um encadeamento aos sistemas de produção e consumo vigentes. Essa dinâmica, portanto, repele a inserção de inovações e práticas alternativas mesmo que haja algum direcionamento institucional. Apesar de existirem marcos regulatórios importantes, como o Programa Nacional de Bioinsumos (Brasil, 2020) e a “Lei da Biodiversidade” (Brasil, 2015), que favorecem a megabiodiversidade brasileira, tais medidas se mostram insuficientes para a consolidação de tecnologias alternativas no agronegócio.

Uma nítida barreira à inserção e difusão dos bioinsumos nos mercados é o apoio de políticas públicas ao uso de agrotóxicos no país, a exemplo de desonerações tributárias para importação, produção e comércio de insumos químicos. A alíquota zero para os tributos do Programa de Integração Social/Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/Pasep) e da Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social (Cofins) sobre agrotóxicos, por exemplo (Brasil, 2004), impediu a arrecadação de 9 bilhões de reais entre 2010 e 2017 (Agostinetti *et al.*, 2020). Existem ainda desonerações sobre Imposto de Importação (II), Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e redução de 60% na cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS).

Diante do argumento de segurança alimentar e combate à fome, que cingidamente fundamenta as legislações pró agrotóxicos, o mais razoável seria subsidiar o não uso de químicos em favor de práticas mais sustentáveis e menos nocivas, caracterizando um incentivo ao consumo de alimentos mais saudáveis. O fim dessas desonerações também não abateria o agronegócio brasileiro perante o mercado internacional, dado que o subsídio estrutural a um setor que já é competitivo apenas aumenta a margem de lucro e atua como uma barreira à abertura de mercados consumidores mais conscientes relativamente à saúde e à conservação do meio ambiente (Soares; Cunha; Porto, 2020).

De toda forma, as tendências de sustentabilidade nacional são, entre outros fatores, resultantes da gestão institucional, cuja estruturação de ações pesa sobre questões econômicas e regulatórias e influencia o futuro dos mercados. Perante essa situação, o levantamento de

prognósticos pode ser uma ferramenta útil para embasar uma governança de transição e respectivas políticas públicas. Tem-se como princípio que

a incerteza em torno do impacto potencial das atividades humanas no meio ambiente natural é tão grande que só podemos gradualmente construir cenários, enriquecê-los à medida que nosso conhecimento e capacidades computacionais melhoram, e ajustá-los a um corpo crescente de observações e dados (Saviotti, 2023, p. 267).

A partir disso, o presente estudo busca trazer uma análise quantitativa e qualitativa sobre o segmento de insumos biológicos no Brasil, assim como sobre suas tendências, considerando a estrutura teórica descrita pelos estudos sobre as Transições Sociotécnicas (Geels, 2002). Dessa forma, pode-se caracterizar a emergência e a inserção de alternativas a partir de nichos tecnológicos e associar o respectivo sucesso delas aos processos de alinhamento que ocorrem com os regimes dominantes.

Alguns aspectos chave da inserção de inovações em regimes dominantes podem ser abordados sob metodologias específicas para análise das transições, como *Sustainability Foresight* (Destatte, 2010), sobretudo com a construção de cenários e com a análise de atores, que podem ajudar a responder às questões: por que a tecnologia dos bioinsumos ainda é um nicho de mercado?; quais fatores impedem a coexistência com insumos químicos?; qual é o papel das instituições e organizações relacionadas no fortalecimento desse mercado?

A literatura de Transições Sociotécnicas sobre o setor agrícola considera, na maioria das vezes, as principais evoluções tecnocientíficas conforme dois "paradigmas divergentes" (Geels; Kern; Clark, 2023a; Goulet; Hubert, 2020; Le Velly *et al.*, 2023). Por um lado, o regime agroindustrial dominante produz inovações tecnológicas baseadas na associação entre biotecnologias e insumos químicos. Por outro, conjuntos de práticas, conhecimentos e técnicas alternativas e agroecológicas valorizam processos naturais, biológicos e de menor impacto ambiental. Essa dualidade frequentemente se reflete em lutas políticas e falta de alinhamento.

Na seção 2, apresenta-se o arcabouço teórico, cujos conceitos perpassam a integralidade da análise. Na seção 3, concepções centrais de inovação, instituições e Economia Evolucionária são abordadas. Na seção 4, mostra-se a metodologia a ser seguida para construir as projeções para o mercado brasileiro de bioinsumos. As seções 5 e 6 tratam, respectivamente, do ambiente doméstico e de quadros internacionais da inserção de segmentos de insumos alternativos na agricultura. A seção 7 traz as projeções do segmento em cenários construídos sob condições específicas que refletem fracasso e sucesso da inserção das tecnologias alternativas. Por fim, a seção 8 retoma os principais pontos abordados e conclui a análise.

2. TRANSIÇÕES SOCIOTÉCNICAS.

As transições tecnológicas têm a capacidade de provocar mudanças importantes na maneira com a qual as sociedades se organizam e operam. Além do surgimento de inovações, alterações estruturais, legislativas e simbólicas influenciam essas transições. A partir do momento em que esses fatores mudam o modo como a sociedade satisfaz suas funções, paradigmas de funcionamento são alterados e as transições tecnológicas são consolidadas. Esse processo se reflete não só em novas composições institucionais, mas também em remodelações profundas na origem do consumo e da produção.

2.1 Configurações Sociotécnicas.

Indagar como se dão as transições e avaliar padrões e mecanismos presentes nesse decurso trazem à baila questionamentos relevantes sobre a causalidade das inovações. Desde uma perspectiva sociológica, por exemplo, uma inovação tecnológica em si não tem poder de influência. É somente quando se une a ações humanas, estruturas sociais, artefatos físicos e legislativos, recursos naturais, elementos científicos e organizações que é capaz de satisfazer plenamente sua funcionalidade. Essa “teia contínua”, sob uma visão metafórica, é o ponto basilar de acomodação das configurações sociotécnicas (Geels, 2002).

Nesse contexto, Rip e Kemp (1998) entenderam configurações como o alinhamento entre um conjunto heterogêneo de elementos. A partir dessa lógica, analisaram as tecnologias como *configurations that work*, ou “configurações que funcionam”, sendo que quando esses alinhamentos cumprem alguma função, então eles “funcionam”. Uma inferência importante é que as configurações sociotécnicas dispõem de alinhamentos entre elementos de origem técnica e social. No conjunto técnico, estão tecnologia, inovação, artefatos, equipamentos e maquinário. No conjunto social, estão indivíduos, grupos, organizações e culturas. No andamento da produção, os alinhamentos satisfazem funções sociais de forma a promover a integração entre as partes dentro de um sistema dinâmico.

As mudanças tecnológicas fazem parte da transição de uma configuração sociotécnica para outra, com substituição e renovação de fatores. Ainda que os limites das configurações

não sejam estritamente fechados, apresentam certa rigidez. Dessa forma, tecnologias “radicalmente” novas têm dificuldade em superar barreiras, sobretudo porque regulações, medidas de infraestrutura, práticas de usuários e redes de manutenção estão alinhadas às já existentes. Por isso é comum que o surgimento de novas tecnologias entre em choque com a estrutura socioinstitucional vigente (Geels, 2002, p. 1258).

Entretanto, uma vez que as tecnologias se instauram, não se separam facilmente do funcionamento da sociedade, dado que um conjunto de habilidades forma o comportamento das instituições e entra em consonância com os padrões de operação. Ou seja, as tecnologias funcionam fundamentalmente por estarem integradas e alinhadas, entre si e ao contexto vigente, até que mudanças nos elementos gerem outras consecutivas. Como define Geels:

Sociotechnical change is described as a process of shifting assemblies of associations and substitutions, a reweaving of elements. Changes in one element in the network can trigger changes in other elements. The empirical illustrations of this process usually have a micro-focus (Geels, 2002, p. 1259).

Além disso, tecnologias inovadoras não têm mercados definidos ou preços fixos, uma vez que se inserem através de um processo de coevolução dos fatores. Isso acontece à medida que praticantes integram tecnologias a processos, rotinas e organizações, o que necessariamente envolverá aprendizado, ajustes e “domesticação” (Geels, 2002, p. 1259).

No ramo da Economia Evolucionária, que embasa parte desta análise, estão estabelecidas duas visões acerca do processo da evolução tecnológica. A primeira, cujo conceito central é de “regimes tecnológicos”, descreve a evolução enquanto um processo de variação, seleção e retenção, explicando a dinâmica inercial de consolidação de tecnologias. Já a segunda considera a evolução como um processo de desdobramento, que resultará na criação das “novas combinações” schumpeterianas e, mais tarde, em novos caminhos e trajetórias.

A “Perspectiva Multinível” (PMN), explorada por Geels (2002), é construída a fim de combinar essas duas visões sobre evolução. Geels também complementa a visão sobre “variações” considerando um ambiente amplo para seleção, usando os conceitos de configurações sociotécnicas à medida que aborda a pouca a atenção dada a mudanças no longo prazo e em grande escala. Ao trazer uma conceituação integrada e evolucionária, com a PMN, das transições tecnológicas, Geels reforça uma “teoria apreciativa”, que promove o reconhecimento de diversas áreas de pesquisa. Dessa forma, trabalha-se com diferentes conceitos analíticos e heurísticos fundamentais à compreensão da dinâmica das mudanças sociotécnicas.

A estabilidade das configurações sociotécnicas, que satisfazem funções sociais, deriva dos vínculos entre seus elementos heterogêneos formadores. E tanto elementos quanto vínculos derivam das ações de grupos sociais que os reproduzem, levando em conta hábitos, padrões, comportamentos e passando pela dimensão simbólica que lhes é atribuída (Geels, 2002, p. 1259).

A infraestrutura de educação pública, por exemplo, é construída e mantida por órgãos diversos. Entre eles, o Ministério da Educação. O significado simbólico de educação é construído através da interação entre alguns grupos sociais. Entre eles, formuladores de políticas, reguladores, gestores e mídia. Padrões de educação emergem a partir da prática diária de estudantes, professores, técnicos, gestores.

A estrutura desse setor é o resultado de posições mútuas e interligadas entre os produtores de equipamentos para educação e seus fornecedores; idealizadores de funcionamento; órgãos públicos e privados; e outros grupos sociais. Esses grupos são responsáveis por estruturar o conhecimento tecnológico embutido no processo educacional, por desenhar a estrutura física e fazer a manutenção dela. Assim é possível ver que as atividades desses diferentes grupos estão alinhadas e coordenadas, garantindo a estabilidade.

2.2 Regimes e Paisagens.

Baseando-se no conceito de regimes tecnológicos de Nelson e Winter (1982), o entendimento de coordenação se dá a partir das rotinas de organizações. Isso garante um nível de coerência interno. Tanto as rotinas quanto seus participantes aprendem e se lembram ao realizarem ações repetidamente. E esse comportamento nasce da rotina cognitiva de produtores e engenheiros, por exemplo. Enquanto engenheiros e firmas compartilharem da mesma rotina, um regime tecnológico é formado. Os regimes tecnológicos dão origem a trajetórias tecnológicas, dado que grupos e comunidades andam em uma mesma direção. Além disso, os regimes são criadores de estabilidade porque guiam atividade inovadora ao fazerem melhoras incrementais nas trajetórias.

No entanto, com a chegada da categoria sociológica de “regras”, proposta por Rip e Kemp (1998), o conceito de regimes tecnológicos foi ampliado. Passaram a ser entendidos

como um escopo expandido, em que conjuntos de regras integram elementos, como conhecimento social, estruturas governamentais e corporativas, processos de produção e características dos produtos:

A technological regime is the rule-set or grammar embedded in a complex of engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, ways of handling relevant artefacts and persons, ways of defining problems; all of them embedded in institutions and infrastructures (Rip; Kemp, 1998, p. 338).

Desse modo, Rip e Kemp expandiram o conceito proposto por Nelson e Winter, que consistia em uma integração menos ampla, considerando basicamente práticas de engenheiros nas rotinas cognitivas. No conceito ampliado, outros grupos sociais também afetam as trajetórias, como usuários e praticantes de tecnologias, formuladores de política, membros da sociedade civil, fornecedores, cientistas e instituições financeiras. Isso é o que constitui a perspectiva “multi-atores” (*Actor-Network Theory*). A interação desses diversos atores com seus respectivos ambientes sociais fomenta interdependências estáveis que moldam ações futuras, o que inclui o desenvolvimento de novas tecnologias.

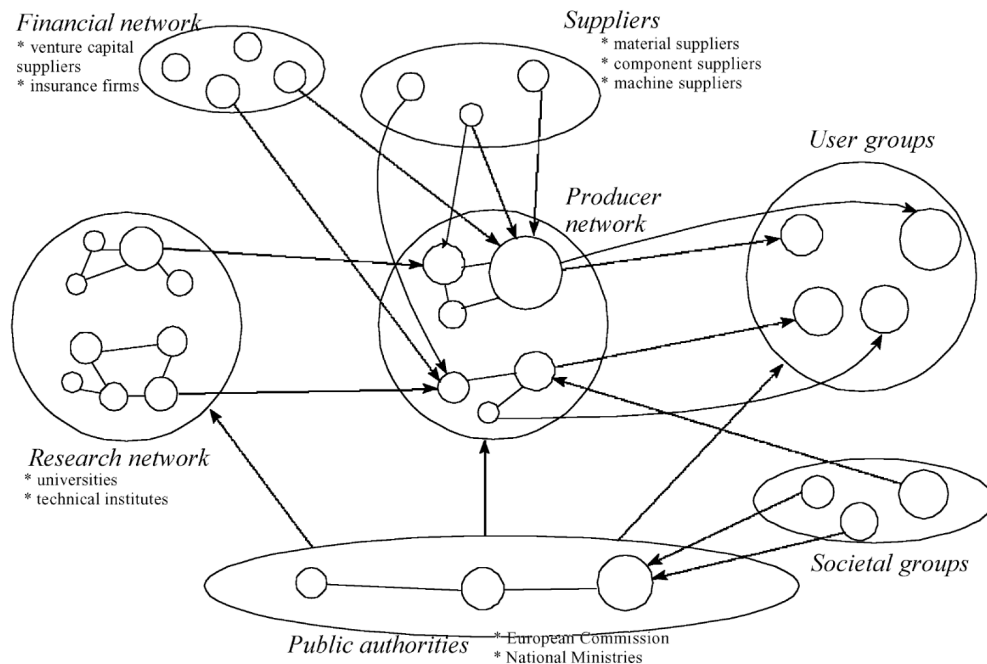
Os regimes, ainda para Rip e Kemp (1998), são resultados de mudanças prévias e são base para estruturação de mudanças subsequentes. Novidades (*novelty*) evoluirão dentro dos regimes, começando a partir do nível de práticas locais na dimensão micro, que será entendida adiante como nicho. Ao longo do tempo, as novidades vão se difundir e se acomodar a regimes tecnológicos existentes. Eventualmente podem transformar perspectivas mais amplas. Ao usar o termo “regimes sociotécnicos”, Geels (2002) acrescenta a ação de diferentes grupos sociais, representados pela perspectiva multi-atores, que criam e carregam regras diferentes em um regime (Figura 1).

Ressalta-se que a estabilidade dos regimes sociotécnicos é dinâmica, o que significa que mesmo que as inovações ocorram, são de natureza incremental. Em termos evolucionários, portanto, os regimes sociotécnicos funcionam com um mecanismo de seleção e retenção dentro de estruturas profundas (Geels, 2002, p. 1260).

A metáfora de “paisagens sociotécnicas” (*sociotechnical landscapes*) (Geels, 2002), que abrigam as estruturas profundas e nas quais se situam as trajetórias tecnológicas, reforça a necessidade de se lidar com uma rigidez relativa. Isso acontece porque certo nível de viscosidade é intrínseco ao funcionamento das sociedades, sobretudo na disposição material, como cidades, fábricas, avenidas e infraestrutura elétrica.

As paisagens sociotécnicas são mais abrangentes. Elas contêm preços relativos de commodities, fatores de crescimento econômico, fatores demográficos, contextos geopolíticos, valores normativos, pressões culturais e problemas ambientais. Ou seja, a paisagem é fundamentalmente uma estrutura externa às interações que ocorrem nos regimes. Assim, fica evidente que mudar paisagens sociotécnicas é mais complicado e lento que mudar regimes sociotécnicos (Geels, 2002, p. 1260).

Figura 1 – Rede Multi-atores Envolvida em Regimes Sociotécnicos



Fonte: (Geels, 2002, p. 1260)

2.3 Nichos Tecnológicos

Como visto, regimes são capazes de gerar inovação marginal. Mas as inovações radicais, i.e., *novelty*, são geradas em “nichos”. Eles funcionam como ambientes controlados e protegidos, ou “incubadoras” de inovações radicais porque são isolados da seleção natural de mercado do regime incumbente, ou seja, um regime cujo conjunto de regras, tecnologias, crenças e instituições é estável e sustenta o sistema sociotécnico em determinado período.

Tecnologias radicalmente novas precisam dessa proteção porque ainda têm performance técnica baixa, além de terem desenvolvimento difícil e caro. Ou seja, elas emergem em nichos justamente pelos critérios de seleção serem diferentes dos critérios em

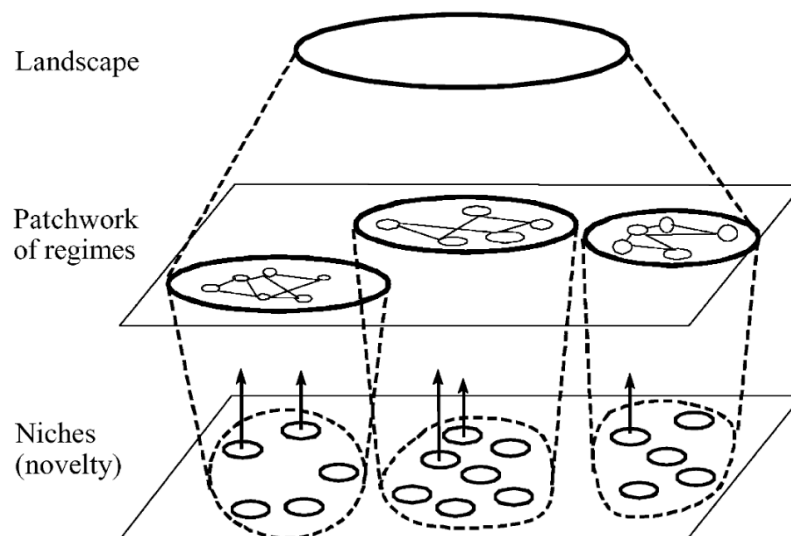
voga no regime sociotécnico. Um exemplo trazido por Geels (2002) é o das inovações geradas pelas forças armadas e pela infraestrutura de defesa, cujo estímulo a tecnologias inovadoras nos estágios iniciais é fundamental para o seu desenvolvimento, como computadores digitais, jatos e radares.

Além disso, os nichos fornecem locais apropriados para processos de aprendizagem e *learning by doing*, *learning by using* e *learning by interacting* (Lundvall, 1988). Também entra em cena a importância de abrir margem para o desenvolvimento de redes sociais que apoiarão o desenvolvimento de tecnologias, como relações produtor-usuário e *supply chain*.

2.4 Análise Hierárquica.

Assim, chega-se a uma relação entre três conceitos que pode ser entendida como uma hierarquia encadeada, ou a PMN de Geels. Os nichos, que se situam no nível micro, são responsáveis pela geração e pelo desenvolvimento das inovações radicais. Os regimes sociotécnicos, no nível *meso*, são responsáveis pela estabilidade do desenvolvimento tecnológico vigente e pela validação de novas trajetórias tecnológicas. As paisagens sociotécnicas, no nível macro, representam a mudança gradual de fatores exógenos e promovem gradientes para novas trajetórias (Figura 2) (Geels, 2002).

Figura 2 - Múltiplos Níveis em Hierarquia Integrada



Fonte: (Geels, 2002, p. 1261)

Como esses níveis têm caráter encadeado, i.e., as paisagens estão integradas aos regimes, que por sua vez estão integrados aos nichos, cada novidade estará alinhada a um nicho, a um regime e uma paisagem: cada inovação terá problemas, regras e contextos diferentes. Dessa forma, as novidades, cuja base está no conhecimento, enfrentam problemas dos regimes. Ou seja, o surgimento de uma inovação é fortemente influenciado pelos níveis superiores. Geels evidencia que na PMN o sucesso de uma nova tecnologia depende não só dos processos do próprio nicho, mas da resiliência ao passar por regimes e por paisagens:

It is the alignment of developments (successful processes within the niche reinforced by changes at regime level and at the level of the sociotechnical landscape) which determine if a regime shift will occur (Kemp; Rip; Schot, 2001, p. 277)

No entanto, as mudanças no nível micro, apesar da existência de pressões, podem desencadear um movimento *bottom-up*, pondo pressão sobre os regimes e criando passagens para o caminho de novas tecnologias, o que é chamado de “jornada de inovação”. Geels incrementou a noção dinâmica ilustrada de Rip e Kemp ao abordar sete dimensões nos regimes sociotécnicos do nível meso: tecnologia, práticas de usuários e mercados, significado simbólico da tecnologia, infraestrutura, estrutura industrial, diretrizes políticas e conhecimento técnico científico (Geels, 2002, p. 1262).

O processo normal de mudanças incrementais é representado por setas longas. Mesmo que as dimensões coevoluam, elas também têm dinâmicas internas: é o que resulta nas tensões, representadas pelas setas pequenas e divergentes (podem representar incerteza ou divergência de opinião). Na dimensão das paisagens, as mudanças são geralmente lentas à medida que mudanças culturais, demográficas, econômicas e políticas acontecem.

No nível dos nichos, atores trabalham no processo de inovações radicais. Como uma ideia de nicho ainda não foi validada, as setas vão em diversas direções, significando que os esforços são difusos. Mesmo que uma inovação pareça promissora, pode não ter sucesso. Mas as inovações também podem se consolidar e perpassar níveis, o que é demonstrado pelo “ganho de robustez das setas” (Geels, 2002, p. 1262).

O argumento central da PMN reforça que o sucesso da inovação não é baseado na sua consistência ou na força intrínseca dos nichos, mas é baseado na capacidade de mudança e interação entre regimes e paisagens que a inovação tem (Goulet, 2021). Nesse sentido, o ponto principal é que as transições são o resultado das ligações entre os desenvolvimentos nos diferentes níveis, e entre múltiplas tecnologias, representadas pelas setas verticais pontilhadas.

Quando tensões no nível meso ou no nível macro são criadas, emerge uma janela de oportunidade, e então as inovações radicais rompem com o nível micro dos nichos. A Figura 3, desenvolvida por Geels, ilustra bem a dinâmica multinível.

Pode acontecer, no entanto, que no caso de situações atípicas nas paisagens, o hiato necessário para a o alinhamento entre os níveis seja maior:

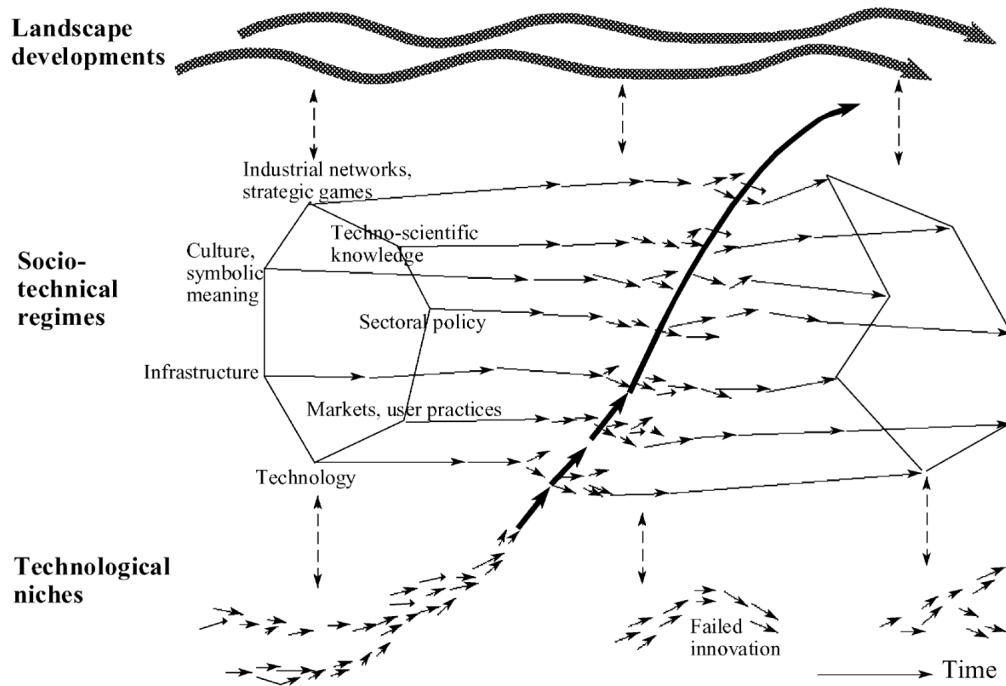
In extreme situations where sudden changes in landscapes occur and no niche is sufficiently advanced to propose alternatives, the system collapses: it de-aligns. Different competing niches may then develop, until one of them eventually takes over and re-alignment occurs (Goulet, 2021, p. 2).

O processo todo reforça que as transições não só envolvem tecnologias, mas também mudanças em regulações, infraestrutura, significado simbólico e redes industriais. Quando um novo regime é consolidado, então pode influenciar mudanças no nível macro das paisagens. O processo, no entanto, pode deixar pouco claro como se dá o rompimento das tecnologias radicalmente novas na passagem de nichos para regimes, assim como a manifestação das reconfigurações de regime.

Goulet (2021) busca analisar essa perspectiva dinâmica de transição, sobretudo com a proposta de melhor caracterizar mecanismos de alinhamento. Assim, ele busca identificar a natureza e os impulsionadores dos alinhamentos, particularmente nos pontos estratégicos das transições, ou seja, na interface entre nichos e regimes, ambiente em que as inovações ganham relevância.

O arcabouço analítico que trata disso considera “vínculos” e “coerência” como elementos inspiradores e úteis à caracterização dos alinhamentos. Assim, as relações entre componentes internos, ou “entidades” (conhecimento, usuários e mercados, diretrizes políticas) são formadores de vínculos concretos entre nichos e regimes. O fator coerência, por outro lado, trata do maior desafio dos alinhamentos, que é associar componentes da mesma natureza ou que cumprem a mesma função social, mas que são antagonicos. Goulet traz o exemplo do pareamento entre turbinas eólicas e usinas termelétricas em termos de impacto ambiental, ainda que ambos satisfaçam a função de produção de energia. Quanto mais atenuados forem os elementos antagonicos, mais fortes os vínculos serão e maior será a coerência entre pares (Goulet, 2021, p. 3).

Figura 3 - Perspectiva Dinâmica Multinível das Transições Sociotécnicas



Fonte: (Geels, 2002, p. 1263)

2.5 Mecanismos das Transições Sociotécnicas.

Estabelecidos os elementos para o entendimento das transições, abre-se espaço para algumas indagações subsequentes. Como se dá o processo de rompimento (*breakthrough*) das setas que vêm dos nichos e se inserem nos regimes? E como ocorre o processo de reconfiguração dos regimes? Geels (2002) argumenta que o padrão de rompimento das inovações radicais é quando seguem a “acumulação de nichos” ou “processo cumulativo de nichos”. Ou seja, os passos até a inserção delas nos regimes não ocorrem de uma vez, mas gradualmente, à medida que inovações são aplicadas nos domínios e nichos de mercado. É importante ressaltar que nichos não vigoram isoladamente. Eles são criados por artefatos, conhecimentos e produtos advindos da paisagem vigente.

Mecanismos que atuam especificamente no processo de rompimento das inovações são os acessórios ou incrementos tecnológicos (*technological add-on*) e a hibridização (*hybridisation*). Aqui, tecnologias em estágios iniciais de desenvolvimento estão ligadas às já

estabelecidas, sobretudo para lidar com gargalos contextuais. Nessa associação, tecnologias novas e antigas não competem, mas integram uma simbiose utilitária. Geels (2002, p. 1271) mostra que motores a vapor, por exemplo, inicialmente foram incorporados a navios à vela como dispositivos auxiliares. No século 19, navios eram formas híbridas com propulsões à vela e a vapor. Outro mecanismo abordado no processo cumulativo é o acompanhamento da ascensão de outros mercados. A difusão de motores elétricos, por exemplo, acompanhou o crescimento robusto de fábricas no começo do século 20: com o aumento de problemas com motores a vapor e moinhos, fábricas grandes se tornaram um nicho adequado para a implementação dos motores elétricos.

Os processos de reconfiguração, por outro lado, não ocorrem quando há uma repentina mudança de um regime para outro, uma vez que se instaura uma progressão de etapas. Ou seja, regimes novos emergem gradualmente a partir de antigos. O que pode parecer uma guinada revolucionária, na verdade é uma série de adaptações e mudanças ao longo do tempo (Geels, 2002, p. 1272).

Nesse sentido, as dinâmicas de cascata têm papel importante, voltando à noção de que mudanças em um elemento de um regime desencadeiam outras mudanças em outros elementos e assim por diante. Reconfigurações assim acontecem em todas as dimensões dos regimes sociotécnicos, lidando com mercados, práticas de usuários, tecnologias e redes de produção e formuladores de política.

As transições, portanto, não são apenas um processo histórico. Elas acontecem em mosaicos de elementos em movimento, com acumulação construtiva de mudanças e interligações mútuas que se reforçam. A introdução de novos elementos muda a estrutura de incentivos à produção e novas oportunidades surgem para guiar os atores em diversas direções. Conseqüentemente, as transições tecnológicas surgem como reconfigurações de elementos sociotécnicos contidos em conjuntos dinâmicos.

2.6 Transições para a Sustentabilidade.

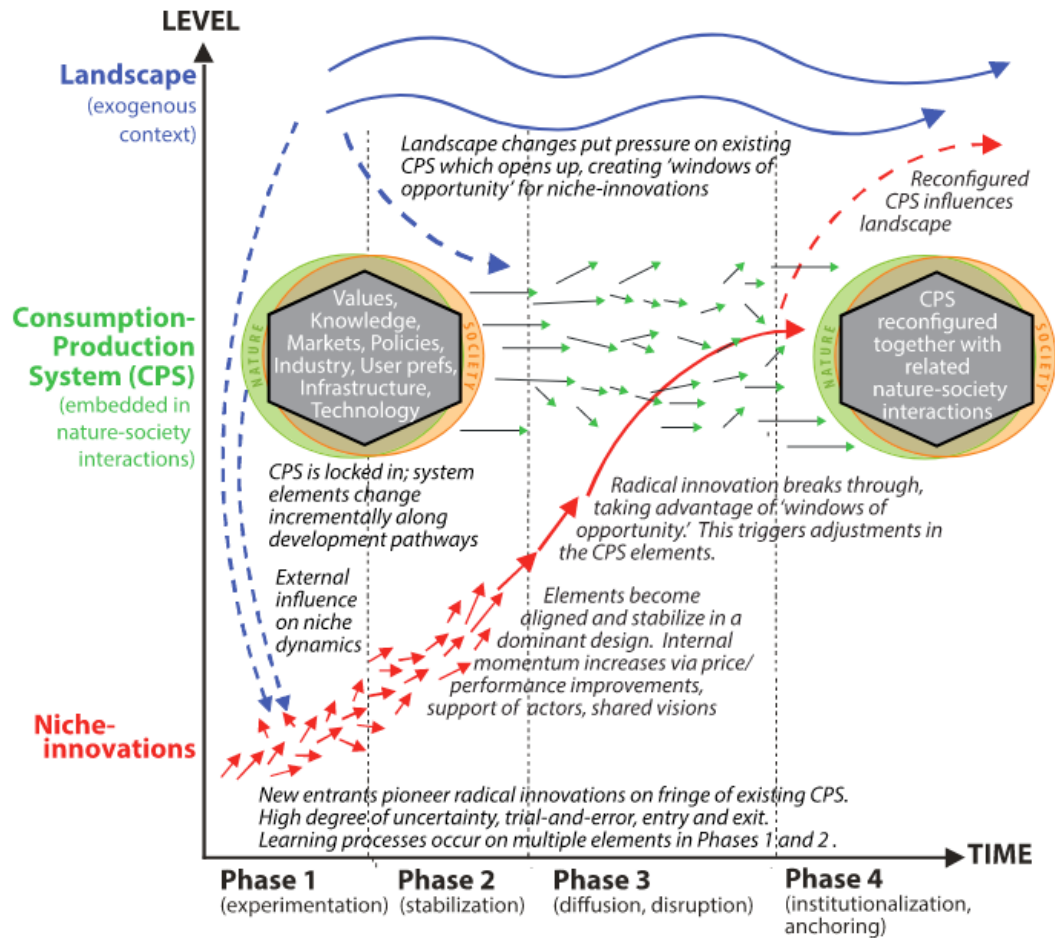
Paralelamente à emergência das preocupações científicas com a sustentabilidade, Geels, Kern e Clark (2023b) retomam o arcabouço das transições sociotécnicas tratando-as como

mudanças em estruturas, funções e objetivos da dinâmica consumo-produção que são significativas, de grande escala e ocorrem a longo prazo. Desde a fusão enquanto campo de estudos interdisciplinar, no início do século, a comunidade acadêmica de transições vem expandindo seu escopo para incorporar preocupações ambientais e garantir que os sistemas estudados sejam sustentáveis.

Diante desse tipo de transição, passou-se a pensar os regimes, na dimensão *meso* da análise hierárquica, como *Consumption-Production Systems* ou Sistemas Consumo-Produção (CPS). Neles, acontece a integração entre natureza e sociedade, na qual se incluem os mesmos fatores de configurações sociotécnicas abordados anteriormente, como indústria, conhecimento, valores, políticas, infraestrutura, práticas de usuários e tecnologia. Mas na prevalência do uso dos CPS em alternativa aos regimes, é enfatizada a existência de um fluxo ao redor dos CPS, com entrada de recursos e saída de bens e serviços (Geels; Kern; Clark, 2023a).

Nesse sentido, a atualização da PMN para contextos de transições para a sustentabilidade trouxe contribuições importantes, sobretudo por meio da construção de um arcabouço visual que explora como a inovação, advinda dos nichos, altera os regimes de regras compartilhadas e estabilizadas em grande escala e consolida novos e reestruturados CPS (Figura 4).

Figura 4 - Perspectiva Multinível aplicada a Transições em Sistemas Consumo-Produção Enfatizando a Integração Natureza-Sociedade



Fonte: (Geels; Kern; Clark, 2023a, p. 3)

As fases ilustradas na Figura 4 dizem respeito à evolução gradual dos processos de transição. A divisão heurística dessas fases é baseada nas principais atividades e interações que elas apresentam perante a PMN. A primeira fase é caracterizada pela experimentação e por projetos de pequena escala. Testa-se a factibilidade política e a aceitação social das inovações radicais. Na segunda, as inovações começam a estabelecer-se em nichos de mercado, com fluxo de recursos mais confiável e ambientes mais protegidos.

A terceira já conta com um *design* dominante, que pelo esforço das duas últimas, reduziu incertezas e aumentou o comprometimento de recursos. Nela, inovações radicais se difundem em mercados *mainstream*, e o embate com o regime é mais nítido. A propagação das inovações também se dá por melhoras em preços e em desempenho, bem como pode ser ajudada por pressões externas e janelas de oportunidade.

A disputa entre tecnologias novas e incumbentes nessa terceira fase é bem visível, e pode gerar dificuldades políticas e instabilidades culturais, mas ainda sem a garantia de “vitória” das inovações, uma vez que a resposta dos incumbentes pode desmobilizar e estrangular a trajetória das tecnologias novas. Mas quando as inovações superam os percalços dos dominantes, surge a quarta fase, e com ela o declínio dos Sistemas Consumo-Produção originais, à medida em que acontece a expansão do novo. Nisso, o novo ancora-se paulatinamente nas mudanças institucionais, estruturas de poder e visões sobre a normalidade.

Ressalta-se que a emergência de um novo regime tem o potencial de melhorar significativamente o cenário e os prospectos para um Desenvolvimento Sustentável. Ao mesmo tempo, no entanto, pode gerar consequências negativas para natureza e sociedade. Além disso, a decadência de regimes originais pode afetar especificamente comunidades e trabalhadores locais na dimensão socioeconômica, fomentando a discussão sobre a possível inequidade e assimetria de alguns processos de mudança (Geels; Kern; Clark, 2023a). Ao revisitar conceitos, comporta-se a ideia de que as transições não só acarretarão mudanças em tecnologias, mas em todos os fatores de configuração, incluindo instituições e estruturas de poder (Geels; Kern; Clark, 2023b, p. 1).

Uma vez que podem levar décadas para se consolidar e envolvem grandes esforços de governos e organizações civis, o entendimento de como as transições para sustentabilidade acontecem geralmente depende do contexto abordado. Traz-se, a partir disso, uma seleção de sistemas específicos, de energia, alimentação e mobilidade, que abordam aspectos centrais desse tipo de transição e estão inerentemente ligados à integração Sociedade-Natureza.

O primeiro aspecto trata da importância dos movimentos dentro da PMN. Geels, Kern e Clark (2023b) ressaltam como a interação entre nichos, regimes e paisagens afeta os prospectos para transições sustentáveis, sobretudo nos sistemas de energia, mobilidade e alimentação, que apresentam alto grau de degradação da natureza. Os regimes, situados no nível *meso*, por não serem tão grandes e abstratos como paisagens nem tão particulares e delicados como nichos, são, portanto, uma categoria ideal de análise para se entender facilitadores e barreiras relativos a mudanças e para atuarem como guias de políticas e de governança.

O segundo aspecto, situado sob a ótica da sustentabilidade, foca em potenciais soluções inovadoras que podem reconfigurar a dinâmica consumo-produção. Salienta-se a inovação como progressivamente crucial para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis. Contudo,

mesmo que muitas soluções já existam, muitas delas se limitam a mercados nichados e incipientes, que não caminham com velocidade e escala ideais.

O terceiro aspecto ressalta a necessidade de uma análise forte e diferenciada dos processos de mudança, que dizem respeito a padrões e mecanismos causais. Estes, por sua vez, capturam “interações coevolucionárias entre atores, instituições e inovações, que ao longo do tempo reajustam consumo e produção rumo a direções mais sustentáveis” (Geels; Kern; Clark, 2023b, p. 2).

O quarto aspecto inclui aceleração e direcionamento das transições sustentáveis, uma vez que processos assim são historicamente lentos e incrementais. A variação na velocidade de algumas mudanças é ainda reforçada por evidências mostrando que, na terceira fase da PMN, inovações atingem um nível crítico e passam a se beneficiar de *feedbacks* positivos. Fatores econômicos, como diminuição de custos e melhora em desempenho; experiência subjetiva dos atores envolvidos e ações que enfraquecem ou até deslegitimam os regimes originais, como retirada de políticas de suporte, podem acelerar esse processo disruptivo da terceira fase (Geels; Kern; Clark, 2023a, p. 6).

Trazendo o escopo aos sistemas alimentares, são estabelecidos três períodos de comparação: intensificação da agricultura baseada em pesticidas e fertilizantes (1950 a 1985), modernização ecológica para tratar de problemas ambientais (1985 a 2008) e emergência e proliferação de inovações radicais de nicho (2008 a 2020) (Geels; Kern; Clark, 2023b). Um achado importante é que inovações bem encaixadas aos regimes existentes, como intensificação sustentável, são difundidas mais rapidamente que inovações radicais, como agricultura regenerativa. Isso coaduna com os exemplos de sistemas de mobilidade, que mostram que inovações técnicas se espalham mais rapidamente que inovações sociais.

Considerando a análise da difusão de sistemas agroecológicos, Schiller *et al.* (2023) mostram como novas ideias e práticas na Nicarágua atravessaram os três períodos abordados, emergindo por meio de experimentação no primeiro, consolidando boas práticas no segundo e sistematizando, padronizando e codificando, para melhor difusão de práticas sustentáveis, no último período (2007 a 2022). Aprofundando-se na compreensão do surgimento e da estabilização das inovações, mostrou-se que diferentes atores tiveram papéis particulares em cada período e que os intermediários tiveram papel especialmente importante ao conectar atores diversos, i.e., atuaram como facilitadores.

Geels, Kern e Clark (2023b) voltam a sugerir a importância da interação entre os níveis também com a relação ao timing, ou seja, como a desestabilização dos níveis pode levar a rápidas transições e como isso depende do patamar de desenvolvimento de alternativas. Analisando-se o papel de choques exógenos em paisagens, tem-se o primeiro mecanismo como a abertura de uma janela de oportunidade para difusão de inovações relativamente estabilizadas.

Os choques do petróleo da década de setenta, por exemplo, apesar de terem aberto essa janela, não contaram com inovações suficientemente desenvolvidas para preenchê-la. O segundo mecanismo, por outro lado, chamado de *imprinting*, considera choques robustos e prolongados que causam devastação tamanha a ponto de reestruturar regimes, levando a “novos direcionamentos e capacidades políticas” (Geels; Kern; Clark, 2023b, p. 4) . Esse tipo de “histerese” econômica foi visto em efeitos transformativos após a Segunda Guerra Mundial, a pandemia de Covid-19 e a Guerra na Ucrânia.

A reestruturação dos regimes, em oposição à substituição por completo, mostra, portanto, uma visão mais moderna de como os CPS geralmente mudam. A narrativa simples e muitas vezes dicotômica em que uma inovação de nicho substitui por completo o *status quo* trazia frequentemente a ideia de uma falsa *panacea* para políticas de inovação, enquanto a ênfase no processo de reconfiguração, com incrementos tecnológicos e hibridização são mais capazes de ativarem movimentos de mudanças sociotécnicas.

Ainda que a inovação seja um ponto nevrálgico na composição das transições sustentáveis, existem algumas contrapartidas associadas, como desestabilização e declínio de dinâmicas consumo-produção estabelecidas. O acúmulo de pressões externas, comprometimento minguate de agentes e respostas estratégicas de atores dominantes se enquadram entre os mecanismos de desestabilização. À medida que acontece a degradação de condições técnicas, políticas e econômicas de um regime, questiona-se, mais uma vez, se algumas transições são socialmente justas.

Além disso, devem ser consideradas as alterações significativas no fluxo de recursos entre sistemas, o que requer a construção de novas conexões. Andersen *et al.* (2022), ao estudarem a eletrificação de sistemas de embarcação na Noruega, mostram que a construção de *nexus* inicialmente pode ser conflituosa. Desalinhamentos entre tecnologias, recursos, atores e instituições, e a difusão subsequente de barcos elétricos se espelhou em ajustes assimétricos de produção e condições sub-ótimas de trabalho. Isso traz à baila um desafio importante, uma vez

que a teoria das transições presume atritos nivelados pelas fases de emergência, que incluem a formação de redes e aprendizados.

Meadowcroft e Rosenbloom (2022) explicitam, usando a teoria das transições, que governos podem influenciar proativamente o direcionamento e a velocidade das mudanças para sustentabilidade. Tendo como base o objetivo de zerar emissões de gases do efeito estufa (GEE), percebeu-se que é fundamental focar em transições setoriais e regionais, a fim de vincular medidas climáticas a objetivos comuns e adequados à sociedade. É discutida também a necessidade de haver misturas de políticas públicas abrangentes e direcionadas, com fortes intermediários, e mostra-se como estratégias industriais verdes podem ser um ótimo recurso para promover transições sustentáveis. A contribuição reitera a natureza política dos processos de transformação e reflete hipóteses recentes sobre como governos conseguem efetivamente influenciá-los.

Geels, Kern e Clark (2023b), ao reunir exemplos de sistemas transicionais específicos, trazem a noção de que há um descompasso entre eles, em termos de velocidade e profundidade. O sistema de energia parece ter se desenvolvido melhor, com mudanças substanciais na produção e no consumo de eletricidade, enquanto o setor de mobilidade tem ganhado atenção nos últimos anos. Já os sistemas alimentares parecem estar em estágios incipientes, com certo nível de resistência.

Indica-se, por outro lado, que a natureza das transições sustentáveis é multidimensional e não pode ser limitada a explicações tecnológicas e econômicas. É indispensável entendê-las como desdobramentos sistêmicos, incompletos e contestados, nos quais a inovação tem papel essencial, mas sempre dialoga com atributos socioeconômicos, políticos e culturais.

3. ECONOMIA EVOLUCIONÁRIA, INOVAÇÕES E POLÍTICAS PÚBLICAS.

Em seu livro *Inovação, Complexidade e Economia Evolucionária* (2023), Pier Polo Saviotti defende que a teoria evolucionária precisa ver para além da inovação a fim de servir como teoria sustentada que cubra o desenvolvimento econômico. Apesar da importância dada a fatores como conhecimento e empresas, o desenvolvimento a longo prazo não pode ser pensado sem considerar instituições e organizações. É preciso considerá-las não somente como plano de fundo às mudanças, mas como atores que interagem com tecnologias e inovações.

Uma vez que as instituições podem induzir a emergência de inovações e ampliar a sua subsequente difusão, pode-se dizer que existe entre elas uma coevolução latente. A coevolução, nesse sentido, se integra ao conjunto de ideias da teoria da complexidade que objetiva superar limitações humanas em algumas áreas do conhecimento (Allen; Strathern; Baldwin, 2007).

3.1 Trajetória das Inovações e Conceitos da Complexidade.

Uma característica importante dos sistemas econômicos complexos é a interatividade dos seus componentes. Essa interatividade gera não-linearidade a partir da dinâmica dos subsistemas. Como é relevante analisar as instituições dentro desses sistemas complexos, cabe definir “instituições” como conjuntos de regras, e em seguida, adotar a distinção entre instituições e organizações: “instituições são as regras do jogo e as organizações são os seus jogadores” (Saviotti, 2023, p. 34).

Antes de prosseguir mais detalhadamente, ressalta-se que as tecnologias modernas se diferenciam do conceito das tecnologias remotas, as quais Georgescu-Roegen (1971) chamou de “*exosomatic instruments*”. A diferença reside no fato de que as modernas, diferentemente das primitivas, não são desenvolvidas pela humanidade apenas para se adaptar a determinados contextos, mas além disso, elas ajudam a modificar e moldar esses contextos e ambientes.

Durante muito tempo, as inovações tiveram um hiato considerável entre suas criações. Uma vez despontadas, permaneciam inalteradas durante longos períodos, tendo sido até consideradas como o componente principal do desenvolvimento econômico (Rosenberg, 1974).

Mas após a Revolução Industrial, a frequência e o impacto das inovações aceleraram consideravelmente.

Saviotti (2023) ressalta que a inovação tem como consequência inevitável a criação de tecnologias qualitativamente novas e diferenciáveis em relação às anteriores, ao passo que modifica o contexto corrente. Isso requer, porém, procedimentos e tomadas de decisão diferentes daqueles adotados na análise de mudanças quantitativas. Muitos dos conceitos abordados na Economia da Inovação, como paradigmas tecnológicos (Dosi, 1982), baseiam-se também na existência de mudanças qualitativas: é a partir da sucessão e da variação da qualidade tecnológica que se determinará a variedade na estrutura dos sistemas econômicos.

Mesmo assim, diante das contribuições no campo de inovação, há clara distinção entre inovações radicais e inovações incrementais. É considerada radical aquela que é completamente diferente da incremental a ponto de gerar uma mudança qualitativa, e não apenas quantitativa. Ou seja, uma inovação radical representa uma descontinuidade na evolução tecnológica e pode ser considerada uma “revolução”, uma vez que abre margem para a emergência de novos paradigmas tecnológicos (Dosi, 1982).

O próprio conceito dos regimes tecnológicos (Nelson; Winter, 1982), abordado no primeiro capítulo, envolve a existência de mudanças qualitativas em certos estágios de desenvolvimento. É na emergência de um novo regime que se cria a descontinuidade tecnológica e, conseqüentemente, a possibilidade de angariar desenvolvimento, ainda que os caminhos seguintes se baseiem em inovações incrementais. Mudanças importantes nas trajetórias econômicas, como recuperação de recessões e adaptação a choques, só são possíveis devido a grupos de inovações radicais (Saviotti, 2023).

Similarmente à ideia de que a ciência progride a partir de combinações de revoluções científicas, nas quais novos paradigmas emergirão como novas visões de mundo que são incompatíveis com as anteriores (Kuhn, 1962), os ciclos de inovação começam com uma mudança qualitativa e com uma descontinuidade na transição entre paradigmas tecnológicos. Acontece, em seguida, a convergência dos participantes para um conjunto de soluções mais bem definidos que as outras opções.

A existência dos *Man Made Artefacts* (MMAs), ou artefatos feitos pelo homem, enquanto conceito relativo à tecnologia, pressupõe uma heterogeneidade entre eles. Isso significa que características variam dentro de um espectro de valores: há alguns artefatos muito sofisticados e outros mais simples. Características comuns definem MMAs similares. Cada

MMA teve uma comunidade que constituiu sua criação: há também heterogeneidade entre os indivíduos dentro de uma população.

As implicações dessa existência diferenciam as teorias econômicas evolucionárias das *mainstream* porque a primeira considera a heterogeneidade dos agentes, ou uma abordagem “populacional”. Em última análise, não se tem uma representação unicamente individual, e sim uma combinação entre o “meio” e a população envolvida na inovação (Dosi; Nelson, 1994).

Novamente, uma inovação será radical quando acarretar mudanças qualitativas e novas estruturas internas de produção, com possivelmente novos serviços associados. Por outro lado, as inovações incrementais irão melhorar quantitativamente os serviços. Saviotti (2023) ressalta que os MMAs podem existir em níveis agregados diferentes (componentes, sistemas inteiros, subcomponentes). Quando uma inovação é introduzida, provavelmente outros componentes relacionados serão precisos, como na hibridização gradual que ocorreu com partes de aviões.

É nesse período que certos graus de “autorregulação” dos sistemas criados são atingidos (Saviotti, 1986). A partir disso, as inovações de nicho dão espaço para novos regimes (Geels, 2002) e surge um fluxo de novas inovações incrementais, formando uma “instância paradigmática”. A melhora marginal vai então aperfeiçoando gradualmente os serviços de acordo com a técnica fornecida para usuários e consumidores.

Vale destacar que no estágio inicial do ciclo de vida de novos paradigmas tecnológicos, o impacto das discontinuidades é maior. Nessas fases, qualquer presunção de conhecimento perfeito é incabível, uma vez que há grande incerteza comportamental. Quando os paradigmas avançam no ciclo, contudo, o conhecimento subjacente se torna mais articulado e a incerteza se torna risco probabilizável, abrindo margem para otimização racional.

Isso leva a impactos importantes no comportamento das organizações e empresas: quando uma nova tecnologia é vista como potencialmente lucrativa, talvez seja necessário trocar ou atualizar grande parte do capital instalado. Alguns exemplos, como a transição de componentes em carros e a mudança completa de paradigmas em câmeras fotográficas e relógios são trazidos na Figura 5.

Figura 5 – Exemplos de Mudanças Tecnológicas e Respectivas Transições

<i>Technology</i>	<i>Internal structure vs dominant design</i>	<i>Other designs</i>	<i>Transitions</i>
Cars	Internal combustion engine, four wheels, transmission by gears	Three wheels, electrical and steam engines	i. Multiple designs → dominant design ii. Electrical, hybrid and hydrogen cars (?) iii. Self-driving cars (?)
Agricultural tractors	Internal combustion engine, four wheels, transmission by gears	Steam tractors	
Photographic cameras	Chemical vs ITC-based		2000s Chemical → ITC-based
Watches	Mechanical vs electronic	Co-existence	
Jet engines	(a) Piston and propellers vs (b) jet engine	Almost complete substitution of (a) by (b)	Piston and propellers → jet engine
Pharmaceuticals	Organic chemistry vs (b) biotechnology	Growing adoption of (b) but always in combination with some (a)	(a) → (b)

Fonte: Saviotti (2023, p. 39)

Saviotti ressalta que há casos em que a tecnologia resulta em uma mudança completa nas estruturas internas, mas em outros, há possibilidade de coexistência, como na recapitulação dos motores a vapor trazida por Geels (2002). A coexistência de diferentes estruturas ocorre se cada uma das tecnologias ofertar especificamente um subconjunto de serviços necessários.

Em contrapartida, uma completa substituição pode ocorrer se a nova estrutura interna for capaz ofertar os mesmos serviços que a antiga ofertava, mas a um custo inferior. A razão pela qual os regimes antigos são superados, ou coexistem com um novo, dependem tanto do progresso científico como das mudanças no ambiente contextual, que também se manifestam na forma de pressões advindas da paisagem.

3.2 Formas Organizacionais e Instituições.

Novas tecnologias podem emergir em ambientes que não são puramente institucionais, como nichos tecnológicos na função de incubadoras. Mas a sua subsequente difusão e a criação

de indústrias e mercados correspondentes jamais ocorre sem a formação de instituições especializadas e gerais com enfoque em tecnologia e inovação (Saviotti, 2023).

Organizações, infraestruturas e instituições (gerais e específicas) são componentes de Sistemas Socioeconômicos (SES), que lidam com os ambientes econômicos externos e aos quais precisam se adaptar. Linguagem, cultura e ambiente jurídico são exemplos de instituições gerais, enquanto associações, ministérios e entidades acadêmicas são exemplos de específicas. Os dois tipos precisam se adaptar à presença de novas tecnologias para serem bem-sucedidos. Com esse raciocínio, fica nítido que há necessidade de tecnologias, instituições, infraestrutura e organizações coevolúrem.

A coevolução ocorre quando algumas instituições permitem que a difusão de novas tecnologias (e a escalada de mercados) vá além do que seria possível caso não houvesse ação institucional. É esperado que os dois tipos de instituições afetem o desenvolvimento ao criar um ambiente econômico apropriado para atividade inovadora em geral. Acemoglu e Robinson (2013) expuseram a distinção entre instituições inclusivas e extrativas e frisaram que apenas países capazes de criar instituições inclusivas conseguem se desenvolver com sucesso.

Voltando ao conceito de que instituições são as “regras do jogo”, resta uma ambiguidade. Quando regras são criadas, precisam de ser implementadas pelas organizações, mas em qual ordem? Para esclarecer isso, tem-se que as instituições devem estar incorporadas nas organizações: a universidade é uma instituição e as Universidades, individualmente, são organizações (Saviotti, 2023, p. 41).

Em geral, requer-se instituições na forma de comunidades a fim de coordenar os comportamentos e as atividades dos indivíduos (Hodgson, 2015). Essas comunidades existem devido à vantagem evolucionária de haver divisão do trabalho não só na esfera produtiva, como no conceito de Adam Smith, mas em diversas funções sociais e atividades humanas. Assim, aumenta-se a eficiência com a qual os recursos são usados, como exemplificado na evolução da “firma moderna”.

Nessa linha, houve dois tipos de tecnologias que contribuíram para a formação das empresas modernas, bem como para seu crescimento e subsequente expansão. O primeiro tipo diz respeito a tecnologias que levaram à criação de setores, como setores elétrico e químico. O outro tipo são as tecnologias que permitiram transporte e comunicação necessários para o crescimento geográfico de mercados. Tecnologias como ferrovias, refrigeração e telégrafo figuram aqui. Para Chandler (1977), a “corporação moderna” foi criada após a Revolução

Industrial por meio do alinhamento da expansão da produção com distribuição em massa. Entretanto, os mecanismos que afetaram as indústrias e as empresas mudaram consideravelmente com a institucionalização de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

3.3 Coevolução Tecnológica.

Para pensar o desenvolvimento econômico no longo prazo, antes é preciso discutir a coevolução de tecnologias e instituições e definir a relação entre atividades econômicas e atividades não econômicas. O conceito de *homo economicus*, ao presumir a perfeita separação dessas atividades, torna-se um pressuposto limitado para análise. Isso acontece porque hoje, com investimentos fortes em ciência e P&D industrial, fica claro que os limites entre atividades econômicas e não econômicas são permeáveis.

Mesmo que modelos neoclássicos sejam importantes para análises financeiras de desenvolvimento, por exemplo, eles muitas vezes têm limitações como a simplificação de realidades sociais; atenção limitada a atores e comportamentos; e forte dependência em mecanismos puramente econômicos, o que freia a implementação política junto ao mundo real (Turnheim *et al.*, 2015).

Na implementação efetiva, que contém as atividades estritamente econômicas e as demais, tem-se, por exemplo, o estado de bem-estar social. Ele aflorou em sociedades industriais sobretudo por razões políticas e hoje adquire uma dimensão econômica importante (Saviotti, 2023). A interação entre as atividades tornou-se íntima e complementar. Isso implica que, novamente, a separação delas é inadequada para a análise de fenômenos de longo prazo: as fronteiras em questão não são fixas. É provável, inclusive, que mudem endogenamente com o passar do tempo e se moldem conforme os contextos institucionais.

Outro fato importante é que as empresas não se comportam sempre de acordo com a otimização racional, mas sim por meio de rotinas, que podem ser definidas como “padrões repetitivos de ações independentes na organização” (Saviotti, 2023, p. 43). O comportamento padronizado é explicado pelo menor nível de complexidade operacional que as rotinas oferecem, mas elas só se tornam úteis se o contexto permanecer dentro de certos limites condizentes com a capacidade das empresas.

As rotinas se repetem até que sejam desafiadas pela incerteza que engloba a atividade inovadora (Nelson; Winter, 1982). As empresas então embarcam em atividades de pesquisa, por meio das quais podem sentir o ambiente externo e buscar alternativas aos padrões instalados. Sendo assim, as organizações modernas vivem uma combinação entre rotinas (padrões) e pesquisa (busca por novos padrões), uma vez que a adoção de inovações também é motivada pela aversão a ameaças e fracassos. Quando associadas a falhas, as rotinas são substituídas por novas, derivadas da pesquisa. Essa combinação é crucial à teoria de inovação.

As organizações podem, ainda, ter estruturas desenhadas para promover uma adaptação ao ambiente externo. A necessidade de adotar estruturas mais eficientes foi vista na histórica adaptação de empresas que passaram da forma multifuncional para multidivisional no século 20, buscando atingir maior diferenciação de mercado. Essas mudanças na estrutura das firmas consistiram nas adaptações mais importantes da trajetória do desenvolvimento econômico, nomeadamente adaptação a i) aumento de variedade e qualidade de produtos e serviços e ii) institucionalização de P&D (Saviotti; Pyka, 2013).

A complementariedade entre pesquisa, infraestrutura, crescimento de mercados e indústrias envolve investimentos grandes que geram *payoffs* para diversos atores e usuários. Estradas, pontes, fábricas e aeroportos são exemplos de infraestruturas que permitem atividades econômicas que seriam impossíveis sem elas (Chandler, 1977). Da mesma forma, pode haver tecnologias que contribuem não para todo o sistema econômico, mas para indústrias específicas, como os pneus relativamente à indústria automobilística.

Isso revela a importância da complementariedade para além da competição. Quando duas ou mais tecnologias se complementam, o crescimento de uma leva ao crescimento de outras, abrindo espaço para a emergência de *feedbacks* positivos entre as atividades que interagem: é o que constitui o mecanismo da coevolução. A abordagem que estuda a interação entre instituições, infraestrutura, organizações e artefatos feitos pelo homem (MMAs) dentro de sistemas complexos é um dos principais componentes da teoria evolucionária moderna de comportamento econômico (Saviotti, 2023).

Para além da observação de mudanças qualitativas e quantitativas pela ótica dos MMAs, a coevolução implica que a emergência de tecnologias importantes não ocorre sem mudanças grandes na estrutura dos Sistemas Socioeconômicos (SEs), nos quais os estágios sucessionais no ciclo de vida das tecnologias prosseguem dentro do quadro institucional vigente.

Pode-se dizer, segundo Saviotti (2023), que uma Transição acontece entre dois estágios diferentes de um SES, caracterizados pelas diferenças qualitativas em tecnologias, instituições, infraestruturas e padrões de consumo. Já uma Transformação acontece dentro do quadro das tecnologias, instituições, infraestrutura e padrões existentes com predominantemente mudanças quantitativas. Ou seja, uma Transição envolve a descontinuidade enquanto uma Transformação implica mudanças mais previsíveis e quantificáveis.

3.4 Implicações Evolucionárias para Políticas Públicas.

Um problema que permeia a avaliação de políticas públicas é o fato de ser majoritariamente dominada pela lógica econômica de otimização, na qual modelos buscam a maneira menos custosa de atingir objetivos, como diminuir emissões de carbono, por exemplo. No longo prazo, no entanto, a custo-efetividade de instrumentos políticos fica em segundo plano. A avaliação do sucesso em abrigar mudanças torna-se mais importante. É por isso que o monitoramento das transições e a avaliação de políticas devem coevoluir e estimular um processo de aprendizado contínuo, objetivando identificar problemas e oportunidades à medida em que se ajustam as providências (Geels; Kern; Clark, 2023a).

Para mostrar implicações significativas para políticas públicas, Saviotti (2023) traça uma exploração a partir de alguns critérios da Economia Evolucionária. Tais critérios emergem de tensões no sistema global de hoje, no qual é percebido que formuladores de políticas se dedicam a tendências crescentes para vislumbrar futuros possíveis. Essas tendências, encaradas como “desafios globais”, podem ser discutidas à luz da teoria evolucionária do desenvolvimento socioeconômico.

Esses desafios representam mudanças que podem confrontar as instituições a nível nacional e internacional, chegando a ameaçar os rumos da sociedade como conhecemos. Entre eles, estão ordem geopolítica; estado de bem-estar social; emprego e seguridade social; e meio ambiente. Os dois últimos são o foco da análise de Saviotti, dado que a discussão de tecnologia e inovação sustenta a estrutura geral da exploração. Perpassando os pontos principais da Economia Evolucionária que servem de base para a análise, tem-se:

- 1) A importância da emergência de novas tecnologias qualitativas, que diferencia os Sistemas Socioeconômicos (SESs); contribui para o desenvolvimento; e determina poder e riqueza relativos entre países;
- 2) O comportamento adaptativo, implicando que falhas no ajuste a ambientes externos podem vir de barreiras cognitivas ou políticas, resultantes da heterogeneidade na estrutura dos SESs;
- 3) A imprevisibilidade de equilíbrio geral da economia perante a inserção de inovações radicais e a constante mudança dos SESs;
- 4) O potencial de superação de gargalos por meio da criatividade geradora de novas atividades econômicas, mas apenas mediante crescimento de eficiência;
- 5) A incompletude do conhecimento humano, à medida que se aumenta a incerteza geral em torno das decisões em sistemas complexos;
- 6) A importância de se pensar longo prazo mesmo que não se consiga prever com certeza os caminhos exatos de desenvolvimento;
- 7) O grau com que a coevolução de tecnologias, instituições e infraestruturas pode acelerar a emergência de novos sistemas e multiplicar caminhos de desenvolvimento. Para isso, é ressaltado que:

No technological innovation could have had the impact we observe on the real world unless it had been accompanied by important institutional and organizational innovations. Technology and innovation need to coevolve in order to allow the potential impact of technology to be realized. [...] This implies that the development path followed by a country or a region depends on the institutions and the political priorities of the country. Thus, evolutionary economics needs to consider the interactions of the different components of an SES and become evolutionary political economics (Saviotti, 2023, p. 243).

Tendo estabelecido a importância da coevolução de tecnologias e instituições de todos os tipos, é levantada a questão de que, mesmo com velocidades diferentes, descontinuidades e gradualidade, espera-se que os SESs continuem se transformando constantemente. Isso inevitavelmente gerará grupos insatisfeitos com as condições presentes ou, pelo menos, que consigam imaginar melhores cenários com a introdução de mudanças.

As inovações adotadas nas reorganizações podem gerar vantagens que são aproveitadas por empreendedores e organizações. Mas será que existem vantagens que fluem desde a inovação para outros membros da sociedade? Ou seja, como os resultados da inovação são disseminados? Em geral, evidências mostram que os benefícios das inovações são desigualmente distribuídos (Saviotti, 2023).

Ainda que seja consenso que a inovação cria riqueza e renda, suas contribuições para distribuição de renda são menos discutidas. Argumenta-se, na Economia Evolucionária, que essa disparidade de distribuição cria “ganhadores” e “perdedores”, como implícito pela destruição criativa de Schumpeter (1934) e pela hipótese da curva de Kuznets (Nielsen; Alderson, 1997).

Sendo assim, uma discussão mais completa sobre a utilidade da inovação precisa considerar que ocorre uma seleção de grupos em estados, nações e regiões importantes. Mudanças nos SESs podem e vão acontecer, mesmo que desagradem grande parte de uma comunidade, contando que afetem positivamente a competitividade de determinada economia. Isso não é uma exceção, mas uma situação geral. Na maioria das transições econômicas, criam-se vantagens aos inovadores, usuários imediatos e, possível mas não necessariamente, à população (Saviotti, 2023, p. 246).

Com esse raciocínio, não se exclui o benefício de alguns, mas confirma-se a importância da seleção de grupos na evolução dos SESs: inovações importantes criam vantagens competitivas para países ou regiões em que emergiram primeiro ou foram adotadas em massa, mesmo que não beneficiem todos os habitantes da região. É provável que essa mescla de vantagens e desvantagens coletivas aconteça no desenvolvimento e isso levanta algumas dúvidas sobre a natureza do progresso técnico.

As teorias de Produtividade Marginal (MPT) e de destruição criativa, por exemplo, não têm componentes éticos que considerem a justiça social para garantir as necessidades básicas da sociedade. A negligência dessas teorias a determinantes de produtividade externos aos trabalhadores, portanto, impossibilita considerar distribuição de renda como decorrente apenas da produtividade marginal.

Essa conclusão é particularmente relevante se considerarmos que a inovação é decisiva para o progresso econômico e que, inevitavelmente, ela acarreta destruição criativa: “perdedores e ganhadores”. Se pensarmos, no entanto, que a inovação tem o potencial de melhorar o bem-estar de todos os membros da sociedade, então é não apenas justo como lógico compensar os lesados desse processo.

Nesse sentido, uma interpretação balanceada dos efeitos da destruição criativa, que não foi discutida por Schumpeter (1934), determina que é inteligente compensar os prejudicados ao fornecer-lhes recursos suficientes, resultantes da destruição criativa, para permitir o alcance das

necessidades básicas. Esse raciocínio não só é moralmente fundamentado, mas coaduna com justificativas econômicas de estímulo à demanda, como em políticas keynesianas.

De fato, argumenta Saviotti (2023, p. 263), essa extensão do pensamento relativo à destruição criativa pode ser vista como uma combinação de Schumpeter e Keynes, a exemplo de interpretações como a ascensão dos estados de bem-estar social europeus no pós-guerra. A assistência a lesados nas transições ainda pode ser exemplificada pelo *Green New Deal* Europeu, com seu comprometimento em “não deixar ninguém para trás” por meio da criação de um “Fundo e Mecanismo de Transição Justa” (Leppänen; Liefferink, 2022).

Qualquer medida de compensação, portanto, dependerá da estrutura social latente, que por sua vez muda ao longo do tempo devido às mudanças no sistema econômico internacional. Nessas mudanças, o conceito de Estado pode se favorecer se evoluir de uma forma burocrática a uma forma empreendedora (Mazzucato, 2011), na qual se exploram as vias transicionais mais importantes para adaptação. Outro fator de relevância é a percepção aumentada de países ocidentais sobre o papel do Estado em modelar as trajetórias de desenvolvimento socioeconômico (Allan; Lewis; Oatley, 2021). Eventos macro competitivos e geopolíticos podem ter catalisado essa percepção, como a pandemia de covid-19 e recente crise de gás.

Outra abordagem possível é estabelecer um nível de compensação mínimo aos “perdedores” para que satisfaçam suas necessidades básicas, i.e., uma renda mínima necessária para suprir o bem-estar físico no longo prazo, confundindo-se com a linha da pobreza. Isso, no entanto, vai contra conceitos modernos de bem-estar, que incluem além de aspectos biológicos, acesso a tecnologias, funções sociais e a outras produções que são constantemente redefinidas.

Conceitos como hierarquia de exigências (Maslow, 1943) e capacidades básicas, de Amartya Sen (1985), ajudaram a conectar inovação e desenvolvimento. Sen, ao introduzir funcionamentos e capacidades, influenciou os estudos que culminaram no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Stanton, 2007), que hoje mede parâmetros importantes. Esses conceitos se ligam à definição de novas funções e novas capacidades a partir da disseminação de inovações.

Como a coevolução entre inovação e demanda tem o potencial de gerar crescimento, pode-se formular a definição de compensação em termos de capacidades. O nível absoluto de capacidades, no entanto, não é importante isoladamente, mas sim associado a outros integrantes dos SESs, incluindo, capacidade de acesso a infraestrutura ecológica e acesso a bens e serviços de mínima sofisticação.

Mesmo que a tecnologia possa substituir em potencial o trabalho, pode emergir uma relação ideal de complementariedade entre eficiência e criatividade: eficiência diminui custos de produção e a criatividade permite a ascensão de bens qualitativamente melhores, que geram novos serviços, e funcionam também como mecanismos de compensação. Entre eles, estão aumento de níveis de educação, redução de jornadas de trabalho e aumento de atividades ligadas ao bem-estar social (Saviotti, 2023).

Mesmo assim, questões importantes sobre a emergência de inovações dizem respeito à velocidade com a qual as economias conseguem criar empregos para compensar a “destruição”. Essa mudança estrutural na composição dos postos de trabalho constitui um mecanismo condicionante do desenvolvimento no longo prazo. Uma alternativa para manutenção do emprego, nesse caso, é a antecipação das mudanças com o estímulo a setores promissores ou a modificação de setores em declínio para torná-los mais eficientes.

3.5 Implicações da Economia Evolucionária para Políticas Ambientais.

A fim de estruturar direções de debate tecnológico diante de preocupações ambientais, procuram-se implicações que constituam um quadro evolucionário capaz de se sustentar a nível teórico e prático. Geels *et al.*, (2023, p. 263) argumentam que não há “balas de prata” para políticas que abriguem transições sustentáveis: elas são complexas e não lineares. Assim, a construção coerente e direcionada de políticas mistas precisa tratar de espectros inteiros nos Sistemas de Produção-Consumo (CPS).

De forma geral, é essencial construir coalizões que abriguem sindicatos, negócios orientados para sustentabilidade e atores do ramo financeiro, bem como defensores das causas ambientais e sociais (Hess, 2018). A partir de uma visão sinérgica e consensual, critérios gerais para caminhos sustentáveis que minimizem resíduos podem ser desenhados.

Para perseguir esses objetivos, é preciso lembrar que os sistemas produtivos operam contra a 2ª Lei da Termodinâmica, de acordo com a qual todas as transformações físicas tendem ao aumento da entropia, ou a medida de desordem de um sistema. Sendo assim, quando se cria uma tecnologia, aplica-se energia e conhecimento para reduzir a entropia de materiais localmente, resultando em materiais mais organizados (Daly, 2007; Georgescu-Roegen, 1971).

Mas ainda que se reduza a entropia local, a entropia total do sistema aumenta com a dissipação de matéria e energia, dado que a economia é um sistema aberto e não isolado. Por isso, pode manter certa organização mantendo-se longe do equilíbrio (Cechin; Veiga, 2010).

A adoção de bens e serviços compatíveis com a 2ª Lei da Termodinâmica, juntamente à possibilidade de artefatos ordenados e com menor potencial entrópico pode, portanto, acontecer em sistemas abertos operando em desequilíbrio. Nesse sentido, a coevolução de instituições e tecnologias aplica-se bem à relação entre atividades humanas e meio ambiente. Pode-se até dizer que, após a Revolução Industrial, a relação entre a humanidade e a natureza foi uma coevolução fracassada: a natureza foi pouco considerada (Saviotti, 2023).

Dado que o principal impacto ambiental decorre das estruturas internas, para reduzir danos é preciso reduzir o impacto que supre o fluxo de bens e serviços, i.e., reduzir a utilização de matéria e energia usados na estrutura e nos serviços correspondentes. A melhor maneira de atingir isso é reciclar e minimizar a extração de recursos, ou seja, construir uma Economia Circular, que foi introduzida em termos diferentes por Boulding (1966).

De toda forma, para se criar Sistemas Socioeconômicos (SESs) sustentáveis, é preciso limitar o excesso de entropia ao passo que se monitora a capacidade de metabolizá-la que o planeta oferece. Isso traz noções claras sobre o dever de conter a quantidade de energia usada abaixo do limite máximo que o ambiente pode absorver (Herman-Pillath, 2011). Entretanto, ainda que a Termodinâmica implique que não se possa continuar usando um sistema que aumente os níveis de poluição, levando, portanto, a caminhos insustentáveis e perigosos, algumas questões podem permanecer, estando sobretudo relacionadas aos limites à poluição em escala global e à velocidade de convergência a um suposto *steady state* sustentável.

O desenho de um possível estado estacionário parece ser tão difícil quanto os caminhos para se chegar até lá. Considerando as possibilidades de redução de impactos no antropoceno, duas abordagens são particularmente importantes em torno desse debate. Elas englobam as teorias de Decrescimento (Demaria *et al.*, 2013) e Desenvolvimento Sustentável (Daly, 2002).

Elas diferem sobretudo nos desenhos de ação perante os modelos de desenvolvimento econômico *mainstream*. O Decrescimento considera este último falho e passível de substituição completa. Ele advoga pela diminuição de escala de produção, argumentando que o consumo exagerado se situa na raiz dos problemas ambientais e da desigualdade. Teóricos do campo esperam contribuir, portanto, para melhora do bem-estar por meio da substituição de consumo e desperdício por atividades mais significativas e menos poluidoras.

Por outro lado, o Desenvolvimento Sustentável presume ser possível atingir SESs sustentáveis a partir da redução de impactos das tecnologias usadas. Em geral, ampara-se continuamente no modelo econômico de crescimento em vigor, apenas com modificações cabíveis. O relatório *Our Common Future* (Brundtland *et al.*, 1987), por exemplo, explicita a necessidade de haver crescimento nesse processo.

Seja qual for a estratégia escolhida, uma quantidade considerável de pesquisa é necessária para descobrir quais operações energéticas cabem nos limites entrópicos suportados, assim como inovações tecnológicas e institucionais. Os caminhos de transição para SESs sustentáveis precisarão impreterivelmente coevoluir. E mesmo que a substituição de tecnologias por outras menos poluidoras faça parte dessas transições, espera-se que a estrutura dos SESs mude completamente com o passar do tempo. Isso porque novos processos serão introduzidos e mudarão as relações insumo-produto (Saviotti, 2023).

A governança de “transições para a sustentabilidade” também requer novos paradigmas. Mudanças para políticas ambientais que tratem de adaptação à mudança climática, ou conservação da biodiversidade, por exemplo, precisam estar bem integradas a políticas econômicas industriais, de segurança e comerciais para garantir a coevolução (Geels; Kern; Clark, 2023a, p. 10).

Tanto nas mudanças de matriz energética quanto nas mudanças de insumos para bioeconomias, preços relativos e posições econômicas entre países são alterados. São necessários, ainda, investimentos públicos e privados quase incalculáveis. Como é de se esperar, essas mudanças criam oportunidades e considerável nível de destruição. Contudo, a indução a essas transições tem uma natureza intrinsecamente política e, para isso, padrões bem desenhados de colaboração internacional são mais recomendados que delegar ao mercado (Saviotti, 2023, p. 269).

A natureza política se traduz no poder que atores críticos têm de influenciar a direção e a velocidade da mudança das paisagens sociotécnicas, a exemplo os formuladores de políticas do Reino Unido na transição para estratégias de baixo carbono (Pearson; Watson, 2023). Enquanto políticos e empresas poderosas têm aumentado o investimento nas transições, também é válido investigar as “políticas de massa” para as transições, incluindo o uso de voto econômico, normas sociais e movimentos que abrangem ONGs e juventudes por exemplo.

Para construir caminhos sustentáveis, portanto, os critérios de entropia provam que, visando reduzir o uso de recursos, podemos ao menos preservar uma gama razoável de

atividades a um nível satisfatório de vida. Os critérios, no entanto, são pouco úteis perante a previsão de aumento dos efeitos das mudanças climáticas. A gradação da ocorrência e intensidade de eventos extremos implica construir infraestruturas para suportar o máximo de variáveis possível, como forma de evitar o comprometimento das capacidades de indivíduos e de países (Hallegatte; Hourcade; Dumas, 2007).

Há diversos outros exemplos de possíveis aplicações políticas da Economia Evolucionária, como fortalecimento da educação em sistemas democráticos e de instituições capazes de prover uma governança adequada na globalização. Logo, para atingir objetivos políticos, a Economia Evolucionária precisa ampliar seu escopo para incluir o estudo de fenômenos como distribuição de renda, emprego, migrações e mudanças ecossistêmicas.

Mesmo que seja complexo prever com exatidão os efeitos políticos futuros, é preciso investigar os cenários aos quais as inovações podem dar ascensão. Isso é importante não apenas porque o estudo desses tópicos pode trazer melhores soluções para futuros problemas, mas porque uma boa investigação leva a uma melhor adaptação ao presente (Saviotti, 2023).

4. METODOLOGIA.

4.1 Base Conceitual.

Conforme se avança no entendimento das inovações rumo a sistemas sociotécnicos sustentáveis, passa-se a estudar como as características dessas inovações se encaixam aos processos históricos. Abrem-se oportunidades para aplicar os insumos obtidos a novos modelos de governança das instituições e então implementar diretrizes transicionais, sobretudo em sistemas nevrálgicos ao funcionamento da sociedade, como sistemas agroalimentares, de energia, de transporte e de cidades (Zolfagharian *et al.*, 2019).

O campo das transições sociotécnicas, importante para a análise de mudanças estruturais, passou a incorporar pesquisadores de diferentes tradições, emergindo desde Sociologia (Geels, 2002), Economia (Trutnevyte *et al.*, 2015) e Ciência Política (Meadowcroft; Rosenbloom, 2022). Com isso, os estudos espelharam abordagens metodológicas diferentes, uma vez que o interesse em problemas transicionais é crescente e transversal. Sendo o pensamento sistêmico o eixo que perpassa o campo, tem-se que configurações e atributos contextuais são objetos imprescindíveis de análise e que incluem as perspectivas Multinível (PMN), Evolucionária, institucional, Multi-Atores, de longo prazo e de não linearidade (Geels, 2002; Lundvall, 1988)

Ressalta-se ainda, nos estudos sobre inovação, tecnologia e teoria institucional (Scott, 2014), a importância do acompanhamento metodológico nas decisões coletivas. A análise dos fluxos de informação no mundo globalizado apontaram para um progresso teórico em diversas áreas, mas trabalharam sobretudo no direcionamento para um Desenvolvimento Sustentável que possa ser, além teorizado, aplicado ao contexto vigente (Heidenreich; Koschatzky, 2011).

Geels (2011) traz argumentos metodológicos acerca da natureza heurística da PMN, deixando claro que serve como uma teoria *middle range* e não funciona exatamente como uma máquina de receber *inputs* e devolver resultados instantâneos. Além disso, defende que fenômenos complexos, como as transições, não podem ser reduzidos a modelos de estatísticas verificáveis, dado que a pesquisa em PMN sempre terá de envolver a interpretação dos pesquisadores, e consequentemente desenhar discussões sob métodos qualitativos.

Zolfgharian *et al.*, (2019) ressaltam, com uma revisão de métodos, a importância de haver um procedimento estruturado que sistematicamente trate do status do campo e dos problemas abordados. O procedimento parte da abordagem de perguntas que tipicamente guiam os estudos, de paradigmas, enquanto set de crenças que afetam a seleção de métodos e de arcabouços teóricos, agindo como lentes que levam as pesquisas a considerarem conceitos específicos para análise.

Mesmo que os problemas de transição geralmente se encaixem em funções sociais ou em temáticas amplas, como governança, política e cultura, a exploração baseou-se na relevância dos requisitos metodológicos, que apontaram para quatro principais categorias: I) perguntas que buscam explicar o todo ou a parte e uma transição, II) perguntas sobre políticas de transição específicas e caminhos transicionais, III) perguntas que tratam da influência de variáveis específicas ou fatores subjacentes aos processos de transição e IV) perguntas que envolvem a influência de redes de atores nos processos de transição (Zolfagharian *et al.*, 2019).

Na segunda categoria, das perguntas que lidam com políticas particulares e caminhos possíveis de transição, ou *pathway questions*, inclui-se a exploração do futuro das trajetórias, bem como dos padrões e mecanismos envolvidos no processo. Nesse caso, conta-se com o desenvolvimento de cenários, tratamento de processos históricos e análise de futuras opções político-institucionais. Entre os exemplos, tem-se a avaliação da efetividade financeira de potenciais caminhos futuros e a influência de políticas governamentais no crescimento e difusão das inovações orientadas por sustentabilidade, como utilizado por Johnson e Silveira (2014) para analisar caminhos de transição relativamente a programas de combustíveis em horizontes temporais para três países.

Destatte (2010), ao reconhecer que o desenho desses caminhos de forma eficaz requer esforços alinhados rumo à construção de métodos dedicados a estratégias sustentáveis, ressalta a possibilidade da construção de cenários. Assim, o propósito da previsão, enquanto ferramenta forte no acompanhamento dos processos de sustentabilidade, é fornecer insumos aos tomadores de decisão para implementar ações subsequentes. Esta relação não é nova e nasce desde o objetivo principal da previsão estratégica na caminhada para uma sustentabilidade sistêmica.

Uma vez que métodos e caminhos para a sustentabilidade estão interligados desde a incipiência dos conceitos de Desenvolvimento Sustentável, com os exercícios de prognóstico de Meadows (1972) e com o relatório *Interfuturs* (1978), é relevante extrair características dessas linhas originárias. Os trabalhos integram o longo prazo ao tratamento de diferentes

“futuros” para então oferecer diferentes alternativas. Além disso, a análise holística de sistemas complexos através da interdisciplinaridade ajuda a desenhar modelagens práticas. Diante da interdependência dos sistemas, ressalta-se que exercícios de previsão devem ser *action-oriented* na integração dos desejos estratégicos às iniciativas de mudanças concretas.

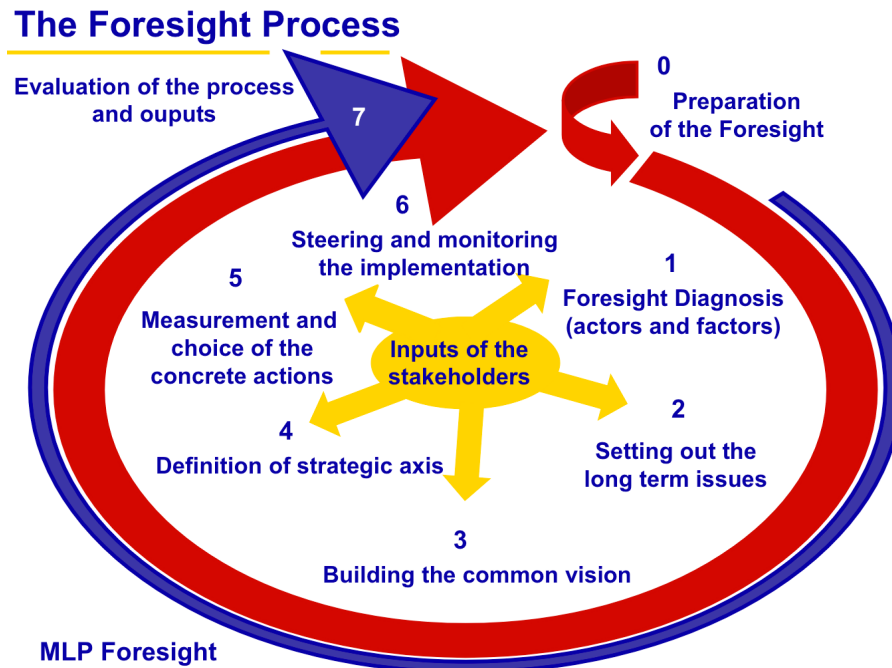
Na construção de um modelo de *Sustainable Foresight*, Destatte (2009) baseou-se em experiências regionais que abrigam o pensamento inovador no processo de aprendizado coletivo. Para isso, considerou a dinâmica de previsões na região de Valônia, na Bélgica, usando principalmente o instrumento de *Mutual Learning Platforms* (MLP), ou plataformas de aprendizado mútuo. O objetivo das abordagens é criar processos e práticas que reforcem a performance dos atores envolvidos nos processos de transição de acordo com ferramentas e estratégias utilizadas. Passar pela previsão, nesse sentido, é trivial. Mas também é importante considerar escolhas tecnológicas, políticas públicas, *benchmarking* e perfis regionais.

Para compilar as metodologias das experiências regionais, considerou-se sobretudo que o processo está situado em ambientes com diferentes atores e com diferentes abordagens regionais, chegando até o nível nacional. Assim, as etapas para diagnóstico e identificação de problemas são postas de forma integrada. Nos exercícios coletivos, as fases de *awareness*; diagnóstico compartilhado; construção e futuros possíveis e desejáveis; abertura para debate de soluções; contratualização; compromissos e ação perpassaram as principais abordagens (Destatte, 2009).

Posteriormente, um modelo mais elaborado com fases de um processo de previsão foi construído. A iniciativa começou a tomar dimensões microrregionais para as cidades de Lille, Bruxelas e Mons, conhecidas como *Wallonie Picarde*. O processo foi dividido em seis fases: preparação da abordagem, que definiu motivações e identificou atores chave; diagnóstico e previsão, trazendo peculiaridades da região; identificação de problemas a longo prazo; construção da visão comum; definição das áreas estratégicas; e implementação de ações concretas, que recaem sob o escopo pré-definido da região (Destatte, 2009, p. 17).

Com a *Mutual Learning Platform*, fixou-se em construir uma plataforma conjunta de informações dedicada a processo regionais à medida que se garantia a maior quantidade de informações possível sobre a região de Valônia e que se importava expertise internacional no domínio de previsão regional. A partir disso, a *Wallonia Territorial Intelligence Platform* desenhou um guia para previsão de experiências de transição (Figura 6).

Figura 6 - Guia para Processos de Previsão dentro da Mutual Learning Platform



Fonte: Destatte (2009, p. 20)

A sequência adotada pelo exercício da *MLP Foresight* foi a seguinte: fase preparativa, com clarificação dos objetivos, perímetros, escala de tempo, cenários desejáveis; fase de previsão, analisando e debatendo o futuro, com identificação de atores e fatores, estabelecendo o problema a longo prazo e construindo a visão comum.; e a fase estratégica, com definição de eixos estratégicos, mensuração e escolha de ações concretas e monitoramento da implementação. O modelo foi publicado no guia da *European Regional Foresight Report, Boosting Regional Potential* e distribuído para mais de duas mil regiões europeias.

4.2 Procedimentos Metodológicos.

É ressaltado que, com o modelo, a construção de cenários exploratórios pode ajudar a construir um diagnóstico de previsão na identificação de possíveis futuros. Foca-se na contribuição dos participantes em todos os passos, ressaltando também a importância da governança no escopo de atuação regional ou nacional. Por fim, mostra-se que o processo não

acaba na fase de previsão de fato, uma vez que pode se integrar à fase de estratégia, incluindo implementação e ações específicas (Destatte, 2009).

Assim, os procedimentos metodológicos desta pesquisa prosseguirão a partir do processo de previsão do guia de *Sustainable Foresight* da *Mutual Learning Platform*, restringindo-se às fases preparativa e de previsão, i.e., no diagnóstico da situação e na construção de cenários para transições sustentáveis no Brasil ante o caso específico da inserção de bioinsumos no ramo agrícola.

Reconhece-se que a identificação de atores pode ajudar na montagem de cenários futuros acerca do segmento. Isso pode revelar interdependências na Perspectiva Multinível (PMN) e fundamentar decisões e ações direcionadas aos sistemas sociotécnicos em questão. Para responder às questões sobre os motivos pelos quais o mercado de bioinsumos, mesmo com arcabouço programático, permanece um nicho de mercado no Brasil; sobre quais são os fatores relevantes nesse processo; e sobre qual é o papel das instituições e organizações, a seguinte estratégia será seguida:

Fase preparativa:

- 1) O objetivo desta fase é recapitular a construção do arcabouço programático que abriga o setor de bioinsumos e compreender fatores relevantes à dinâmica do setor de insumos agrícolas, como isenções tributárias e outros incentivos econômicos que incidem sobre os insumos tradicionais (Soares; Cunha; Porto, 2020), as legislações que tratam da classificação de insumos (Bortoloti, 2022) e a coesão organizacional que pode permitir uma possível coexistência tecnológica (Goulet, 2021). Além disso, materiais oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária bem como legislações e projetos de leis são usados;
- 2) Em seguida, serão mapeados o atual ambiente brasileiro (Borsari; Santos; Dias, 2022; Gottens, 2023; Vidal *et al.*, 2022) e casos internacionais (Aulagnier; Goulet, 2017; Goulet; Hubert, 2020; Le Velly *et al.*, 2023) que mostram o amadurecimento do segmento de bioinsumos, incluindo componentes importantes, desempenho, isenções tributárias e outros incentivos econômicos, crescimento e volume de negócios em cada safra, escolhidos pela similaridade com o desenvolvimento do mercado nacional. Os dados utilizados para análise e construção dos cenários são de bases que mantêm a evolução de insumos agrícolas, como Kynetec *FarmTrak*,

Agrofit, CEPEA, CropLife Brasil e MAPA (CEPEA, 2024a; CropLife Brasil; MAPA, 2023; Gottens, 2023; Koppert, 2023; Soares; Filho; Ventura, 2023);

- 3) O período que abrange os insumos biológicos parte de 2017, quando os dados de mercado deixaram de ser residuais e começaram a ter uma visão macro, até 2024. O período que abrange o ramo agrícola brasileiro, ou seja, o setor de insumos agrícolas agregado, parte de 1996 até 2024. A partir disso, pode-se qualificar o cenário atual e as tendências da transição.

Fase preditiva:

- 1) A partir do mapeamento de componentes chave ao segmento de bioinsumos, nomeadamente tecnologias, usuários e organizações, que se manifestam em diferentes formas e incorrem possíveis formas de coordenação, tem-se uma base para construir as previsões;
- 2) Os atores e componentes serão identificados de acordo com influência que pode ser implicada sobre o setor de insumos agrícolas, como caráter tradicional ou alternativo das tecnologias, escala grande ou pequena dos usuários e produtores e natureza pública ou privadas das organizações. A coesão entre esses componentes pode influenciar ordenamento jurídico, determinação política, incentivos econômicos, regulação e disseminação das práticas;
- 3) Será construído um modelo de previsão para o volume de negócios do segmento de bioinsumos e para o setor de insumos agrícolas, considerando o período de 2017 a 2034. Espera-se, nos dez anos posteriores à construção desta pesquisa, que os diferentes cenários reflitam taxas alternativas de crescimento em proporção ao total do setor de insumos agrícolas do agronegócio brasileiro.

Entre os cenários construídos, o que varia é a taxa de crescimento do segmento de bioinsumos e de seus subsegmentos, implicando graus diferentes de uso por produtores e da comercialização de insumos biológicos. A taxa de crescimento do setor de insumos agrícolas segue padrões identificados desde 1996 (CEPEA, 2024a) e adequa-se ao crescimento dos biológicos em cada cenário para espelhar hegemonia ou coexistência. Os dois cenários, portanto, refletirão graus diferentes de maturidade do mercado biológico; de coordenação entre

componentes chave dos sistemas de produção e consumo (CPS); e de consequente alinhamento entre nicho e regime para refletir sucesso ou fracasso da transição sociotécnica.

O primeiro cenário tem como premissa a falta de alinhamento em suas manifestações tecnológicas e regulatórias e, por consequência, a manutenção das tecnologias de bioinsumos como nicho de mercado. Fatores como manutenção de isenções tributárias a insumos químicos (Agostinetti *et al.*, 2020; Soares; Cunha; Porto, 2020), não diferenciação de registro e falta de incentivo estrutural à produção de biológicos (Bortoloti, 2022; Goulet, 2021; Magela, 2023) vigoram nesse cenário. As taxas de crescimento dos bioinsumos, nesse caso, crescem pouco e acomodam-se à tendência de mercado brasileiro de insumos à medida que os químicos não abrem margem para aceitação das inovações. O valor projetado para o crescimento e volume de negócio dos mercados é dado a partir da continuação de valores históricos para as safras posteriores escolhidas, usando a versão AAA do algoritmo de *Exponential Smoothing* (ETS).

Já o segundo cenário tem como premissa a coesão de atores chave identificados no processo, o que gera coordenação em suas manifestações tecnológicas e regulatórias e subsequente alinhamento nicho-regime em maior grau. Fatores como redução ou eliminação de isenções tributárias a insumos químicos, fortificação de estímulos estruturais à produção de biológicos e assertividade regulatória sobre as classes de insumos também vigoram nesse cenário. Isso se reflete em taxas discrepantes de crescimento entre o segmento de bioinsumos e o de insumos químicos, que se complementam para formar a taxa média de crescimento do setor de insumos agrícolas. Essa progressão acontece safra a safra até que as duas tecnologias se acomodem em uma coexistência de mercado no ramo agrícola do agronegócio brasileiro.

A partir da análise do mercado e de dispositivos regulatórios, econômicos, organizacionais e institucionais, caracterizando a identificação de barreiras e facilitadores conforme componentes chave e fatores relevantes dos sistemas sociotécnicos, os modelos de previsão podem espelhar mudanças substanciais no segmento de bioinsumos e no setor de insumos agrícolas brasileiro. Assim, a abordagem quantitativa acerca do volume de negócios dará insumos para a análise qualitativa dos cenários e do prognóstico da transição.

Para as previsões, o volume de negócios é medido em USD (dólares americanos). As previsões, nos dois cenários, consideram o mercado brasileiro de insumos agrícolas desde a safra de 2017/2018 até a atual safra, de 2022/2023, como base para a projeção feita até a safra de 2033/2034. Nessa projeção, o segmento de bioinsumos é constituído por inoculantes e biodefensivos. Os biodefensivos, por sua vez, incluem bionematicidas, biofungicidas e

biopesticidas. Em ambos os cenários, o setor de insumos do ramo agrícola do agronegócio brasileiro é a soma dos segmentos de bioinsumos e insumos químicos, com pesticidas e fertilizantes.

A partir da análise doméstica e internacional dos segmentos de bioinsumos, e da dinâmica regulatória envolvida, foram identificados três componentes chave para catalisar o processo de transição sociotécnica rumo à sustentabilidade parcial no agronegócio brasileiro. O primeiro componente é a tecnologia, que se divide entre as tradicionais (insumos químicos) e as alternativas (insumos biológicos). O segundo são os usuários, manifestando-se em produtores e demandantes de bioinsumos em geral, e dividindo-se em usuários de pequena e grande escala. O terceiro são as organizações, manifestando-se em empresas, associações, casas legislativas, ministérios, e dividindo-se em públicas e privadas.

Cada um desses componentes chave pode se unir de maneira coerente, i.e., em uma configuração custo-efetiva, congruente com o direito público e privado e sistematicamente debatida. Essa configuração pode então fomentar coordenação frente à dinâmica do sistema sociotécnico, manifestando-se em coordenação tecnológica e regulatória. Essa coordenação inclui fatores relevantes ao processo de inserção, como assertividade regulatória para as classes; coesão institucional para desenvolvimento tecnológico; e maior força de estímulos econômicos, como fim ou redução das isenções tributárias aos insumos químicos e fortalecimento das linhas de crédito aos bioinsumos.

5. BIOINSUMOS NO BRASIL.

5.1 Programa Nacional de Bioinsumos.

Para contribuir à instauração de um arcabouço que favorecesse a oferta de insumos fitossanitários para a agricultura no Brasil, foi lançado em 2020 o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB). O Programa caracteriza inovações institucionais, uma vez que traz as tecnologias de nicho dos bioinsumos ao processo de transição perante a abertura no regime dominante, i.e., a necessidade de transição ecológica no agronegócio e o aumento da demanda por alimentos mais saudáveis.

O Programa perpassa os eixos jurídico e econômico e atua como pioneiro em conhecimento sobre as temáticas de insumos biológicos, contribuindo para a caminhada rumo a uma bioeconomia minimizadora de recursos, sobretudo relacionada à sua manifestação enquanto economia baseada na Ecologia e compatível com a capacidade da biosfera (Conteratto *et al.*, 2021).

Vidal (2022) recapitulou a construção do Programa recorrendo à incipiência das contribuições da Agroecologia, uma vez que a disseminação de insumos agrícolas que não sejam nefastos ao meio ambiente e à vida humana são uma demanda histórica associada à agricultura sustentável no Brasil. As manifestações desse interesse, particularmente a redução do uso de pesticidas sintéticos e fertilizantes minerais, permearam o debate que construiu a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO), em 2012.

A partir dela, buscou-se implementar ações indutoras de uma transição agroecológica, de forma a contribuir para um Desenvolvimento Sustentável, para a qualidade de vida da população e para o uso responsável dos recursos naturais, além de aumentar oferta e consumo de alimentos saudáveis, livres de contaminação e de menor impacto ecossistêmico.

Como instrumento da PNAPO, o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (Planapo) visou a implementação de um programa nacional cujos objetos fossem “insumos apropriados à produção orgânica de base agroecológica” (Vidal *et al.*, 2022, p. 558). Sob responsabilidade do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o esboço do Programa

contratou estudos para verificar a viabilização do registro simplificado de produtos fitossanitários, garantindo o uso seguro desses produtos para a agricultura orgânica.

Além disso, foram incluídos no projeto as especificações para regulamentação, assim como normativos relacionados à produção orgânica a fim de simplificar e direcionar o registro de produtos. Com o apoio de manuais, seria possível I) ampliar a oferta; II) qualificar a produção de bioinsumos em território nacional; III) criar um catálogo de insumos aprovados para uso na produção orgânica e; IV) divulgar e fortalecer o uso dos bioinsumos na produção agrícola brasileira.

Os estudos realizados também proporcionariam o levantamento de gargalos e dificuldades que se impusessem sobre dinâmica de mercado, principalmente considerando aspectos tecnológicos, mercadológicos, legislativos e de políticas públicas. Foram consideradas experiências nacionais e internacionais relativamente ao incentivo à produção dos bioinsumos de forma a sintetizar o conjunto de conhecimentos empíricos e técnicos para possibilitar treinamentos e formações adequadas aos agentes do meio agropecuário.

As ações se dividem em objetivos estratégicos, que propõem instrumentos incentivadores da produção e do consumo; eixos temáticos, divididos em animal e vegetal, pós-colheita e processamento; e ações estruturantes, visando tratar do gerenciamento estratégico do PNB. Além disso, foram estabelecidas três grandes áreas de regulação: Biofertilizantes, Área Animal e Controle Biológico, estando este associado ao Manejo Integrado de Pestes (MIP) no tratamento adequado dos bioinsumos (Bortoloti, 2022, p. 27).

No mesmo ano, junto à Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação do MAPA, consolidou-se uma equipe técnica para construir o Programa. A partir disso, foi constatado que o processo apresentava algumas carências, como a falta de bases conceituais de com escopo delimitado, falta de informação de qualidade sobre os benefícios dos bioinsumos e ausência de marco regulatório que trouxesse as peculiaridades dos bioinsumos à realidade.

No âmbito nacional, a falta de iniciativas que fomentassem pesquisa em bioinsumos e a falta de investimento em desenvolvimento tecnológico também eram empecilhos, sobretudo impedindo a diminuição de diferenças entre as regiões brasileiras e a consequente melhor adaptação do Programa. Por outro lado, foi identificado que, sendo o Brasil um país megabiodiverso, as oportunidades, não só no setor agrícola, mas também no setor de inovação, eram grandes. O potencial de produção poderia ainda atingir o patamar internacional considerando as dinâmicas de trocas comerciais realizadas pelo país.

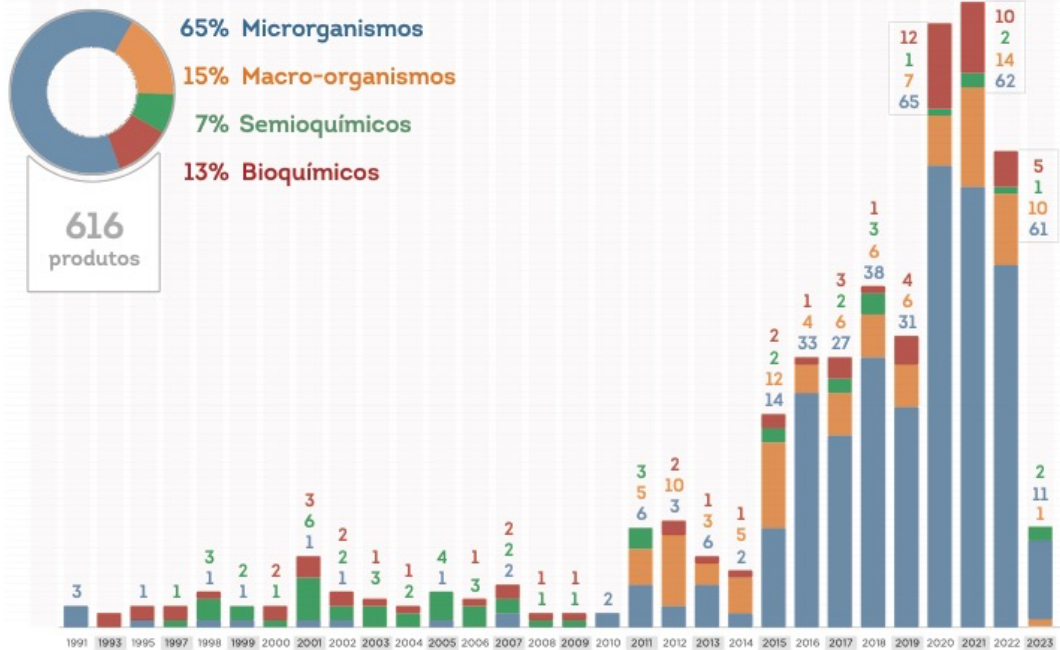
Em maio de 2020, foi lançado oficialmente o Programa Nacional de Bioinsumos através do Decreto Federal nº 10.375, com o objetivo de aproveitar o potencial da biodiversidade brasileira e reduzir a dependência dos produtores rurais em relação aos insumos importados para, conseqüentemente, promover a ampliação da oferta das matérias primas para o setor de bioinsumos (Bortoloti, 2022, p. 58).

Desde então, o registro de produtos fitossanitários para fertilização e Controle Biológico, tanto para uso orgânico quanto para a agricultura tradicional, aumentou consideravelmente. Ressalta-se que a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) lidera a pesquisa de ponta no segmento de bioinsumos e isso já acarretou alguns resultados visíveis, tanto pelo aumento da demanda e como pela disseminação dos benefícios. Para a tecnologia de bioestimulantes, por exemplo, cerca de 50% dos produtores agrícolas brasileiros já fizeram o uso, contra 28% dos produtores da União Europeia, 23% na China e 16% nos Estados Unidos (Gottens, 2023).

5.2 Registro e Regulação.

O Aplicativo Bioinsumos, desenvolvido pelo PNB, atua como instrumento importante no processo de disseminação e fornecimento de informação de qualidade acerca dos produtos biológicos indicados para controle de doenças e para nutrição correta das culturas. Ele é gratuito e disponibiliza o catálogo dos produtos biológicos no país. Em 2024, são mais de 600 produtos biológicos registrados (Figura 7). Pelo fato de os produtos biológicos serem considerados de baixo impacto, podem ter em sua composição extratos biológicos, microbiológicos, bioquímicos e semioquímicos, bem como princípios ativos reguladores do crescimento das plantas.

Figura 7 – Número de Produtos Biológicos Registrados no Brasil de 1991 a 2023



Fonte: CropLife Brasil; MAPA (2023)

É importante salientar que o aumento continuado do registro desses produtos pode resultar em preços mais equilibrados e custos menores para produtores orgânicos e tradicionais. Mas o ambiente legislativo dos insumos biológicos pode ainda sofrer influência de atores importantes, sobretudo quanto ao registro dos produtos, manifestando-se em:

- 1) Lutas políticas nas arenas de interação, o que pode passar a ideia de ameaça dos bioinsumos à dominância dos insumos químicos apoiados pela força agroindustrial, em detrimento de uma coexistência de mercado (Goulet; Hubert, 2020);
- 2) Pressões de representantes de empresas do agronegócio, que se desdobram para de uso dos insumos a agricultores (Le Velly *et al.*, 2023);
- 3) Falta de alinhamento regulatório que defina a separação entre a categoria de insumos alternativos e tradicionais (Goulet, 2021).

Uma tentativa de avanço legal para o setor foi o Projeto de Lei (PL) 658/2021, que trata da produção própria dos bioinsumos nas propriedades rurais, chamada produção *on-farm*, por meio do manejo biológico, observando também a importância da instalação das unidades produtoras de bioinsumos, as biofábricas. O PL ainda ratifica o escopo regulatório do PNB e pretende melhorar o cenário para registro e uso dos produtos.

O registro adequado diante as regras de inspeção para aos bioinsumos é central, uma vez que o processo integral ainda está sujeito à atual “Lei de Agrotóxicos”, que trata predominantemente de pesticidas e fertilizantes químicos tradicionais (Brasil, 2023). Isso impede que haja o registro de bioinsumos que servem para mais de um fim, a exemplo daqueles que são usados para Controle Biológico e estímulo ao mesmo tempo, além de impossibilitar uma gestão diferente e simplificada para insumos que são essencialmente de outra natureza.

Em setembro de 2023, no entanto, aprovou-se na Comissão de Constituição e Justiça do Senado (CCJ) um marco jurídico para bioinsumos nascido da Comissão de Meio Ambiente. O PL 3.668/2021, atualmente em análise pela Câmara dos Deputados, busca efetivar uma maior transição para o uso de bioinsumos em detrimento do uso de agrotóxicos e distingue o registro perante outros tipos de insumos químicos (Magela, 2023). A distinção é feita conforme os tipos de produtores que se encaixam em:

- 1) Biofábricas comerciais, que produzem ou importam insumos biológicos para fins comerciais e cujo registro deve ser em órgão federal responsável pelo tema. Além disso, esse tipo deve apresentar vários requisitos para funcionamento;
- 2) Biofábricas *on-farm*, para produção sem fins comerciais, i.e., para uso próprio e para fazendas de maior escala. Esse tipo conta com cadastro simplificado da propriedade em órgão federal de agricultura. O comércio é proibido e sanções podem ser impostas caso haja descumprimento;
- 3) Unidades de produção, também para consumo próprio, mas em geral para produtores de menor escala, cuja maioria é de Agricultura Familiar.

Além disso, o PL determina alguns ajustes nas normas fiscais e tributárias que gerem o segmento para estimular P&D e comercialização, assim como prevê subsídios e algumas isenções às empresas nacionais, dando prioridade a empresas de pequeno e médio porte e cooperativas. A exemplo disso, o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) pode aplicar taxas de juros menores aos agricultores familiares que comprovarem o uso de bioinsumos.

Mesmo com o escopo legal e regulatório do setor ainda pouco definido, alguns dados podem refletir a atuação do marco regulatório principal de 2020 e de suas ações indutoras. Para os fabricantes de biodefensivos, por exemplo, a alta nos registros possibilitou o aumento da diversificação do portfólio de produtos em 28% e o aumento das orientações sobre o uso correto em 29%. Foi estimada também uma redução dos preços finais em 7% na safra de 2021/2022 (Borsari; Santos; Dias, 2022, p. 26).

Esses dados podem indicar o impacto do PNB e acenam para efetividade de políticas para o ambiente regulatório, com possível aumento de registro e fabricação dos insumos, uma vez decretadas as medidas circunspectas pelos projetos 658/2021 e 3.668/2021. Isso, no entanto, ainda se situaria em um terreno inexato, principalmente diante do contraste com outras regulações existentes no cenário legislativo brasileiro. O art. 10-D do Decreto nº 6.913, de 2009, que dispõe sobre rotulagem de agrotóxicos, por exemplo, isenta produtos fitossanitários para agricultura orgânica de registro (Brasil, 2009).

Além desses, Bortoloti (2022, p. 61) trata de Instruções Normativas (INs) e Atos que deliberam sobre o registro, utilização e tratamento dos bioinsumos. Nessa coleta, fica claro que há diferentes orientações, autorizações, contextos e níveis dentro do ordenamento jurídico brasileiro que tratam dessa categoria. Isso leva a um “evidente conflito de interesses”, refletido pelos tratamentos distintos e pela criação de instrumentos regulatórios que não necessariamente “acomodam o Controle Biológico de forma satisfatória”.

O que se torna nítido é que a maioria das regulações elaboradas não é feita por organizações ou instituições que têm neutralidade política. A relação de poder que envolve o uso e a regulação de agrotóxicos está intimamente ligada aos regimes e instituições alinhadas aos grupos de influência que circulam dentro dos ambientes de tomada de decisão. No debate, permanece de um lado a preocupação com a saúde e com o meio ambiente, aliada aos defensores da diminuição do uso de agrotóxicos e, do outro, os grupos que procuram a flexibilização nas legislações para o uso de agrotóxicos (Bortoloti, 2022).

Entretanto, esse conflito, que pode demonstrar tensões na hierarquia multinível, não é exclusivo do governo e de agências reguladoras. Ele acontece também no interior das empresas do agronegócio e no processo de como acatam e reagem às diversas regulações, gerando limites porosos para a regulação e falta de alinhamentos sociotécnicos entre nicho e regime.

Uma consideração importante é que a categoria de bioinsumos resulta do pareamento entre tecnologias e visões que pertencem aos nichos de alternativas agroecológicas, mas também ao regime agroindustrial. Por isso fazem parte de uma nova arquitetura institucional baseada na lógica de pareamento e fusão. Essa pulverização regulatória, que por vezes divide organizações, atrapalha e arrefece, portanto, o estabelecimento do segmento de bioinsumos enquanto coexistente no regime do setor agrícola (Goulet, 2021).

5.3 Mercado e Volume de Negócios.

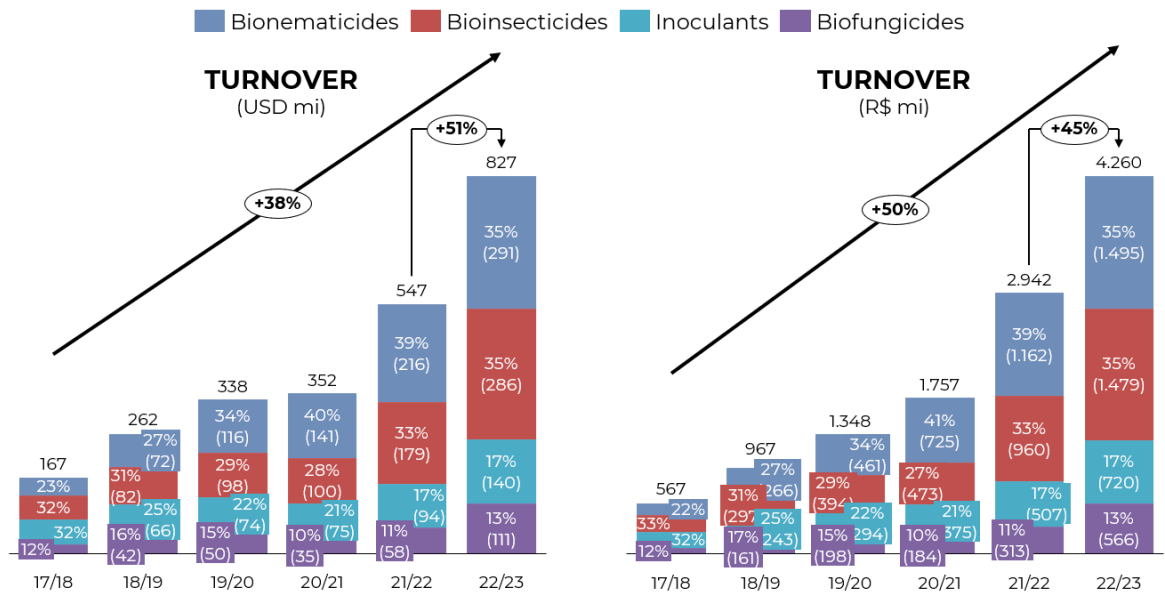
Na safra de 2022/2023, o mercado de bioinsumos no Brasil movimentou \$827 milhões, cerca de R\$ 4,26 bilhões (Figura 8). Em reais, o valor representa um aumento de 45% na comercialização dos produtos em relação à safra de 2021/2022 e demonstra um aumento médio (CAGR) de 50% ao ano na comercialização dos produtos desde a safra de 2017/2018. Para além de ser o maior valor comercializado na série histórica, as taxas de crescimento no setor a partir da safra de 2020, desde quando passou a vigorar o PNB, são próximas de 60% ao ano e trazem maior visibilidade para o segmento.

Isso deixa o Brasil em primeiro lugar no mercado de insumos biológicos da América Latina. Uma diferença notável para os outros países é que, enquanto o uso dos insumos para a produção brasileira é majoritariamente por Controle Biológico e voltado para as lavouras de cana de açúcar, milho, soja e algodão, o uso dos biológicos no México, no Peru e no Chile são primariamente como estimulantes para frutas e leguminosas (Gottems, 2023, p. 96).

Analisando a categoria de produtos, os bionematicidas e bioinseticidas compartilharam a primeira posição do mercado, com a parcela de 35% para cada e vendas por volta de R\$1,4 Bilhão. Em terceiro lugar, estão os bioinoculantes, com 17% de participação e, em quarto, figuraram os biofungicidas, com 13% e cerca de R\$ 560 milhões comercializados. Isso revela uma diferença estrutural nas cadeias produtivas e deixa claro que especificamente no mercado de bioinsumos, a categoria de Controle Biológico figura à frente em relação aos estimulantes.

Figura 8 - Volume de Negócios no Mercado de Insumos Biológicos no Brasil de 2017 a 2023

Indications in %. Basis per Indicators.

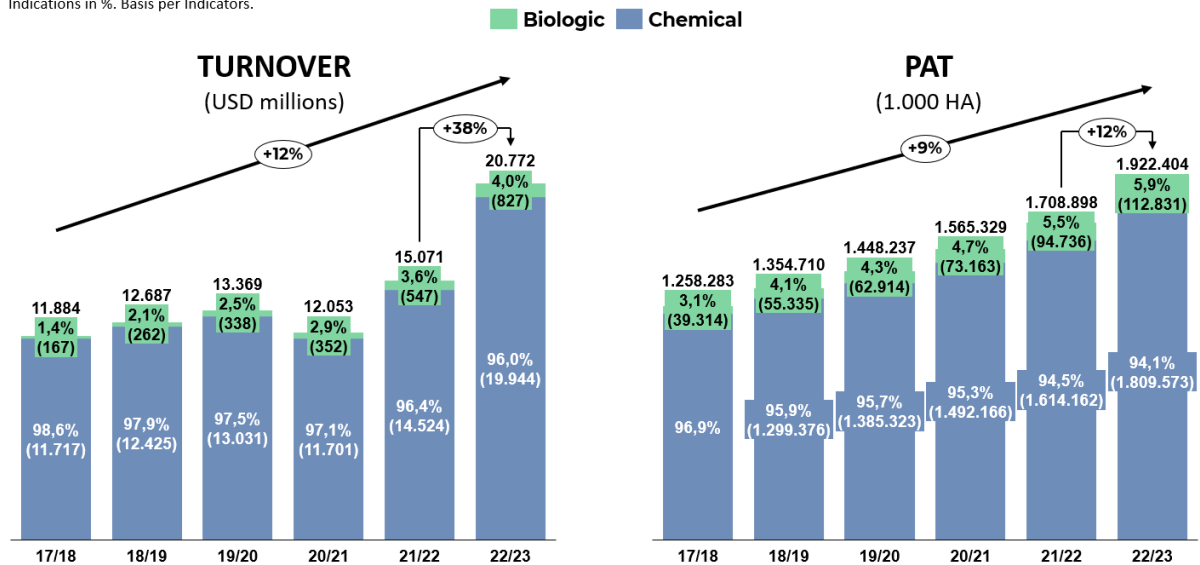


Fonte: Adaptado de Gottems e Alves (2023).

As estimativas do MAPA para o crescimento do segmento são otimistas. Baseando-se na taxa de crescimento média de 50% em reais, acima da média internacional (15%), e considerando redução de custos e intensificação sustentável, acredita-se que em breve o mercado pode atingir 20% do mercado de insumos. Especificamente para defensivos, espera-se que até 2025 o mercado de biopesticidas terá 15% de participação de mercado de defensivos agrícolas e, em 2030, atingirá 50%. Se o mercado se consolidar, o Brasil poderia se tornar o maior produtor e consumidor de bioinsumos do mundo, com benefícios para produtores e consumidores (Gottems, 2023, p. 115).

Figura 9 - Parcela de Defensivos Químicos e Biológicos no Mercado Brasileiro de 2017 a 2023

Indications in %. Basis per Indicators.

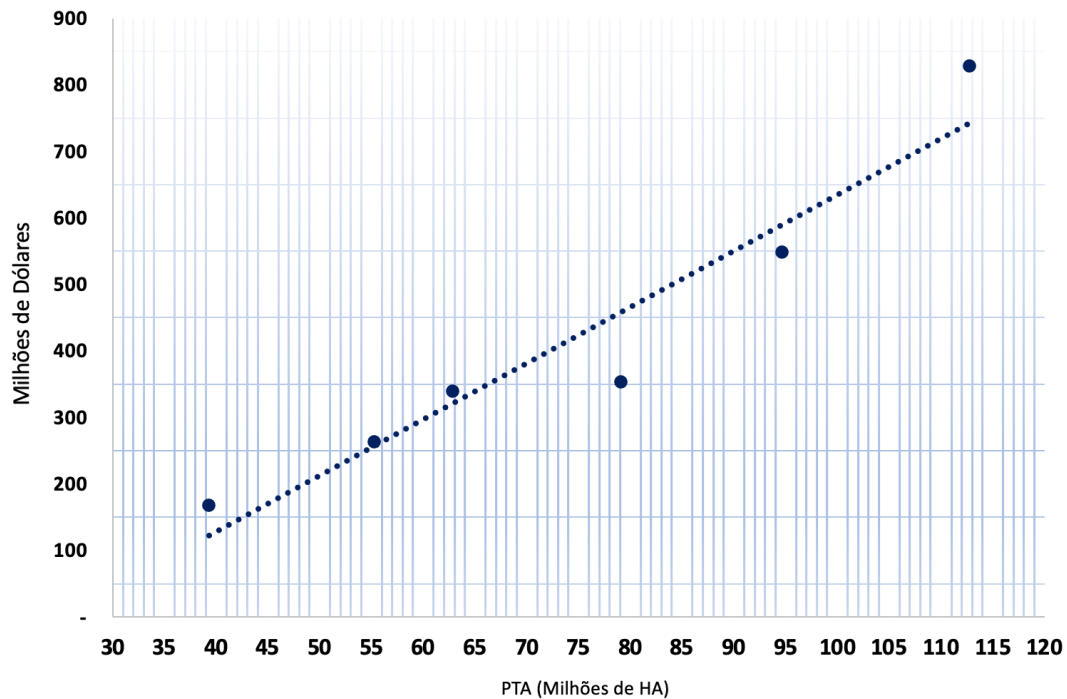


Fonte: (Alves; Gottens, 2023).

A expansão de áreas dedicadas ao uso agropecuário, com uso de inseticidas, adubos sintéticos e monoculturas extensivas, caminha a um passo constante e elevado (Goulet, 2021; Souza; Castilho; Macedo, 2022). Mas mesmo com o crescimento expressivo dos insumos biológicos, o volume de negócios não passa de 4% do total de defensivos agrícolas comercializados no Brasil (Figura 9). Ainda que se chegue a uma correlação positiva entre a Área Potencialmente Tratada (PTA) e o Volume de Negócios (Figura 10), a expansão também se dá como parcela pequena em relação ao mercado de insumos químicos.

Em outras palavras, os bioinsumos ainda fazem parte da minoria do *boom* agropecuário, a despeito de as suas vendas estarem crescendo mais rapidamente que as dos insumos químicos (Goulet, 2021). Surge, diante dessa perspectiva, mais uma ocasião para o uso da hibridização e da incrementarão tecnológica enquanto mecanismos importantes para a ascensão do nicho rumo à coexistência de mercado até se inserir na dominância do regime.

Figura 10 - Correlação entre Área Potencialmente Tratada e Volume de Negócios do Segmento de Bioinsumos



Fonte: Elaboração do autor, com dados da Kynetec. $R^2 = 0,9198$ e $p\text{-valor} = 0,0024$.

Na safra 2022/2023, os bioinsumos preencheram uma área potencial equivalente a 112.831 milhões de HA, sobretudo na região Centro-Oeste (Alves; Gottens, 2023). Em pesquisa realizada para a safra 21/22 pela CropLife Brasil e S&P Global, com dados do Censo Agrícola de 2017, conduzido pelo IBGE, foi constatado que metade dos produtores de bioinsumos acreditam que o segmento vai crescer a uma taxa superior a 20% nos próximos anos. Isso é importante porque considera o lado da oferta. Já entre as principais razões para o aumento da demanda dos produtores por biodefensivos estão i) eficiência de controle ii) durabilidade e vida útil e iii) melhorias na formulação. Esses aspectos se relacionam a medidas sustentáveis e de inovação nas jornadas dos produtores (Koppert, 2023).

5.4 Biofábricas, Estruturas de Oferta e Geolocalização da Produção.

Ressalta-se que as biofábricas, como centros de produção de bioinsumos com garantia de qualidade, são promovidas em modelos de microempresas, e assim, utilizam-se de recursos

locais da região em que estão. Esses recursos incluem fungos, bactérias, leveduras e outros organismos benéficos à fitossanidade. No processo de biorrefinaria, as matérias primas são transformadas em produtos tratados para uso agroecológico. Estando inseridas em sistemas de consumo e produção, elas têm o potencial de servir a vários setores da economia (Soares; Filho; Ventura, 2023).

O PNB, ao visar maior estímulo de produção e consumo dos bioinsumos no território brasileiro, tem como um de seus objetivos o apoio a “processos de incubação de empresas e de pequenos negócios com foco na produção de bioinsumos e na organização de biofábricas” (Brasil, 2020, art. 5). Mesmo que o aumento delas possa proporcionar aumento na comercialização do segmento, com uma maior estrutura de oferta instalada, o mapeamento e monitoramento dessas unidades pode trazer informações relevantes à análise da produção.

As biofábricas também são alvo dos Projetos de Lei 658/2021 e 3.668/2021, diante do potencial para reduzir custos e acabar com a dependência da importação de insumos solúveis. A importância delas é ainda ressaltada por Vidal *et al.*, (2020) ao notar que, entre as vantagens ao produtor, estão a diminuição dos custos da fabricação, do armazenamento e do transporte relativamente à importação ou aquisição do mesmo tipo de produto.

Xavier (2022), a partir de um levantamento de dados, consolidou um diagnóstico de amostra de biofábricas, a fim de certificar a viabilidade do alcance de objetivos do PNB, construindo uma revisão voltada aos seus executores e gestores. Uma vez que a dependência dos produtores diminui no processo de fortalecimento das biofábricas, torna-se menos sujeito à variação cambial e reforça-se a autonomia do setor.

A partir de uma visitação a unidades produtoras, foi proposto um sistema de monitoramento com base nas amostras qualitativas com produtores *in loco* (Xavier, 2022). Constatou-se a necessidade de estímulos à produção *on-farm* e certo grau de aversão ao risco dos produtores, dado que os agentes são mais afetados pelo risco de perda do que por potenciais *payoffs*.

A falta de terreno regulatório delimitado na produção *on-farm* ainda resulta em pouca parametrização e pode refletir na qualidade final dos bioinsumos. Goulet (2021) ressaltava que, além do potencial de reduzir a importação dos insumos solúveis, disparidades sociais entre áreas urbanas e rurais poderiam ser atenuadas com a alavancagem do setor produtivo de bioinsumos para desenvolvimento local por meio desse tipo de produção. Além disso, a

reorganização dos sistemas, onde a produção seria geograficamente mais próxima da demanda e do consumo, encurtaria o processo de logística e geraria menor perda residual nos trajetos.

Um possível gargalo relativamente ao contingente de biofábricas é o patamar de insuficiente de instalação, abaixo de um suposto nível crítico de capital instalado. No final de 2019, havia cerca de 70 biofábricas instaladas no território nacional, sendo que mais da metade era de construção recente, indicando tendência de crescimento mas de nível sub-ótimo instalado (Vidal *et al.*, 2022).

O investimento indutor de um ponto de inflexão, i.e., um *Big Push*, teorizado por Lewis e Rosenshtein-Rodan (Costa Junior, 2009), atuaria nesse caso como impulsionador de mudanças estruturais no setor agroindustrial. A taxa de expansão, a partir desse ponto, rumo ao atingimento crescente de trajetória autossustentável, e então atinge maior escala coordenada. Isso se insere na teoria da armadilha do desenvolvimento ecológico (Oliveira; Lima, 2020) diante da qual um país em desenvolvimento, se deixado ao sabor das forças estruturais, pode não atingir a massa crítica de instalação.

5.5 Organização Empresarial.

O setor de insumos biológicos emergiu a partir de empresas de médio e pequeno porte no estado de São Paulo, na década de 1980, sobretudo estando ligado a instituições de pesquisa em microbiologia e biotecnologia da região. A criação da Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII), em 1990, e da Associação de Empresas Brasileiras de Controle Biológico (ABCBio), em 2007, permeou o desenvolvimento das empresas do ramo. Em meados de 2010 com o crescimento do setor e com a pressão sobre agrotóxicos aumentando, agroquímicas multinacionais começaram a investir em biológicos com a aquisição de empresas locais.

Seguindo um processo de acumulação criativa (Bergek *et al.*, 2013), essas multinacionais capacitaram-se em uma área tecnológica que paulatinamente competia com os próprios produtos tradicionais, sobretudo no caso de pesticidas, instituindo um “dualismo industrial”. Em 2010, no entanto, a aproximação das tecnologias foi decisiva, uma vez que a ABCBio

incluiu empresas agroquímicas como Bayer, Arysta e BASF, ao revés de muitas empresas fundadoras do grupo.

No fim de 2019, a associação CropLife Brasil foi lançada em Brasília unindo as produções industriais de quatro subsetores do setor de insumos: biotecnologia, sementes, pesticidas e Controle Biológico. O propósito era juntar em uma única plataforma a experiência e o histórico de acompanhamento das associações que se envolviam na inovação bioquímica.

Assim, a ABCBio, originalmente dedicada ao desenvolvimento de alternativas aos pesticidas, se fundiu a um grupo maior dominado por tecnologias de ponta do regime agroindustrial sob a bandeira comum da inovação. À medida que a categoria de bioinsumos se empoderou como resultado de um pareamento entre controle biológico e biofertilizantes, um novo estágio de alinhamento aconteceu a nível industrial.

O pareamento entre empresas dos ramos de biotecnologia e química ajudou a fortalecer a coerência do novo sistema sociotécnico: não mais antagonistas, as tecnologias tornaram-se duas facetas de uma única abordagem de gestão agrícola. Isso contribuiu para a identificação dos três tipos de entidades importantes no processo de desbloqueio de alinhamentos: tecnologias; usuários e respectivos interesses; e organizações públicas e privadas, que formam ligações coerentes por terem naturezas similares (Goulet, 2021).

Em dezembro de 2022, foi estabelecida, através da portaria MAPA nº 530, a Rede de Inovação em Bioinsumos. Ela tem como objetivo:

[...] proporcionar a interação entre órgãos e entidades, públicos ou privados, com vistas ao uso de microrganismos no desenvolvimento de soluções para a produção agropecuária, facilitando a conservação e, em especial, o uso da biodiversidade dos diversos biomas brasileiros de forma sustentável (MAPA, 2022, art. 2).

Portanto, a fim de facilitar a comunicação entre as partes interessadas, a Rede terá uma plataforma online de inventários de microrganismos, abertura a inovação, laboratórios multiusuários e informações gerais sobre bioinsumos para expandir produção e uso nas cadeias produtivas. É importante ressaltar que a admissão à Rede, sob a supervisão do MAPA, será aberta a entidades públicas e privadas (Gottens, 2023).

5.6 Crédito e Instrumentos Econômicos.

Na época do lançamento do PNB, as políticas de crédito e incentivos à produção e comercialização de bioinsumos no país eram poucas ou inexistentes (Vidal *et al.*, 2022). Contudo, passou a vigorar, a partir de 2020, o *Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável*, ou Plano ABC+, que incluía incentivo aos bioinsumos em seus eixos estratégicos.

O Plano ABC+ tem instrumentos de estímulo à produção orgânica e de baixo impacto ambiental, como a linha de crédito dedicada e, com isso, a possibilidade de financiamento dos produtores mediante projetos que englobem tecnologias de baixa emissão de carbono. Para se obter o crédito, existe um alto nível de exigência de conformidade com a regulamentação, o que pode explicar desincentivos e a baixa procura para obtenção de recursos do programa, identificada na avaliação de resultados do Plano ABC original, que atuou de 2010 a 2020 (Conceição; Péres, 2024). Atualmente, entre os principais desafios para o Ministério do Planejamento e Orçamento (MPO), que coordena o Plano ABC+, está a desburocratização do crédito ABC junto às instituições bancárias.

A aplicação de isenções fiscais e tributárias em conjunto com a regulamentação de produtos fitossanitários pode catalisar o processo de aumento deles na participação no PIB do agronegócio e no ramo agrícola brasileiro. Proposições assim passariam a considerar fitossanidade e saúde humana como “regra” e criariam espaço, através de políticas regulatórias, para a ampliação do setor (Vidal *et al.*, 2022, p. 562).

Apesar disso, a aplicação de isenções e reduções tributárias sobre bioinsumos ainda é irrisória perante o tratamento dado aos insumos químicos. Por mais que existam tentativas de regulamentação, com o Projeto de Lei 5.359/19, que isenta fabricantes e importadores de biodefensivos dos tributos PIS/Pasep e Cofins (Machado; Moraes, 2022), a base legislativa ainda favorece em grande medida os químicos (Soares; Cunha; Porto, 2020). O PL em questão alteraria o texto da Lei 10.925 (Brasil, 2004), uma das principais legislações que tratam da isenção tributária para agrotóxicos. A proposta atualmente está pendente de aprovação na comissão de Finanças e Tributação da Câmara dos Deputados.

O Plano Safra 2023/2024, ao incentivar o fortalecimento de sistemas sustentáveis de produção, promove a redução do percentual dos juros que incidem sobre produtores que adotem

práticas agrícolas sustentáveis, incluindo custeio e produção de bioinsumos. Mediante comprovação, as taxas de juros para investimentos podem chegar a 7% a.a. (MAPA, 2023).

Para agricultores tanto de grande como de pequena escala, Goulet (2023) identificou a busca pela emancipação produtiva e a intenção de implementar produção *on-farm*, uma vez que consideram tanto insumos químicos como biológicos custosos. A libertação das práticas comerciais de compra e importação também pode trazer autonomia para que os produtores escolham a tecnológica de sua preferência e não fiquem presos às recomendações técnicas de representantes de empresas, uma vez que a venda de químicos é intimamente ligada à sugestão e instrução de vendedores (Compagnone; Golé, 2011).

Além disso, para os agricultores familiares, orgânicos e de menor escala, foi constatada uma queixa sobre acesso insuficiente a pesquisa na área de insumos biológicos. Relatou-se frustração acerca da contenção das tecnologias em laboratórios e centros de pesquisa e, sobretudo, a falta de treinamentos em microbiologia para agricultura sustentável (Goulet, 2023). O potencial de integração de áreas rurais com P&D, no entanto, pode ganhar robustez com o fortalecimento das linhas de crédito, uma vez que segundo dados da Kynetec, os bioinsumos na operação apresentam *Return Over Investment* (ROI) positivo para além da custo efetividade e da eficácia agropecuária no Manejo Integrado de Pestes (Gottens, 2023).

5.7 Importação e Exportação.

Uma vez que a Embrapa possui *know-how* sobretudo no manejo de bactérias *Rhizobium* para inoculação de grãos de soja, abriu-se espaço para a ampliação na pesquisa e exportação da tecnologia. Mesmo sendo o Brasil um dos maiores bancos de microrganismos do mundo (Gottens, 2023), ainda se verifica a dependência externa para a aquisição dos insumos agropecuários.

A importação de insumos em geral é crescente a uma média de 11% desde 2009, como trazido por Bortoloti (2022) sendo que a dependência maior é para os produtos técnicos em relação aos formulados, que têm maior produção doméstica. O aumento do preço da comercialização entra aqui pelo efeito *pass-through*, i.e., repasse da taxa de câmbio aos preços, sujeitando-se novamente a variações cambiais (Amaral; Silva; Leite, 2023).

Para bioinsumos, no entanto, conta-se apenas com bases que detalham produção, importação, exportação e vendas internas de produtos para os segmentos de semioquímicos e microbiológicos. Nesse cenário, a demanda interna pode ser atendida pela produção, sem ser necessário recorrer às importações, porém as exportações ainda são parcas (Figura 11).

Figura 11 - Produção, Importação, Exportação e Vendas de Ingredientes Biológicos Ativos de 2017 a 2019 para o Brasil

	Microbiológicos			Semioquímicos		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Produção Nacional	136 mil	222 mil	327 mil	360	160	139
Importação	35 mil	126 mil	151 mil	8 mil	6 mil	4 mil
Exportação	195	756	5 mil	0	0	0
Vendas Internas	189 mil	328 mil	493 mil	8 mil	6 mil	4 mil

Fonte: Adaptado de Bortoloti (2022, p. 94).

Bortoloti (2022) também chega à noção que o Brasil tem oferta de insumos e produtos maior para países em desenvolvimento e depende mais da importação desde países desenvolvidos. O país exporta somente 1% do montante que importa, sobretudo de Índia, China e Estados Unidos. O papel dos grandes agricultores no aumento das exportações, sobretudo de defensivos biológicos, dada a tecnologia empregada em soja e cana de açúcar em território brasileiro, portanto, também é relevante.

Essa disparidade se reflete no comércio de fertilizantes em geral. Em 2021, para categoria de fertilizantes animais ou vegetais, o Brasil foi o segundo maior importador das américas, com \$21,3 milhões importados e 10,89% do mercado, mas apenas o quinto exportador, com \$6,29 milhões exportados, segundo o Atlas de Complexidade Econômica de Harvard (2024).

6. QUADROS INTERNACIONAIS DE BIOINSUMOS.

6.1 Argentina.

Dado que o uso de insumos químicos, entre fertilizantes e pesticidas, também divide os atores da produção agrícola na Argentina, o potencial de descontinuidade dos bioinsumos, assim como no Brasil, afetou os quadros científicos, políticos e técnicos em vigor no país. Desde 2008, são apoiadas práticas ecológicas a partir da criação da Secretaria de Agricultura Familiar (SAF), que por sua vez foi inspirada na experiência brasileira da década de 1990 (Flexor; Grisa, 2016).

Em 2013, começaram os esforços do Ministério da Agricultura para promover o uso de insumos biológicos a fim de encorajar a emergência de tecnologias inovadoras. Desde a criação da SAF, organizou-se a base de alternativas aos insumos químicos por meio de pesquisas conjuntas com Cuba, país reconhecido no campo de Controle Biológico (Goulet; Hubert, 2020). No entanto, a montagem de políticas foi executada pelo Departamento de Biotecnologia, uma vez que a maioria dos gestores do órgão tem capacitação em biotecnologia, microbiologia e genética, diferentemente da SAF.

O Departamento então passou a administrar o Comitê Assessor de Bioinsumos de Uso Agropecuário (Cabua), à época, um novo dispositivo organizacional para promoção da coexistência de tecnologias. O Cabua atua como órgão regulatório na avaliação e aprovação dos produtos derivados da biotecnologia à medida que visa a ampliação do uso de bioinsumos. Nesse processo, unificaram-se alguns conceitos sob o guarda-chuva dos bioinsumos a fim de provar que i) o setor existe e ii) que há demanda, legitimando o trabalho conduzido.

Também foram feitos esforços para existirem regulações diferentes em relação aos insumos químicos e para tornar o processo de avaliação mais rápido. Mesmo assim, houve disputas conceituais em torno do escopo abrangido: após discussões, mantiveram insumos biológicos e químicos no mesmo nível regulatório. As contestações vêm sobretudo do Serviço Nacional de Saúde e Qualidade Agroalimentar (Senasa), que enfatiza a dificuldade de revisar os processos e argumenta que mesmo os produtos biológicos podem impor riscos sanitários.

Diante da não diferenciação entre as categorias, foi necessário fazer uma adaptação pragmática em relação ao desejo inicial da Cabua de discriminar as infraestruturas regulatórias. Em 2016, a Cabua tratou das diferentes tarifas para registro e, atendendo a pedidos das empresas, propôs a redução de custos de registro dos bioinsumos a 35% do valor de aprovação dos tradicionais, mantendo a regulação existente. Desde então, a Cabua promove a coexistência de ambos, acomodando progressivamente a adaptação das respectivas tecnologias (Goulet; Hubert, 2020).

Ao mostrar que a coexistência dinâmica dos bioinsumos acaba com uma “oposição dicotômica” aos insumos químicos, o Ministério da Agricultura articulou a convergência dos diferentes paradigmas para o setor de insumos agrícolas (Levidow; Birch; Papaioannou, 2013). Ou seja, ainda que os bioinsumos incorporem a ideia de alternativa aos químicos e que tenham apoio de diversos atores, o acompanhamento da emergência de maneira nenhuma se opôs à infraestrutura regulatória, política ou cognitiva (Goulet; Hubert, 2020).

Argumenta-se, ainda, que para instalar permanentemente a alternativa na agenda institucional, os atores devem encará-la como uma continuidade ao regime existente. Para além da convergência (Harianto; Pennings, 1994), a construção de categorias “guarda-chuva”, de complementariedades e de organizações que representem as partes interessadas são os maiores mecanismos de alinhamento ao regime no caso argentino.

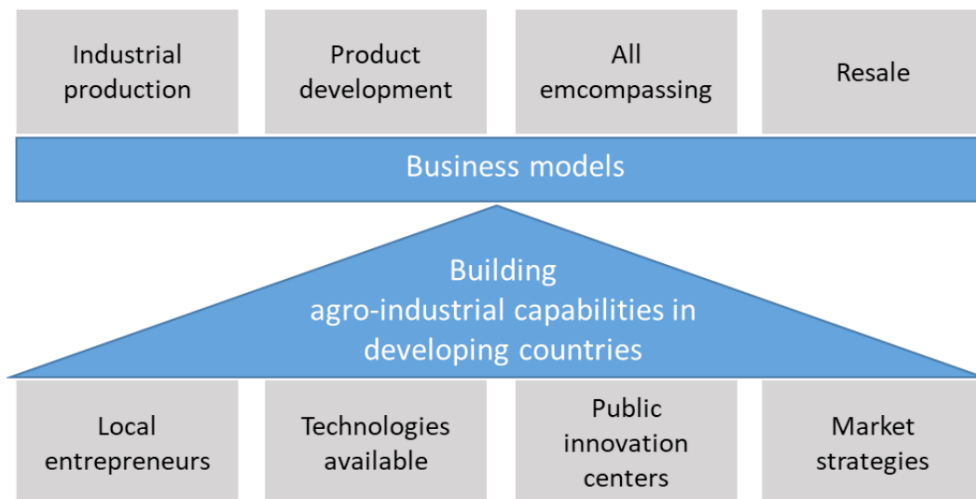
A exploração de empresas nacionais mostra que elas se beneficiaram da demanda global para sistemas agroalimentares sustentáveis com o estabelecimento do segmento de bioinsumos. Hoje, vigora o Programa de Fomento ao Uso de Bioinsumos Agropecuários (Profobio), que dá incentivos financeiros, ainda que parcos, para aquisição e teste de produtos para controle biológico (Le Velly *et al.*, 2023).

Em 2022, havia um número crescente de companhias nacionais no mercado de bioinsumos argentino, o que representava 74% do total de empresas do setor. A maioria delas já estava no mercado há considerável tempo e apresentava perspectiva de crescimento para os anos seguintes, sobretudo devido ao aumento da demanda (Medina; Rotondo; Rodríguez, 2023).

Aspectos contextuais que favoreceram os atores domésticos incluem investimentos privados, uso de tecnologias disponíveis localmente, apoio de centros de inovação públicos e estratégias de mercado assertivas. Quando esses aspectos estão presentes (Figura 12), podem apoiar o desenvolvimento das capacidades agroindustriais em países em desenvolvimento. O

sucesso de empresas nacionais, no entanto, não impede que no futuro haja competição ou aquisição por empresas maiores, o que pode gerar concentração de mercado.

Figura 12 - Fatores que Apoiam o Desenvolvimento das Capacidades Agroindustriais em Países Emergentes



Fonte: (Medina; Rotondo; Rodríguez, 2023, p. 13).

O favorecimento de empresas domésticas inclui o fato que, em geral, empreendedores locais conseguiram o capital necessário para começar os negócios a partir de origens privadas e depois cresceram organicamente. A maioria das companhias nacionais usa tecnologias localmente disponíveis e conta com centros de P&D e universidades para o desenvolvimento de testes de campo.

Enquanto algumas desenvolveram componentes comerciais para atingir os produtores, algumas se especializaram no desenvolvimento de produtos e outras investiram em fábricas para produção em maior escala. Os quatro tipos de negócio principais identificados por Medina *et al.* (2023) foram: foco em desenvolvimento de produtos; produção industrial; revenda; e modelos abrangentes. Mesmo assim, há pouco suporte agroindustrial estruturado pelo governo.

Em 2023, a Senasa anunciou novas regulamentações para registro de bioinsumos, bem como para produção *on-farm*, à medida que, anualmente, o mercado tem crescido 15% e cerca de \$100 milhões são comercializados. Os inoculantes têm maior parte do segmento, com 65%, seguidos por bioestimulantes, bioinseticidas, biofungicidas e biofertilizantes, segundo a Câmara de Sanidade Agropecuária e Fertilizantes (Dinagro, 2023).

6.2 França.

A Federação Nacional de Agricultura Orgânica (FNAB), sendo a maior rede de produtores orgânicos da França, tem repetidamente apontado para o risco da “mudanças de escala” na produção orgânica (Chance; Velly; Goulet, 2018). Apesar de não se opor exatamente ao crescimento do mercado, alerta para o risco de a agricultura orgânica se tornar “convencional”. Sendo assim, tem promovido um modelo de produção que preconiza cadeias produtivas longas, mas ainda consistentes com os valores originais do campo.

Na prática, a FNAB está menos interessada em criar mercados alternativos e mais interessada em educar as autoridades dos mercados agrícolas *mainstream* sobre a certificação orgânica e fitossanitária. Através da publicação guias práticos, da organização de conferências e da assinatura de convenções, o foco tem sido promover práticas que são tanto econômicas quanto agrícolas. Em particular, o órgão criou certificações orgânicas adicionais às que estão em vigor na comunidade europeia (Le Velly *et al.*, 2023).

Para estimular a oferta de insumos biológicos, especificamente, o governo francês configurou mecanismos que promovem a interação entre laboratórios públicos e empresas privadas, a exemplo da criação do Consórcio de Controle Biológico, em 2016 (Aulagnier; Goulet, 2017). Diferentemente da Argentina e do Brasil, na França não há nenhuma forma direta de ajuda financeira. No lugar, o aparato de desenvolvimento agrícola e o Programa *Ecophyto* da rede *Dephy*, que visa promover o uso de produtos fitossanitários, têm ajudado com os meios necessários a trazer notoriedade ao valor dos produtos biológicos (Figura 13).

Figura 13 - Objetivos e Ferramentas da Rede de Pesquisa Dephy



Fonte: Câmara de Agricultura Francesa (2024).

Na França, o desenvolvimento do mercado de biológicos complementa a falta de desenvolvimento *on-farm* dos insumos, mesmo que os apoiadores da agroecologia defendam historicamente essa prática. Eles não apenas demandam o direito dos produtores de se emanciparem da compra de insumos para produzirem a um menor custo, mas também denunciam a tendência industrial de concentrar atividades de P&D em poucas linhagens de fungos e bactérias. Argumenta-se que assim negligenciam o potencial positivo que a biodiversidade pode ter em certos ecossistemas (Le Velly *et al.*, 2023).

Além disso, um acordo assinado em maio de 2024 pelos presidentes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do Instituto Nacional de Pesquisa para Agricultura, Comida e Meio Ambiente da França (Inrae) estabelece uma agenda para cooperação científica dos dois países em nove áreas. O documento especifica um interesse especial para trabalho conjunto em bioinsumos, agricultura de baixo carbono, o que demonstrou afinidade e reforçou a cooperação histórica entre as instituições. Com a projeção de dez anos renováveis, ainda são estabelecidas diretrizes que promovem um arcabouço legal para pesquisa conjunta (Embrapa, 2024).

Em suma, o mercado francês, similarmente ao brasileiro e argentino, é composto por empresas de pequeno e médio porte, guiadas principalmente por empreendedores ligados à atividade acadêmica. Nos últimos anos, muitos grupos agroquímicos tiveram interesse em investir no segmento, criando subsidiárias e departamentos internos, mas sobretudo adquirindo

as empresas já existentes. É importante acrescentar que com a consolidação do segmento e com o desenvolvimento de alianças internacionais visando organização e federação de indústrias de bioinsumos, foi criada em 2016 a aliança *BioProtection Global*, juntando associações nacionais de Controle Biológico, como a associação brasileira ABCBio.

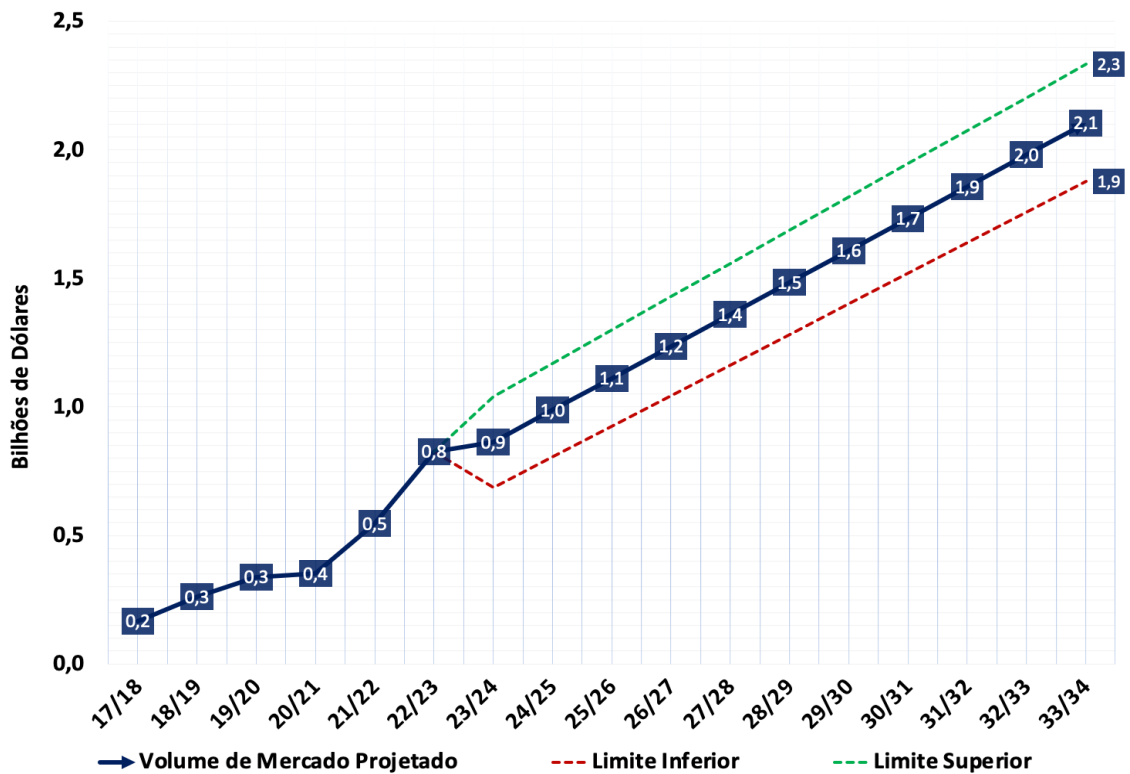
Diante das promessas de aumento de demanda, a indústria e o mercado têm passado por transformações que ajudam no aumento das práticas agroecológicas para além do primeiro ciclo de usuários (os de nicho). Essa guinada, contudo, talvez esteja ocorrendo a um custo de concentração de poder de mercado nas mãos de poucos grupos industriais (Howard, 2021) e isso pode reduzir a diversidade de opções tecnológicas disponíveis aos produtores.

7. PREVISÕES.

7.1 Cenário 1.

O cenário 1 é projetado sob a falta de i) coordenação regulatória e de ii) coordenação tecnológica. Ou seja, não houve coesão entre tecnologias, usuários e organizações nem emprego dos fatores relevantes na inserção tecnológica. O exercício dessas condições estrangula o segmento de bioinsumos e o limita a uma taxa média de crescimento de 12% até 2034: média inferior às identificadas nas safras anteriores. Mesmo assim, se esse comportamento permanecer, o segmento pode atingir \$2,1 bilhões comercializados na safra de 2033/2034 (Figura 14).

Figura 14 - Previsão do Volume de Negócios para o Mercado de Bioinsumos até 2034, em USD – Cenário 1



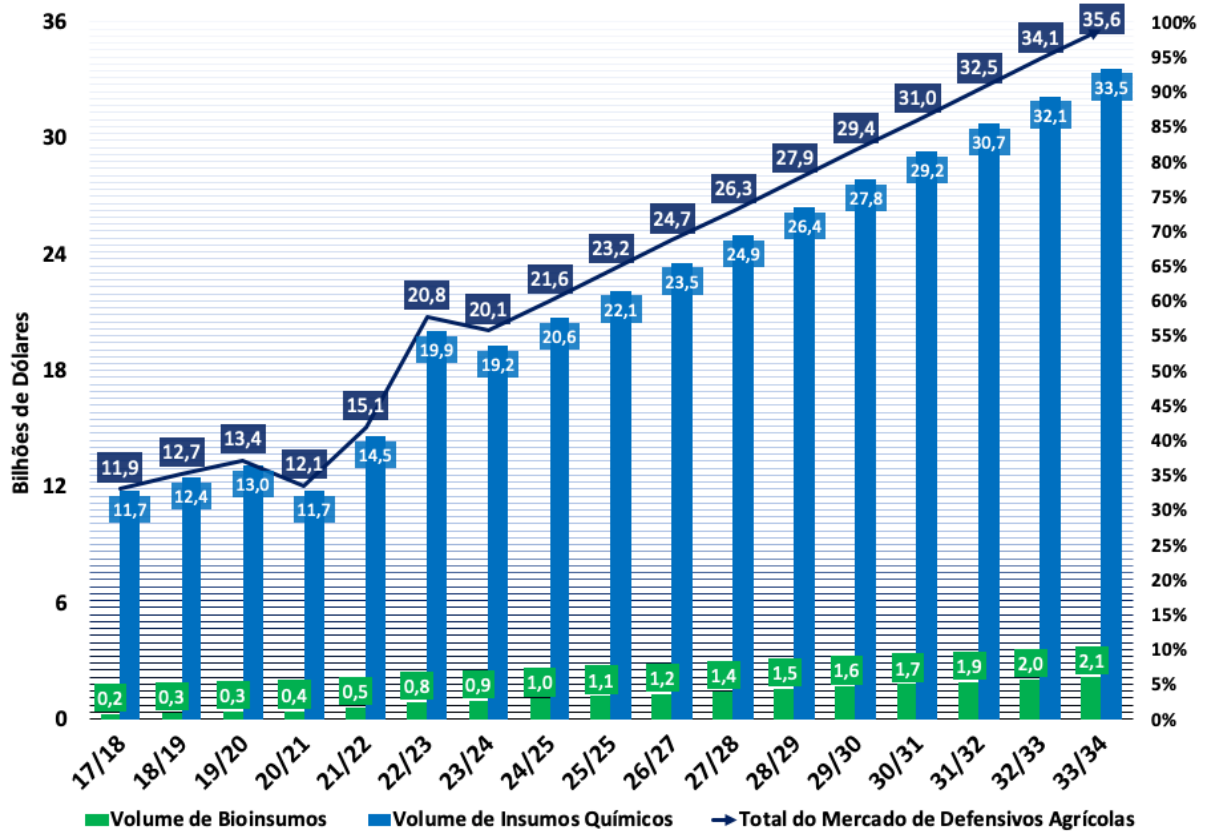
Fonte: Elaboração do autor, com dados da Kynetec (2023). Valores nominais.

Como consequência da falta de coordenação regulatória e tecnológica na dinâmica nicho-regime, o cenário 1 conta com a primazia do setor de insumos químicos enquanto regime dominante sem que haja coexistência com os bioinsumos, que se mantêm como nicho de mercado. Este cenário apresenta, portanto:

- 1) Um crescimento moderado da quantidade de biofábricas, impedindo a ocorrência de economias de escala entre os produtores e o aumento da Área Potencialmente Tratada (PTA), e manutenção da dependência de importação dos insumos agrícolas;
- 2) A permanência de aversão ao risco dos produtores para com produção e uso de bioinsumos; permanência do custo elevado de registro dos bioinsumos em relação aos químicos; manutenção da pulverização regulatória para as classes; desarmonia institucional e conflitos políticos nas arenas de interação;
- 3) Falta de estímulos econômicos, como manutenção de isenções tributárias aos insumos químicos e enfraquecimento de linhas de crédito à classe de bioinsumos.

Ainda que o segmento de bioinsumos possa chegar a \$2,1 bilhões comercializados, passa apenas de 4% a 6% na representação total no setor de insumos agrícolas no Brasil: o regime incumbente não aceitou a inovação mesmo com o crescimento expressivo dos subsegmentos de bioinsumos em termos absolutos. O mercado de insumos químicos, mesmo crescendo a uma média de 7,2% ao ano, taxa inferior à dos bioinsumos, ainda representaria 94% do mercado de insumos para agricultura no Brasil ao final do período de projeção (Figura 15).

Figura 15 - Projeção do Total de Mercado de Insumos Agrícolas até 2034 no Brasil em USD – Cenário 1



Fonte: Elaboração do autor, com dados da Kynetec (2023). Valores nominais.

Um fator determinante à não emancipação do nicho dos bioinsumos, para além da falta de alinhamento, é o baixo grau de tensão no regime dominante, que impossibilitou a existência da coordenação regulatória e da coordenação tecnológica. Ou seja, a pressão político-regulatória, em suas manifestações empresariais e financeiras, mantém a fronteira regime-nicho rígida, e implica falta de pareamentos entre atores e tecnologias, à medida que a coevolução institucional falha.

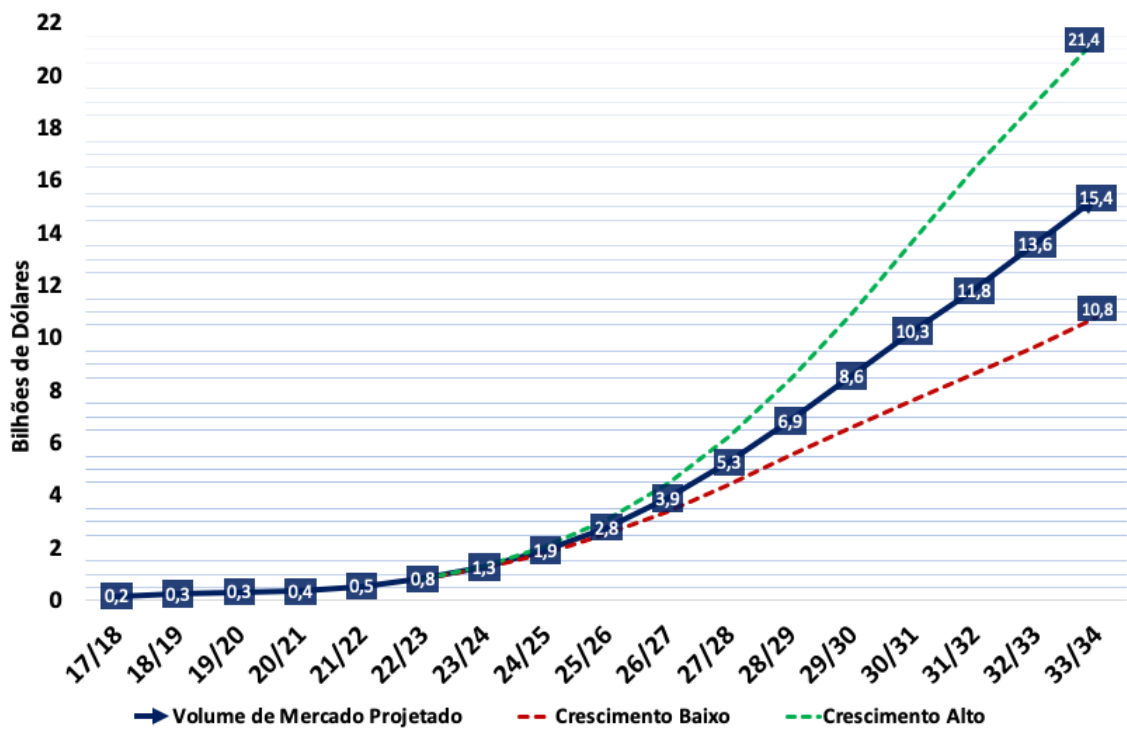
7.2 Cenário 2.

Considerando o estrangulamento visto no cenário anterior, fica evidente a supressão de mecanismos que destravem o caminho para o alinhamento entre regime e nicho, passando pela falta de coordenação e coesão entre atores importantes. O cenário 2, portanto, é projetado sob

a existência i) coordenação regulatória e ii) coordenação tecnológica, com pareamentos e ajustes entre tecnologias, usuários e organizações, que resultará no emprego dos fatores relevantes e subsequentemente no alinhamento regime-nicho.

Caso o segmento dos bioinsumos permaneça com a taxa de crescimento atual para o ano seguinte, 55%, e depois passe a decair 5% ao ano até se estabilizar na mesma taxa de crescimento dos insumos químicos, em 12%, o setor de insumos pode apresentar um grau mínimo de coexistência tecnológica. Dessa forma, o segmento de bioinsumos pode chegar a movimentar \$15,4 bilhões em 2034 (Figura 16).

Figura 16 - Previsão do Volume de Negócios para o Mercado de Bioinsumos até 2034, em USD – Cenário 2



Fonte: Elaboração do autor, com dados da Kynetec (2023).

Assim, este cenário é construído sob a união coerente entre três atores chave no processo de transição agrícola brasileiro: tecnologias (tradicionais e alternativas); usuários (pequenos e grandes); e organizações (públicas e privadas). Assim, o cenário 2 apresenta coordenação tecnológica e regulatória e, portanto:

- 1) Um ambiente jurídico propício, com a regulamentação do PL 3.668/2021, resultando em diferenciação para registro e estímulo à instauração das biofábricas em suas três concepções; como consequência aumento da PTA; redução dos custos privados dos

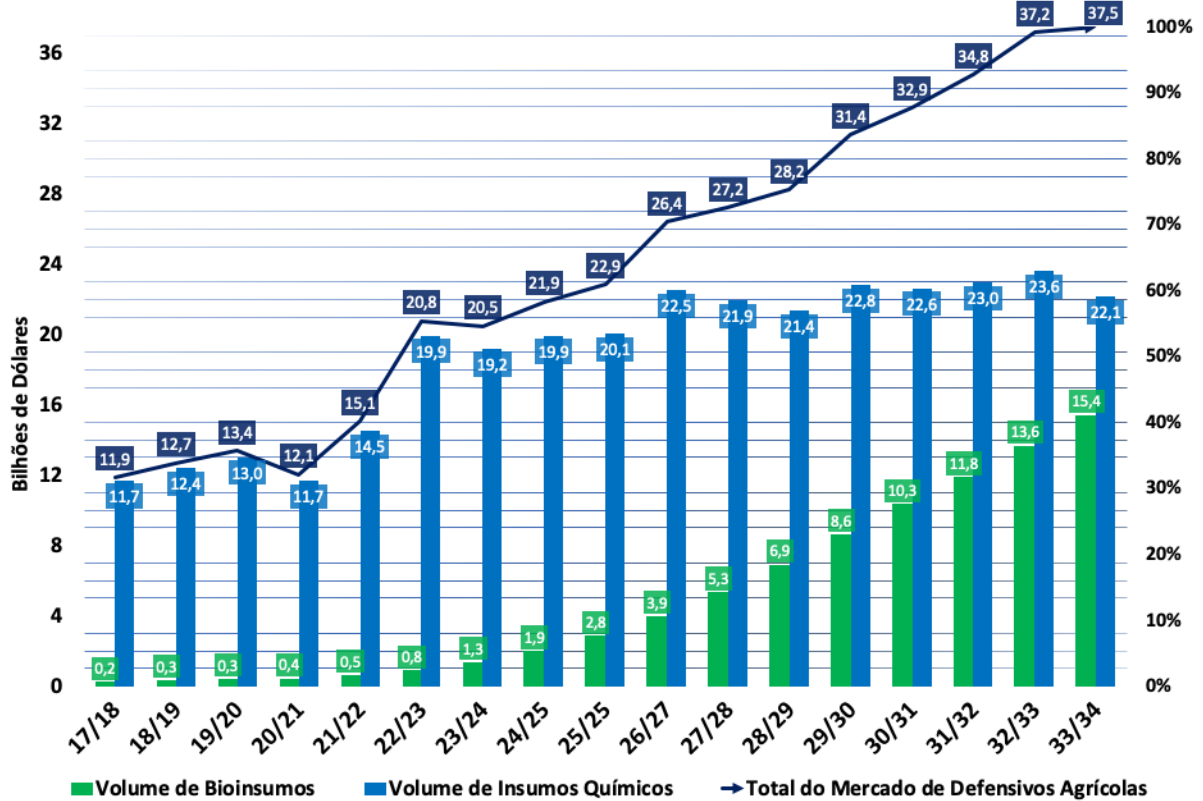
bioinsumos aos agricultores, maior eficiência de controle; maior assistência técnica para a classe; diminuição da dependência de importação e aumento do contingente exportado de insumos biológicos;

- 2) A redução do contraste¹ entre as tecnologias, traduzindo-se em menos pulverização regulatória, i.e., menor aversão ao risco para produtor, maior amparo legal à classe e custo de registro de bioinsumos competitivo em relação aos químicos;
- 3) Regulamentação de marcos jurídicos que aumentem os incentivos econômicos, como o PL 5.359/19, conferindo isenções fiscais e tributárias à classe de bioinsumos; maior volume de linhas de crédito para produtores incipientes; fim ou redução das isenções tributárias para comercialização, importação e exportação de insumos químicos.

O setor de insumos agrícolas no Brasil cresceu, de 1996 a 2023, a uma taxa média de 15% ao ano (CEPEA, 2024a). A fim de acomodar a estabilização das tecnologia biológicas como coexistentes no regime, caracterizando um alinhamento, basta que o segmento dos bioinsumos cresça a uma taxa maior que o segmento dos químicos, o que já foi registrado (Borsari; Santos; Dias, 2022; Bortoloti, 2022; Gottems, 2023; Goulet, 2021). A Figura 17 mostra a possibilidade dessa coexistência tecnológica.

¹ Redução de contraste não implica uma única lei que delibere sobre insumos biológicos e químicos, mas menos embate e mais assertividade no processo de regulamentação.

Figura 17 - Projeção do Total de Mercado de Insumos Agrícolas até 2034 no Brasil em USD – Cenário 2



Fonte: Elaboração do autor, com dados da Kynetec (2023) e CEPEA (2024a).

Neste cenário, a média de crescimento do setor de insumos agrícolas (soma dos segmentos) é de aproximadamente 8% ao ano. A média do segmento dos químicos é de 5% ao ano e a média de crescimento dos bioinsumos é de 33% ao ano. As três taxas médias são conservadoras em relação às observadas respectivamente para cada série histórica e respeitam o limite de crescimento do setor observado desde 1996. Por isso, o cenário 2 se estabelece como possível. Enfatiza-se que nele a coexistência entre as tecnologias é nítida: os bioinsumos passam a representar 40% do mercado de insumos agrícolas e os químicos se contraem a 60%. O regime dominante não apresenta uma tecnologia hegemônica, mas opera com hibridização e incrementação tecnológica porque deu abertura ao fenômeno da coexistência. O esforço estratégico de organizações encarregadas da governança de transição deve ser, portanto, direcionado à implementação do mecanismo de hibridização como indutor de alinhamentos.

8. CONCLUSÕES.

Este trabalho buscou explorar razões pelas quais o segmento de bioinsumos no Brasil ainda é um nicho de mercado, apesar de ter crescido expressivamente nos últimos anos. Barreiras como pulverização regulatória, contraste tecnológico, procedimentos confusos de registro e falta de incentivos econômicos foram identificados como empecilhos à emancipação do segmento. Por outro lado, facilitadores como o arcabouço do Programa Nacional de Bioinsumos, fortalecimento de associações como a CropLife Brasil, aumento da demanda por agricultura alternativa, estímulos financeiros e tributários, ação estatal e coesão entre componentes chave podem atuar no alinhamento entre regime e nicho e desbloquear a transição sociotécnica rumo à sustentabilidade no ramo agrícola brasileiro.

A análise dos cenários preditivos mostrou que é possível que o segmento de bioinsumos rompa a barreira de nicho e atinja um patamar consolidado de coexistência com os insumos químicos no regime sociotécnico dos insumos agrícolas. As duas tecnologias podem compartilhar uma dinâmica 40-60% de mercado e, como consequência, pode-se favorecer o Manejo Integrado de Pestes (MIP) e a agricultura alternativa, diminuindo níveis de degradação do solo e contaminação de corpos hídricos, reduzindo emissões de CO₂ relativas aos insumos agrícolas e aumentando a custo-efetividade de produtores de grande e pequena escala.

Para que isso aconteça, no entanto, é preciso coesão entre componentes chave no processo de inserção, nomeadamente entre i) os dois tipos de tecnologia; ii) os produtores e usuários de bioinsumos em grande e pequena escala; e iii) as organizações que regulam e operam o mercado de biológicos. Caso esses ajustes sejam coerentes, haverá coordenação tecnológica e regulatória e o emprego de fatores importantes, como coerência institucional, assertividade e concisão regulatória e estímulos econômicos, como fim ou redução de isenções tributárias a agrotóxicos e fortalecimento de crédito para bioinsumos. Essa coordenação favorece o alinhamento entre nicho e regime incumbente, que, em última instância, é justamente o que determina o sucesso da transição.

A coordenação, por sua vez, é que torna os alinhamentos robustos. A partir dessa robustez, permite-se a coevolução de tecnologias, organizações, instituições, usuários e práticas dentro desse Sistema Produção e Consumo (CPS) mais sustentável. No caso dessa transição

sociotécnica no agronegócio brasileiro, insumos biológicos podem se estabelecer como tecnologias legítimas para agricultura devido à coerência entre componentes chave.

A presente análise mostrou que um fator importante para a coordenação regulatória é a coerência sobre o tratamento das classes de insumos. Uma legislação que trate especificamente de defensivos biológicos, a regulamentação das biofábricas e a diminuição da pulverização regulatória podem exercer esse papel. Contudo, os conflitos de interesse que permeiam as casas legislativas brasileiras ainda trazem viscosidade ao processo e requerem atenção. Com a coordenação regulatória, ainda, a fortificação das estruturas de oferta pode reduzir custos e possibilitar o investimento em economias de escala, levando a uma maior custo-efetividade e produtividade do uso de biológicos, para além do corte de benefícios crônicos aos agrotóxicos. À medida que mais empresas entram no mercado e a competição se intensifica, o potencial para redução de preços se torna ainda maior.

Já a coordenação tecnológica depende da relação entre empresas, usuários e produtores, incluindo industriais e de pequena escala. Essa coordenação depende, ainda, do diálogo entre atores importantes no processo, como representantes de empresas do agronegócio. Essa observação não é única aos insumos alternativos, uma vez que a venda de insumos químicos está ligada à atividade de assessoria técnica. Isso pode ser um obstáculo às transições agroecológicas, uma vez que representantes de vendas dão orientações e promovem os insumos químicos aos produtores, para além da pressão política latente nas casas legislativas. A emancipação de produtores pode, portanto, alavancar a adoção de práticas mais sustentáveis e fortalecer a transição a partir da venda de bioinsumos.

Por outro lado, a coesão entre organizações públicas e privadas no ato de promover, produzir e supervisionar os insumos biológicos também é fundamental, principalmente se houver fortalecimento de associações como a CropLife Brasil e a Rede de Inovação em Bioinsumos e de organizações de pesquisa, como a Embrapa. Assim, organizações antes separadas e distantes podem aproximar-se e contribuir para a coevolução tecnológica e institucional, aumentando a oferta e colaborando com a inovação no segmento.

Ressalta-se que é imprescindível monitorar o desenvolvimento de tecnologias alternativas para analisar transições para uma agricultura sustentável e baixa em uso de pesticidas e fertilizantes químicos, dado o valor dos nichos enquanto “incubadoras”. Entretanto, o alinhamento dos bioinsumos sugere que é importante atentar-se a mecanismos de direção regime-nicho para além da direção nicho-regime, porque a hibridização pode não acontecer

apenas pela vontade dos atores de nicho, mas pelas iniciativas dos atores dos regimes. Isso revela o papel nevrálgico do Estado em desenhar mecanismos institucionais que estimulem o crescimento de mercados sustentáveis mantendo a efetividade econômica dos regimes dominantes e em promover a articulação necessária para que os regimes se abram a inovações.

A coexistência evita a desestabilização do regime para continuar apoiando tecnologias inovadoras como estratégia de manutenção de emprego para lidar com a destruição criativa das inovações radicais. Enfatiza-se também a importância da ação estatal na construção de mercados e na difusão de práticas agroecológicas, bem como na busca por inovação e desenvolvimento tecnológico. Isso porque na observação dos mercados de bioinsumos brasileiro, argentino e francês, foi identificada a influência das infraestruturas de certificação, dos procedimentos de regulação e das redes de distribuição. Todos sob influência estatal direta ou indireta.

Para além disso, há oportunidades para investimentos domésticos e estrangeiros em setores agroindustriais mais sustentáveis sobretudo em países emergentes que, em regra, são mais sensíveis ao desenvolvimento do agronegócio. Ao beneficiar-se dessas oportunidades, o Brasil, em sendo um país emergente, pode ir além da produção primária de *commodities* e incrementar as capacidades industriais. O potencial de menor dependência de importação de insumos e maior exportação de produtos e tecnologias biológicos é, portanto, real e contumaz.

Um aspecto que pode ser abordado em pesquisa futura, no entanto, é justamente a quantificação desse potencial de exportação. Uma vez que há falta de bases domésticas que tratem do contingente exportado e importado de bioinsumos, o encaixe em modelos de trocas comerciais e matrizes insumo-produto se distancia. Espera-se que essa limitação possa ser abordada futuramente para contribuir para prognósticos de mercado e renda. Uma investigação sobre qual deve ser a quantidade demandada ou a redução de preços necessária para se atingir o ponto de inflexão, i.e., a alçada do segmento a outro patamar, também seria enriquecedora.

Outro ponto de atenção a partir do desenvolvimento de empresas no ramo biológico é o risco de concentração de mercado a partir de grandes aquisições ou fusões de multinacionais. Isso pode diminuir opções tecnológicas disponíveis aos produtores. Mais uma vez revela-se a importância da regulamentação, supervisão e construção de mercados por instituições fortes, coesas e próximas. Contudo, informações sobre pequenas empresas brasileiras do ramo biológico também são escassas, dificultando o detalhamento de mercados por região.

Com a análise, fica evidente que o processo de transição, apesar de ter eixos econômicos importantes e grande participação de organizações privadas, não foge ao seu âmbito político. Decorre da ação institucional coordenada a formação de ambientes propícios à emergência de inovações que tragam consigo desenvolvimento socioeconômico. No caso das transições sociotécnicas para a sustentabilidade, ações estratégicas, coesas e assertivas podem gerar o alinhamento necessário entre regime e nicho e alavancar a coevolução tecnológica, para que então se possa influenciar a paisagem sociotécnica vigente e torná-la mais sustentável.

9. REFERÊNCIAS.

ACEMOGLU, Daron; ROBINSON, James A. **Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty**. 1ªed. New York, NY: Crown Business, 2013.

AGOSTINETTO, Lenita *et al.* O uso dos agrotóxicos e a exposição humana e ambiental. *In*: VERISSIMO, Mario Alvaro Aloisio; MOREIRA, Patrícia; GINDRI, Diego Medeiros. **Sanidade Vegetal: Uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**. 1ªed. Florianópolis: CIDASC, 2020. p. 182–193.

ALENCAR, Ane *et al.* **Estimativa de Emissões de Gases do Efeito Estufa dos Sistemas Alimentares no Brasil**. [S. l.]: SEEG, 2023.

ALLAN, Bentley; LEWIS, Joanna I.; OATLEY, Thomas. Green Industrial Policy and the Global Transformation of Climate Politics. **Global Environmental Politics**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 1–19, 2021.

ALLEN, P. M.; STRATHERN, M.; BALDWIN, J. S. Complexity and the limits to learning. **Journal of Evolutionary Economics**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 401–431, 2007.

ALVES, Lucas; GOTTEMS, Leonardo. **Bioinputs market moves \$827 million in Brazil**. [S. l.], 2023. Agropages: Agricultural News. Disponível em: <https://news.agropages.com/News/NewsDetail---48136.htm>. Acesso em: 16 abr. 2024.

AMARAL, Stefan Silva; SILVA, Igor Ézio Maciel; LEITE, Fabrício Pitombo. Pass-through cambial no Brasil: pressão de custos em uma abordagem insumo-produto. **Nova Economia**, [s. l.], v. 33, p. 475–502, 2023.

ANAND, Sudhir; SEN, Amartya. Human Development and Economic Sustainability. **World Development**, [s. l.], v. 28, n. 12, p. 2029–2049, 2000.

ANDERLE, Rodrigo Volmir. Modern evolutionary economics. **Revista Brasileira de Inovação**, [s. l.], v. 19, p. e020007–e020007, 2020.

ANDERSEN, Allan Dahl *et al.* Building multi-system nexuses in low-carbon transitions: Conflicts and asymmetric adjustments in Norwegian ferry electrification. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2207746120, 2022.

AULAGNIER, Alexis; GOULET, Frédéric. Des technologies controversées et de leurs alternatives. Le cas des pesticides agricoles en France. **Sociologie du travail**, [s. l.], v. 59, n. 3, 2017. Disponível em: <http://journals.openedition.org/sdt/840>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BERGEK, Anna *et al.* Technological discontinuities and the challenge for incumbent firms: Destruction, disruption or creative accumulation?. **Research Policy**, [s. l.], v. 42, n. 6–7, p. 1210–1224, 2013.

BORSARI, Amália; SANTOS, Clotilde; DIAS, Rita. **Sumário Executivo Biodefensivos: Mercado Brasileiro | Safra 2021/22**: S&P Global Commodity Insights. [S. l.: s. n.], 2022.

BORTOLOTTI, Gillyene. **Características da inserção dos bioinsumos para controle biológico no mercado fitossanitário brasileiro**. 2022. Mestrado - Instituto Biológico, São Paulo, 2022. Disponível em: <http://repositoriobiologico.com.br/jspui/handle/123456789/1190>. Acesso em: 21 nov. 2023.

BOULDING, Kenneth. The Economics of the Coming Spaceship Earth. *In*: JARRET, Henry. **Environmental Quality in a Growing Economy**. 1ªed. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1966. (Resources for the Future). p. 3–14.

BRASIL. Atos do Poder Legislativo. Decreto Nº 6.913, de 23 de julho de 2009. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, n. 6.913, p. 8, 2009. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2009/decreto-6913-23-julho-2009-589883-norma-pe.html>. Acesso em: 5 maio 2024.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, p. 105, maio de 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm. Acesso em: 4 maio 2024.

BRASIL. Poder Legislativo. Lei Nº 10.925, de 23 de julho de 2004. Reduz as alíquotas do PIS/PASEP e da COFINS incidentes na importação e na comercialização do mercado interno de fertilizantes e defensivos agropecuários e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, n. 10.925/2004, p. 1, 2004. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2004/lei-10925-23-julho-2004-533112-norma-pl.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Lei Nº 13.123, de 20 de maio de 2015. Dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, v. 95, n. 12.123/2015, p. 1, 5 out. 2015.

BRASIL. Atos do Poder Legislativo. Lei Nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, v. 246, n. 14.785, p. 28, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14785.htm. Acesso em: 5 maio 2024.

BRUNDTLAND, G. H. *et al.* **Our common future: by world commission on environment and development**: Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford: United Nations, 1987. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/000764409>. Acesso em: 17 jun. 2024.

CALLON, Michel. **Markets in the making: rethinking competition, goods, and innovation**. Brooklyn, New York: Zone Books, 2021. (Near futures).

CECHIN, Andrei Domingues; VEIGA, José Eli da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Brazilian Journal of Political Economy**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 438–454, 2010.

CEPEA. PIB do Agronegócio Brasil. PIB do Agronegócio Brasileiro CEPEA/ESALQ/USP, , 2024a. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Diante%20disso%2C%20o%20PIB%20do,trimestres%20reverteram%20a%20tend%C3%Aancia%20positiva. xlsx>

CEPEA. **PIB-Agro/CEPEA: Produção agrícola cresce, mas queda de preço leva PIB agro a cair 3%**. [S. l.], 2024b. Desenvolvimento de Sites. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-agro-cepea-producao-agricola-cresce-mas-queda-de-preco-leva-pib-agro-a-cair-3.aspx>. Acesso em: 5 jul. 2024.

CHAMBRES D'AGRICULTURE FRANÇAISE. **DEPHY - Ecophyto**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://chambres-agriculture.fr/recherche-innovation/dephe-ecophyto/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CHANCE, Quentin; VELLY, Ronan Le; GOULET, Frédéric. How to influence the trajectory of organic agriculture's development when you are not in the driver's seat? The case of the French National Federation of Organic Farming. **Open Agriculture**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 632–643, 2018.

CHANDLER, A. D. **The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business**. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1977.

COMPAGNONE, Claude; GOLÉ, Sylvain. The reconfiguration of advisory social space in agriculture: A case study on pesticide use advice in Burgundy vineyards. **Cahiers Agricultures**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 400–405, 2011.

CONCEIÇÃO, Rodrigues da; PÉRES, Júnia Cristina. **Principais obstáculos enfrentados pela agricultura familiar para sua participação no plano ABC+**. [S. l.]: Texto para Discussão, 2024. Working Paper. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/290135>. Acesso em: 20 maio 2024.

CONTERATTO, Caroline *et al.* Biorefinery: A comprehensive concept for the sociotechnical transition toward bioeconomy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 151, p. 111527, 2021.

COSTA JUNIOR, Leopoldo. **A dinâmica da mudança estrutural e o dualismo econômico: uma leitura pasinettiana de Arthur Lewis**. 2009. Dissertação de mestrado - Universidade de Brasília, [s. l.], 2009. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/2196>. Acesso em: 20 maio 2024.

- CROPLIFE BRASIL; MAPA. **Produtos Biológicos Registrados**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/publicacoes/produtos-biologicos-registrados/>. Acesso em: 5 maio 2024.
- DALY, Herman E. **Ecological Economics and Sustainable Development. Selected Essays of Herman Daly**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2007.
- DALY, Herman. **Sustainable Development: Definitions, Principles, Policies**. Washington, DC: World Bank, 2002.
- DEMARIA, Federico *et al.* What is Degrowth? From an Activist Slogan to a Social Movement. **Environmental Values**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 191–215, 2013.
- DESTATTE, Philippe. Foresight: A major tool in tackling sustainable development. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 77, n. 9, p. 1575–1587, 2010.
- DESTATTE, Philippe. The construction of a foresight process model based on the interest in collective knowledge and learning platforms. [s. l.], 2009.
- DIAS, Alessandro Custódio *et al.* Conhecimento e percepção de risco dos trabalhadores rurais expostos a agrotóxicos em Teixeiras/MG: um estudo transversal. **Revista Médica de Minas Gerais**, [s. l.], v. 33, 2023. Disponível em: <https://rmmg.org/artigo/detalhes/3972>. Acesso em: 5 jul. 2024.
- DINAGRO. Mercado de bioinsumos cresce 15% ao ano na Argentina. *In*: AGRIBRASILIS - INSIDE AGRIBUSINESS. 25 out. 2023. Disponível em: <https://agribrasilis.com/2023/10/25/mercado-de-bioinsumos1/>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982.
- DOSI, Giovanni; NELSON, Richard R. An introduction to evolutionary theories in economics. **Journal of Evolutionary Economics**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 153–172, 1994.
- EMBRAPA. **Brazil and France to conduct joint agricultural research in nine areas**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/89408994/brasil-e-franca-farao-pesquisas-agricolas-conjuntas-em-nove-areas>. Acesso em: 21 jun. 2024.
- FAO. **Agri-food solutions to climate change**. [S. l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cc8055en>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- FAO (org.). **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
- FLEXOR, Georges; GRISA, Catia. Contention, ideas, and rules: the institutionalization of family farm policy in Brazil. **Canadian Journal of Latin American and Caribbean Studies / Revue canadienne des études latino-américaines et caraïbes**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 23–37, 2016.
- GAZZANI, Flavio. Economic and Environmental Evaluation of Nitrogen Fertilizer Taxation: A Review. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 1829–1834, 2017.
- GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, [s. l.], v. 31, n. 8–9, p. 1257–1274, 2002.
- GEELS, Frank W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 24–40, 2011.
- GEELS, Frank W.; KERN, Florian; CLARK, William C. Sustainability transitions in consumption-production systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2310070120, 2023a.
- GEELS, Frank W.; KERN, Florian; CLARK, William C. System transitions research and sustainable development: Challenges, progress, and prospects. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2206230120, 2023b.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. [S. l.]: Harvard University Press, 1971. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.4159/harvard.9780674281653/html>. Acesso em: 15 jun. 2024.

GINDRI, Diego Medeiros; MOREIRA, Patrícia Almeida Barroso; VERISSIMO, Mario Alvaro Aloisio. **Sanidade Vegetal: Uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**. 1st. ed. [S. l.: s. n.], 2020.

GOTTEMS, Leonardo. 2023 Latin America Focus. **Agropages**, [s. l.], p. 1–65, 2023.

GOULET, Frédéric. Characterizing alignments in socio-technical transitions. Lessons from agricultural bio-inputs in Brazil. **Technology in Society**, [s. l.], v. 65, p. 101580, 2021.

GOULET, Frédéric. On-farm agricultural inputs and changing boundaries: Innovations around production of microorganisms in Brazil. **Journal of Rural Studies**, [s. l.], v. 101, p. 103070, 2023.

GOULET, Frédéric; HUBERT, Matthieu. Making a Place for Alternative Technologies: The Case of Agricultural Bio-Inputs in Argentina. **Review of Policy Research**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 535–555, 2020.

GOULET, Frédéric; VINCK, D. Innovation through Withdrawal Contribution to a Sociology of Detachment. **Revue Française de Sociologie**, [s. l.], v. 53, n. 2, p. 117–146, 2012.

HALLEGATTE, Stéphane; HOURCADE, Jean-Charles; DUMAS, Patrice. Why economic dynamics matter in assessing climate change damages: Illustration on extreme events. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 62, n. 2, p. 330–340, 2007.

HARIANTO, Farid; PENNING, Johannes M. Technological convergence and scope of organizational innovation. **Research Policy**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 293–304, 1994.

HARVARD KENNEDY SCHOOL; GROWTH LAB. **The Atlas of Economic Complexity by**

@HarvardGrwthLab. [S. l.], 2024. Disponível em:

<https://atlas.cid.harvard.edu/explore/geo?year=2021&country=undefined&queryLevel=undefined&tradeDirection=import&productClass=HS&product=1017&target=Product&partner=undefined&startYear=undefined>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HEIDENREICH, Martin; KOSCHATZKY, Knut. Regional Innovation Governance. *In: HANDBOOK OF REGIONAL INNOVATION AND GROWTH*. [S. l.]: Edward Elgar Publishing, 2011. Disponível em: <https://www.elgaronline.com/display/edcoll/9781848444171/9781848444171.00061.xml>. Acesso em: 28 maio 2024.

HERMAN-PILLATH, Carsten. The evolutionary approach to entropy: Reconciling Georgescu-Roegen's natural philosophy with the maximum entropy framework. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 70, n. 4, p. 606–616, 2011.

HESS, David J. Energy democracy and social movements: A multi-coalition perspective on the politics of sustainability transitions. **Energy Research & Social Science**, [s. l.], v. 40, p. 177–189, 2018.

HODGSON, Geoffrey M. **Conceptualizing Capitalism: Institutions, Evolution, Future**. Chicago (Ill.): University of Chicago Press, 2015.

HOWARD, Philip H. **Concentration and Power in the Food System**. London: Bloomsbury Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5203342>. Acesso em: 21 jun. 2024.

JOHNSON, Francis X.; SILVEIRA, Semida. Pioneer countries in the transition to alternative transport fuels: Comparison of ethanol programmes and policies in Brazil, Malawi and Sweden. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, [s. l.], v. 11, p. 1–24, 2014.

KEMP, René; RIP, Arie; SCHOT, Johan. Constructing Transition Paths Through the Management of Niches. *In: GARUD, Raghu; KARNØE, Peter (org.). Path Dependence and Creation*. [S. l.]: Psychology Press, 2001. p. 269–299. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/constructing-transition-paths-through-the-management-of-niches>. Acesso em: 16 dez. 2023.

KOPPERS. **Pesquisa da CropLife Brasil, em parceria com a S&P Global, destaca o crescimento do mercado de bioinsumos na última safra | Koppers Brasil**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.koppers.com.br/centro-de-informacoes/noticias/pesquisa-da-croplife-brasil-em-parceria-com-a-sp-global-destaca-o-crescimento-do-mercado-de-bioinsumos-na-ultima-safra/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

KUHN, T. S. **The structure of scientific revolutions**. University of Chicago Press: Chicago, 1962.

LE VELLY, Ronan *et al.* When Markets Make Agroecologies: Empirical Evidence from Downstream and Upstream Markets in Argentina, Brazil and France. **Journal of Innovation Economics & Management**, Louvain-la-Neuve, v. 42, n. 3, p. 21–42, 2023.

LEPPÄNEN, Taru; LIEFFERINK, Duncan. Agenda-setting, policy formulation, and the EU institutional context: The case of the Just Transition Fund. **European Policy Analysis**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 51–67, 2022.

LEVIDOW, Les; BIRCH, Kean; PAPAIOANNOU, Theo. Divergent Paradigms of European Agro-Food Innovation: The Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE) as an R&D Agenda. **Science, Technology, & Human Values**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 94–125, 2013.

LOPES, Paulo Rogério; ARAÚJO, Keila Cássia; LOPES, Iara Maria. Plant health from the perspective of agroecological transition. **Revista Fitos**, [s. l.], 2019.

LUNDEVALL, Bengt-Åke. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. *In*: DOSI, Giovanni *et al.* **Technical Change and Economic Theory**. 1^oed. [S. l.]: Pinter, 1988. (IFIAS research series 6). Disponível em: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=1F9C437C078A7AE944FB6DA257A9E9F0>. Acesso em: 16 dez. 2023.

MACHADO, Ralph; MORAES, Geórgia. **Comissão aprova isenção tributária para biodefensivos agropecuários**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/874080-comissao-aprova-isencao-tributaria-para-biodefensivos-agropecuarios/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

MAGELA, Geraldo. **Comissão de Meio Ambiente aprova marco jurídico de bioinsumos**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/09/13/comissao-de-meio-ambiente-aprova-marco-juridico-de-bioinsumos>. Acesso em: 21 jun. 2024.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA N^o 530, de 14 de dezembro de 2022. Portal da Imprensa Nacional do Brasil. Diário Oficial da União. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, v. 235, n. 530, p. 170, 12 dez. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mapa-n-530-de-14-de-dezembro-de-2022-450771383>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MAPA. **Presidente anuncia Plano Safra 2023/2024 com financiamento de R\$ 364,22 bilhões**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/presidente-anuncia-plano-safra-2023-2024>. Acesso em: 22 maio 2024.

MASLOW, Abraham H. **A Theory of Human Motivation**. [S. l.]: Martino Fine Books, 1943.

MAZZUCATO, Mariana. **The Entrepreneurial State**. 1^oed. Londres: Demos, 2011. v. 49

MEADOWCROFT, James; ROSENBLOOM, Daniel. Governing the net-zero transition: Strategy, policy, and politics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2207727120, 2022.

MEADOWS, Donella H. **The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind**. 5. ed. Nova York: Universe Books, 1972. (Potomac Associates).

MEDINA, Gabriel da Silva; ROTONDO, Rosana; RODRÍGUEZ, Gustavo Rubén. Agricultural Bio-Inputs as an Innovative Area of Opportunity for Agro-Industrial Growth in Developing Countries: Lessons from Argentina. **World**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 709–725, 2023.

MENEGAT, Stefano; LEDO, Alicia; TIRADO, Reyes. Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 14490, 2022.

MIRANDA, Rubens Augusto; MARRIEL, Ivanildo Evódio; OLIVEIRA-PAIVA, Christiane Abreu. O mercado de biofertilizantes e inoculantes: status e potencial de ativos da Embrapa Milho e Sorgo. [s. l.], 2023.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **An evolutionary theory of economic change**. 1^oed. Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard Univ. Press, 1982.

NIELSEN, François; ALDERSON, Arthur S. The Kuznets Curve and the Great U-Turn: Income Inequality in U.S. Counties, 1970 to 1990. **American Sociological Review**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 12–33, 1997.

OECD. **Interfuturs: A research project on the future development of advanced industrialised societies in harmony with that of developing countries**. Paris: OECD, 1978.

- OLIVEIRA, Alan *et al.* Controle biológico de pragas em cultivos comerciais como alternativa ao uso de agrotóxicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 1, p. 01, 2006.
- OLIVEIRA, Guilherme; LIMA, Gilberto Tadeu. A green Lewis development model. **Metroeconomica**, [s. l.], v. 71, n. 2, p. 431–448, 2020.
- PEARSON, Peter J. G.; WATSON, Jim. The unfolding low-carbon transition in the UK electricity system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2206235120, 2023.
- POLIODRO, José Carlos; PEREZ, Daniel Vidal. Advancing fertilizer technology in Brazil. **Fertilizer Focus**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 50–52, 2022.
- RIP, Arie; KEMP, René. Technological change. *In*: HUMAN CHOICE AND CLIMATE CHANGE: VOL. II, RESOURCES AND TECHNOLOGY. [S. l.]: Battelle Press, 1998. (Human choice and climate change). v. 2, p. 327–399. Disponível em: <https://research.utwente.nl/en/publications/technological-change>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- ROSENBERG, Nathan. Science, Invention and Economic Growth. **The Economic Journal**, [s. l.], v. 84, n. 333, p. 90–108, 1974.
- SAVIOTTI, Pier Paolo. **Innovation, Complexity and Economic Evolution: From Theory to Policy**. 1. ed. London: Routledge, 2023. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781003294221>. Acesso em: 25 jan. 2024.
- SAVIOTTI, P. P. Systems theory and technological change. **Futures**, [s. l.], v. 18, n. 6, p. 773–786, 1986.
- SAVIOTTI, Pier Paolo; PYKA, Andreas. From necessities to imaginary worlds: Structural change, product quality and economic development. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 80, n. 8, p. 1499–1512, 2013.
- SCHILLER, Katharina J. F. *et al.* Developing the agroecological niche in Nicaragua: The roles of knowledge flows and intermediaries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 120, n. 47, p. e2206195120, 2023.
- SCHNITKEY, Gary; BALTZ, Jim; ZULAUF, Carl. **Outlook for fertilizer prices and company profits for spring 2023**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.wisfarmer.com/story/news/2023/03/03/outlook-for-fertilizer-prices-and-company-profits-for-spring-2023/69968146007/>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- SCHUMPETER, Joseph A. **The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle**. New Brunswick, N.J.: Transaction Books, 1934. (Social science classics series).
- SCOTT, W. Richard. W. Richard SCOTT (1995), Institutions and Organizations. Ideas, Interests and Identities. **M@n@gement**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 136–140, 2014.
- SEN, Amartya. **Commodities and Capabilities**. Amsterdam: North-Holland, 1985.
- SOARES, Wagner Lopes; CUNHA, Lucas Neves; PORTO, Marcelo Firpo. **Uma política de Incentivo fiscal a agrotóxicos no Brasil é Injustificável e insustentável**. [S. l.]: Abrasco, 2020.
- SOARES, Izadora Alves; FILHO, Antonio Carlos Pereira de Menezes; VENTURA, Matheus Vinicius Abadia. Biofábricas no cenário atual agrícola brasileiro: revisão. **Brazilian Journal of Science**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 16–33, 2023.
- SOARES, Wagner Lopes; PORTO, Marcelo Firpo De Souza. Uso de agrotóxicos e impactos econômicos sobre a saúde. **Revista de Saúde Pública**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 209–217, 2012.
- SOUZA, Fabiana Pereira De; CASTILHO, Tatiana Portela Ribeiro; MACEDO, Luís Otávio Bau. An institutional framework for Bioinputs in Brazilian agriculture based on Ecological Economics. **Sustainability in Debate**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 247, 2022.
- STANTON, Elizabeth A. The Human Development Index: A History. [s. l.], 2007. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.14394/40243>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- TRUTNEVYTE, Evelina *et al.* Synergies and trade-offs between governance and costs in electricity system transition. **Energy Policy**, [s. l.], v. 85, p. 170–181, 2015.

TURNHEIM, Bruno *et al.* Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. **Global Environmental Change**, [s. l.], v. 35, p. 239–253, 2015.

VIDAL, Mariane Carvalho *et al.* Bioinsumos: a Construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 557, 2022.

VIDAL, Mariane carvalho; SALDANHA, Rodolfo; VERÍSSIMO, Mario. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. *In*: GINDRI, Diego Medeiros; MOREIRA, Patrícia Almeida Barroso; VERISSIMO, Mario Alvaro Aloisio. **Sanidade Vegetal: Uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**. 1ªed. Florianópolis: CIDASC, 2020. p. 382–410.

WILSON, Clevo; TISDELL, Clem. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 449–462, 2001.

XAVIER, Vanessa Lucas. **Programa Nacional de Bioinsumos: Proposição de um Sistema de Monitoramento de Biofábricas**. 2022. Dissertação de mestrado - Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, DF, 2022.

ZOLFAGHARIAN, Mohammadreza *et al.* Studying transitions: Past, present, and future. **Research Policy**, [s. l.], v. 48, n. 9, p. 103788, 2019.