

BIOPESTICIDAS FITOQUÍMICOS INSETICIDAS E ACARICIDAS NA PRODUÇÃO ANIMAL: BARREIRAS DE DESENVOLVIMENTO E POTENCIAL DE MERCADO

Phytochemical Insecticidal and Acaricidal Biopesticides in Animal Production: Developmental Barriers and Market Potential

Shand Lenim Brose dos Santos

Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil

José Márcio Carvalho

Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil

GT12. Impactos socioambientais das novas tecnologias no agronegócio

Resumo: Este artigo analisa as principais limitações tecnológicas, barreiras regulatórias e dinâmicas de mercado que condicionam a adoção de biopesticidas fitoquímicos na produção animal, com ênfase no Brasil e suas interfaces com tendências globais. A metodologia baseia-se em revisão sistemática da literatura científica e técnica, considerando aspectos de eficácia, desenvolvimento de produtos, regulação e inserção mercadológica. Os resultados indicam que o desenvolvimento desses produtos é limitado por fatores como alto custo, tempo de desenvolvimento, baixa padronização, burocracia e a estrutura oligopolizada da indústria. Apesar disso, a pressão por sistemas produtivos mais sustentáveis, expansão de mercados de maior valor agregado e necessidade de manejo de resistência a pesticidas sintéticos cria nichos favoráveis à adoção de biopesticidas. No caso brasileiro, isso dependerá da exploração de nichos estratégicos, do investimento de políticas públicas, do desenvolvimento de tecnologias de produção e da evolução do ambiente regulatório e de mercado.

Palavras-chave: biopesticidas fitoquímicos; produção animal; desenvolvimento de novos produtos

Abstract: This article analyzes the main technological limitations, regulatory barriers, and market dynamics that condition the adoption of phytochemical biopesticides in animal production, with emphasis on Brazil and its interfaces with global trends. The methodology is based on a systematic review of scientific and technical literature, considering aspects of efficacy, product development, regulation, and market insertion. The results indicate that the development of these products is constrained by factors such as high costs, long development timelines, low standardization, bureaucratic hurdles, and the oligopolistic structure of the industry. Despite these challenges, increasing pressure for more sustainable production systems, the expansion of higher value-added markets, and the need to manage resistance to synthetic pesticides create favorable niches for the adoption of biopesticides. In the Brazilian context, this will depend on the exploration of strategic niches, on the investment of public policies, the development of production technologies, and the evolution of the regulatory and market environment.

Keywords: phytochemical biopesticides; animal production; new product development

1. Introdução

A produção de alimentos em escala global tem como um de seus pilares o uso intensivo de pesticidas sintéticos, que constituem uma ampla classe de compostos projetados para matar ou controlar pragas desde insetos e ervas daninhas a microrganismos e roedores. O termo "pesticida" inclui herbicidas, inseticidas, fungicidas e fumigantes (Hoppin; LePrevost, 2017). São produtos em alta demanda; um aumento de 1% de colheitas por hectare é acompanhado por um aumento de 1,8% em uso de pesticida por hectare (Schreinemachers; Tipraqsa, 2012).

No Brasil, os pesticidas sintéticos foram inicialmente utilizados no combate a vetores e controle de parasitas, com maior adoção a partir dos anos 1960 na agricultura; em 1975, o Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) condicionou o crédito rural ao uso de pesticidas, o que foi instrumental para a disseminação do seu uso no país (Mello; Silveira, 2012; OPAS, 1997).

Apesar de sua eficácia inicial, o uso de pesticidas sintéticos tem sido associado a desafios crescentes. Dois dos principais problemas na produção alimentar atualmente são a excepcional resistência de artrópodes a inseticidas sintéticos, e a toxicidade residual destes pesticidas na saúde animal e humana, e no meio ambiente (Pimentel, 2005; Sparks; Nauen, 2015). A resistência, particularmente relevante no contexto da produção animal devido ao controle de ectoparasitas como carrapatos e moscas, descreve um processo microevolucionário onde a adaptação genética decorrente da pressão evolucionária do uso de pesticidas sintéticos em populações de artrópodes impõe a necessidade de estratégias alternativas de controle (Whalon; Mota-Sanchez; Hollingworth, 2008).

Nesse cenário, os biopesticidas emergem como uma alternativa promissora, caracterizados por sua origem orgânica e, em geral, menor impacto ambiental e toxicológico. Embora amplamente estudados na agricultura vegetal, sua aplicação na produção animal ainda apresenta limitações tecnológicas, regulatórias e mercadológicas que restringem sua adoção em larga escala. Paradoxalmente, essa “imaturidade” tecnológica abre espaço para fenômenos de *leapfrogging*, nos quais novos desenvolvimentos podem superar etapas intermediárias e incorporar, desde sua concepção, soluções mais avançadas, sustentáveis e integradas às demandas contemporâneas da pecuária.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar criticamente as principais barreiras tecnológicas associadas ao uso de biopesticidas na produção animal, bem como discutir seu potencial de inserção e expansão no mercado, considerando o cenário brasileiro e suas interfaces com tendências internacionais.

2. Revisão da Literatura

Ectoparasitas provocam efeitos físicos diretos em seus hospedeiros, com a morbidade do animal, e indiretos, com a transmissão de agentes patológicos, provocando imensas perdas econômicas, e, portanto, são de grande interesse para o agronegócio. Assim surgiu a demanda por produtos ectoparasiticidas, em particular inseticidas e acaricidas. Os ectoparasitas veterinários conhecidos estão no filo Arthropoda, que inclui a classe Insecta (insetos) e classe Arachnida (ácaros e carrapatos) (Taylor, 2001).

São algumas das pragas mais resistentes e danosas do sistemas de produção animal: *Dermanyssus gallinae*, também conhecido como ácaro-das-galinhas, é o parasita hematófago mais danoso na avicultura de postura em nível mundial e extremamente difícil de controlar, com impacto econômico apenas na Europa estimado em €231 milhões anuais (Sparagano *et al.*, 2020); o carrapato *Rhipicephalus microplus*, principal vetor de *Babesia bovis*, *Babesia*

bigemina e *Anaplasma marginale*, causando a tristeza parasitária bovina, o *Rhipicephalus microplus* é um parasita hematófago que afeta principalmente bovinos leiteiros, causando perdas globais entre US\$ 22 e US\$ 30 bilhões por ano, afetando pelo menos 80% do rebanho bovino mundial (Garcia *et al.*, 2019; Lew-Tabor; Rodriguez Valle, 2016; Pavela *et al.*, 2016); a mosca doméstica (*Musca domestica*) é possivelmente a praga mais antiga relatada pela humanidade, transmitindo mecanicamente mais de 100 patógenos humanos e inúmeros outros de interesse veterinário e agrícola, causando danos incalculáveis (Khamesipour *et al.*, 2018).

Inicialmente, o método de controle de pragas em animais de produção mais utilizado era tópico, com pesticidas sintéticos adaptados do uso agrícola, como neonicotinóides e fipronil. Gradualmente, ocorreram avanços no mercado de animais de companhia e no desenvolvimento de formulações desenhadas principalmente para aplicação facilitada, maior ação residual ou ampliação de espectro. Atualmente os ingredientes ativos agem ora de forma sistêmica, metabolizados internamente pelo animal e administrados parenteralmente, oralmente ou topicamente no animal de produção, ou por contato direto com o parasita alvo, administrados topicamente no parasita (Simon-Delso *et al.*, 2015; Taylor, 2001).

A escolha de uso de um ectoparasiticida depende não apenas do tipo de ectoparasita infectante, mas também do tipo de produção animal. Parasitas que habitam permanentemente o hospedeiro são controlados de maneira relativamente fácil, desde que não sejam reinfectados com o contato com animais infectados; parasitas não-permanentes, como carrapatos, moscas e pulgas, não oferecem tal facilidade pela variedade de estágios, habitats e hospedeiros em seus ciclos de vida. Assim, as formas de administração envolvem concentrados, pós, sprays, imersão, injeções, pour on, xampus, coleiras, uso de brincos impregnados com acaricidas ou dispositivos impregnados com feromônios e acaricidas dependendo do parasita e hospedeiro (George; Pound; Davey, 2004; Taylor, 2001).

Praticamente todos os ectoparasiticidas de uso veterinário são neurotóxicos, mas por terem diferentes farmacocinéticas, eles exigem diferentes formulações para diferentes parasitas (Simon-Delso *et al.*, 2015; Taylor, 2001), também sofrendo com resistências de seus alvos e toxicidade animal, humana e ambiental (Taylor, 2001).

Monitorar resíduos tóxicos em alimentos é uma questão de saúde pública; pesticidas sintéticos possuem relação com o desenvolvimento de doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer a longo prazo na população, e outras síndromes neuropáticas a curto e médio prazo em geral irreversíveis (Casida; Durkin, 2013; Centro de Controle de Intoxicações de Niterói - RJ, 2000; Hatcher; Pennell; Miller, 2008; Pimentel, 2005). É um problema particularmente importante pelo fato de pesticidas sintéticos serem altamente persistentes no

ambiente, e devido às suas longas meias-vidas, permanecerem no corpo humano por décadas, causando também outros efeitos à saúde, como erupções cutâneas, atrasos no desenvolvimento e câncer, dependendo do nível de exposição (Gilden; Huffling; Sattler, 2010; Pimentel, 2005).

No Brasil um terço dos alimentos consumidos diariamente está contaminado por resíduos pesticidas, inclusive produtos de origem animal (Carneiro *et al.*, 2015; Nicholls; Altieri, 1997); certas classes de pesticidas, como neonicotinóides, estão presentes na dieta do mundo inteiro (Lu *et al.*, 2018). A contaminação de carne, ovos e leite com pesticidas é subestimada pela alta perecibilidade dos produtos e complexidade da análise química, e são frequentemente vendidos antes dos resultados laboratoriais serem disponibilizados (Masiá *et al.*, 2016; Pimentel, 2005).

Além da toxicidade para organismos não-alvo, quanto mais um pesticida sintético é usado, maior a probabilidade do seu organismo-alvo desenvolver resistência (Gould; Brown; Kuzma, 2018). O prejuízo causado pela transmissão de patógenos e a morbidade de animais de produção, como no caso de carrapatos, também culminou no uso indiscriminado de pesticidas sintéticos, como a aplicação de acaricidas em bovinos, na prática um banho de forte efeito residual que promove uma seleção ativa a indivíduos resistentes (Mota-Sanchez; Bills, 2002).

O controle do carrapato *Rhipicephalus microplus*, espécie de carrapato com mais resistências relatadas atualmente (Arthropod Pesticide Resistance Database, 2026), se baseia há décadas no uso intensivo de acaricidas e lactonas macrocíclicas convencionais, o que desenvolveu altíssima resistência a todas as classes principais de acaricidas (Rodriguez-Vivas; Jonsson; Bhushan, 2018).

3. Metodologia

Este estudo consiste em uma revisão qualitativa da literatura, voltada à análise das limitações e oportunidades mercadológicas de biopesticidas fitoquímicos na produção animal, e foi elaborado por meio de uma revisão sistemática com o uso de um protocolo de revisão de estudos com relevância histórica, aplicações etnofarmacológicas e análises químicas relacionadas ao tema.

A busca inicial por publicações foi realizada nas bases Scopus, SciELO, ScienceDirect e Wiley Online Library com os termos “phytochemical” AND “biopesticides” AND “animal” (acesso em março de 2025). Uma busca manual complementar foi conduzida nas referências bibliográficas de todas as fontes iniciais, abrangendo bases de dados científicas, livros, dissertações e teses acadêmicas, bem como relatórios governamentais e institucionais. Os critérios de inclusão contemplaram estudos originais e revisões que apresentassem evidências

sobre eficácia, limitações técnicas, processos de desenvolvimento, regulação ou inserção de mercado de biopesticidas, com ênfase em aplicações relevantes à produção animal. Estudos exclusivamente voltados à produção vegetal foram considerados quando apresentavam implicações diretas ou extrapoláveis ao contexto pecuário.

4. Resultados

4.1. Barreiras Tecnológicas e de Adoção

Tradicionalmente, o desenvolvimento de um novo pesticida modifica ou melhora compostos existentes, os combina, ou formula novos, em um processo exigente e arriscado: os ciclos de desenvolvimento são longos e incertos, e mudanças de mercado podem ocorrer durante o processo (Sparks; Nauen, 2015; Whitford; Johnson, 2016). Diversas questões precisam ser consideradas no desenvolvimento de um novo produto pesticida, como: i) se há necessidade para o pesticida; ii) se há patente exclusiva ou outra reivindicação defensável sobre o pesticida; iii) quais os atributos positivos e negativos em termos de segurança, saúde e destino ambiental; iv) se a eficácia é comprovada em condições reais de uso; v) se as características do produto são aceitáveis órgãos reguladores governamentais e agências globais; vi) se o produto resistirá à análise de entidades não governamentais (clientes, grupos de consumidores, processadores, outras partes interessadas); e vii) se o produto se tornará lucrativo (Whitford; Johnson, 2016).

No esforço de descoberta inicial, leva-se em média de um a quatro anos para determinar se uma molécula possui propriedades pesticidas úteis, com testes em estufa e a campo. Segue-se uma fase de pré-desenvolvimento de três anos para compostos com potencial suficiente, onde faz-se uma análise profunda de mercado (Phillips McDougall, 2016; Whitford; Johnson, 2016). A fase de desenvolvimento também leva cerca de três anos, onde se estabelece para um ingrediente ativo eleito uma fábrica-piloto, para produção em quantidade suficiente para testes biológicos e de segurança adicionais, incluindo mais testes a campo, bem como avaliação dos processos de fabricação para uma produção viável (Phillips McDougall, 2016; Whitford; Johnson, 2016). O produto então é revisado pelos órgãos regulatórios competentes, e caso aceito, é aprovado, com permissão para a fase de lançamento comercial (Phillips McDougall, 2016; Whitford; Johnson, 2016). São necessários, portanto, de 8 a 11 anos no total e milhões de dólares para testar, desenvolver e registrar um novo pesticida, uma vez que um composto promissor é desenvolvido.

O custo estimado de descoberta, desenvolvimento e registro para lançar um novo ingrediente ativo de pesticida no mercado cresceu de US\$ 152mi em 1995 para US\$ 286mi em 2014, com a maior parte desse custo (53%) sendo de pesquisa e testes a campo. Esse valor não

inclui os custos associados à construção e operação de instalações de produção altamente especializadas (Casida; Quistad, 1998; Phillips McDougall, 2016; Whitford; Johnson, 2016). A agroindústria global é o único mercado suficientemente grande para sustentar esse tipo de investimento, razão pela qual os principais fabricantes de pesticidas concentram-se no desenvolvimento de produtos agrícolas, e apesar do alto custo, este valor equivale a apenas cerca de 5% do faturamento anual dessas empresas no setor (Phillips McDougall, 2016; Whitford; Johnson, 2016).

Uma vez lançado no mercado, são então necessários mais quatro a seis anos para que o volume de vendas de um novo produto atinja um ponto em que a fabricação possa operar com eficiência. Após um lançamento, os profissionais de marketing buscam continuamente novos usos deste produto em outras produções alimentares e situações geográficas (Whitford; Johnson, 2016). Assim, os crescentes custos de desenvolvimento por restrições regulamentares, riscos e encarecimento de investimentos tiveram como consequência a redução do número de empresas envolvidas na criação de novos pesticidas; a indústria agroquímica foi internacionalizada e reduzida de cerca de 30 empresas para menos de 10 nas últimas décadas, com faturamento multibilionário, de forma semelhante à indústria farmacêutica (Casida; Quistad, 1998; Shattuck, 2021; Sparks; Nauen, 2015).

Depois da década de 1970, com o aumento da regulação em torno da comercialização de novos ingredientes ativos, mecanismos de ação biológicos passaram a ser reconsiderados pela agroindústria, ainda que de forma tímida e nebulosa (Aulagnier; Goulet, 2017; Casida; Quistad, 1998), apesar da expertise etnobotânica e o uso de biopesticidas “artesaniais” ter predominado historicamente nas regiões mais remotas da Ásia, África e América do Sul, onde o acesso a pesticidas sintéticos é mais difícil (Gilden; Huffling; Sattler, 2010; Pavela *et al.*, 2016). O uso comercial de certos biopesticidas em animais de produção, como o óleo de neem, já tem algumas décadas (Mulla; Su, 1999).

Os biopesticidas fitoquímicos baseiam-se em metabólitos secundários de plantas e possuem quatro vantagens: (i) são relativamente baratos, fáceis de usar, biodegradáveis e relativamente pouco tóxicos à saúde animal e humana; (ii) alguns são eficazes em doses muito pequenas, comparavelmente a pesticidas sintéticos; (iii) extratos aquosos podem ser usados para controle de ambientes de proliferação, sem adição de surfactantes sintéticos; (iv) a ação desses produtos se dá através de diferentes mecanismos simultaneamente, tornando resistências altamente improváveis (Demirak; Canpolat, 2022; Pavela; Benelli, 2016; Rodriguez-Vivas; Jonsson; Bhushan, 2018). Normalmente têm uma expectativa menor de desenvolver resistência nas pragas-alvo em comparação com produtos químicos de único local de ação, devido ao seu

complexo modo de ação. Em geral, biopesticidas afetam apenas a praga-alvo e espécies próximas, apresentando pouco ou nenhum risco para muitos, se não todos, os organismos não alvo, incluindo aves, peixes, insetos benéficos e mamíferos. Muitos são também biodegradáveis, proporcionando margens de segurança maiores para aplicadores, trabalhadores rurais e população rural (Marrone, 2007).

As características de óleos essenciais e extratos vegetais que os tornam tão promissores como biopesticidas são justamente o que os limita como produtos comerciais (Giunti *et al.*, 2022). São limitações de biopesticidas fitoquímicos a ação lenta em comparação a pesticidas sintéticos, especificidade de pragas afetadas e a falta de ação residual na maioria dos fitoquímicos (Isman, Murray B., 2006; Meister Media, 2011). Degradam-se rapidamente e apresentam desempenho imprevisível em condições de campo. A rápida decomposição do ingrediente ativo em situações ao ar livre, devido à luz, calor, pH, umidade e outras variáveis ambientais leva à necessidade de aplicações repetidas (Walia *et al.*, 2017). A persistência no meio ambiente é tão limitada que frequentemente eles quase não oferecem ação tóxica residual (Isman, 2020), havendo, portanto, pouca produção acadêmica sobre o seu impacto ambiental, principalmente em relação a organismos não-alvo (Giunti *et al.*, 2022).

Tais características dos extratos e óleos essenciais exigem grandes volumes de aplicação para uma eficácia aceitável, além do acréscimo de solventes e emulsificantes para facilitar sua hidrossolubilidade. A tecnologia ideal descrita pela literatura para superar tal desafio é através de nanoformulações ou nanoencapsulamento, o que protege seus constituintes químicos dos elementos e permite uma liberação lenta no ambiente (Giunti *et al.*, 2022; Isman, 2020; Vurro; Miguel-Rojas; Pérez-de-Luque, 2019).

A produção de um bioinseticida fitoquímico em escala comercial exige a produção da biomassa vegetal usada como matéria prima em escala agrícola, a não ser que a espécie em questão seja extremamente abundante in natura, ou cultivada para outros propósitos (Isman, Murray B, 2006; Walia *et al.*, 2017). É importante destacar que existe grande variabilidade intraespecífica na composição de um extrato vegetal, ou seja, plantas individuais dentro de uma mesma espécie podem exibir perfis químicos distintos por diferentes razões genótípicas e fenotípicas (Isman, Murray B, 2006).

O cultivo de matéria-prima exige previsibilidade em toda a sua cadeia de processamento; para que um bioinseticida fitoquímico forneça um nível confiável de eficácia ao usuário, deve haver algum grau de padronização química; preparações brutas, no entanto, frequentemente contêm baixas concentrações de ingredientes ativos sem quantificação adequada. Para uma padronização adequada, o produtor pode precisar misturar ou combinar

extratos de diferentes fontes, o que é parcialmente dependente da estabilidade dos princípios ativos no material vegetal de origem ou extratos (Isman, Murray B, 2006; Walia *et al.*, 2017).

Em comparação com pesticidas sintéticos, ainda há poucos biopesticidas sendo utilizados comercialmente e em grande escala, por serem mais suscetíveis a influências ambientais em termos de armazenamento, aplicação e eficácia, o que faz com que os seus consumidores potenciais relutem em usá-los (Zhang *et al.*, 2022). Os produtores rurais que adotam biopesticidas o fazem apenas se perceberem um retorno tangível do investimento. Existe uma resistência da cadeia de produção agroalimentar para abandonar o uso de pesticidas sintéticos em grande escala no presente contexto mundial, por razões comerciais complexas, relacionadas à forma que a agricultura moderna está costurada com a produção de commodities, crédito rural, globalização, e finalmente, o sistema capitalista como um todo. Existe também uma resistência quanto a inovações dessa natureza na cadeia de produção agroalimentar latino-americana, um mercado tradicionalmente usado por grandes multinacionais para a venda de ingredientes ativos proibidos em países desenvolvidos (Casida; Quistad, 1998; Nicholls; Altieri, 1997; Shattuck, 2021). Marrone (2007) relata as seguintes barreiras para adoção de biopesticidas pelo consumidor: i) mercado altamente competitivo e saturado; ii) consumidor e cadeia de distribuição conservadora/aversa a risco; iii) canais de venda complexos e com pouca informação; e iv) percepção negativa de biopesticidas. O último item remete à percepção de menor eficácia comparada com pesticidas sintéticos, apesar da percepção de menor impacto ambiental.

4.2 Barreiras Regulatórias e Institucionais

A aprovação regulatória é a principal barreira para a comercialização de novos bioinseticidas fitoquímicos. Em diversas jurisdições não há distinção entre pesticidas sintéticos e biopesticidas, o que pode inviabilizar a comercialização devido a altos custos regulatórios (Isman, 2020; Isman, Murray B, 2006; Walia *et al.*, 2017).

As regulamentações de pesticidas estabelecidas nos países mais ricos têm alcance global, afetando diretamente agricultores em países em desenvolvimento, forçados a cumprir essas normas para exportação da produção. Assim, a falta de confiança na segurança de um dado bioinseticida fitoquímico por parte da União Europeia, por exemplo, pode desfavorecer esse produto em um país tropical (Isman, Murray B, 2006).

Existe extensa burocracia a ser vencida para o registro de um produto pesticida biológico de uso veterinário no Brasil, o que demanda grande aporte de capital e tempo. Pedidos de registro desta natureza podem levar até cinco anos em tramitação para que tenham o parecer

final no MAPA (Johann; Dalmoro; Maciel, 2019). Produtos biológicos para o controle de pragas só passaram a ser registrados a partir da década de 2000 no Brasil (Bettiol; Medeiros, 2023; MAPA, 2019). Nos últimos cinco anos, o mercado brasileiro de biopesticidas cresceu 45%, contra 6% dos pesticidas sintéticos (Embrapa Meio Ambiente, 2024). Só em 2018, o mercado de biopesticidas cresceu 70%, movimentando R\$ 464mi e respondendo por 7% da comercialização mundial (MAPA, 2019); no mercado de bioinsumos, bioinseticidas cresceram de 27% do mercado em 2021 para 34% em 2023 (Croplife, 2024).

O registro de um produto de uso veterinário biológico no Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), no caso um biopesticida fitoquímico, envolve em um primeiro momento o registro do estabelecimento fabricante ou manipulador de produtos de uso veterinário através do Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários (SIPEAGRO) do MAPA (BRASIL, 2024a; MAPA, 2025a, 2025b). Recentemente, foi decretada a Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, que renova a regulamentação de bioinsumos de uso pecuário, delegando ao MAPA a adequação legislação e estabelecendo taxas de registro de estabelecimento (de acordo com porte) e de bioinsumos (de acordo com complexidade) entre R\$ 350 e R\$ 3.500 (BRASIL, 2024c).

A fim de contraste, nos EUA a agência regulatória Environmental Protection Agency (EPA) mobiliza 18 vezes mais recursos humanos do que o Brasil na regulação de pesticidas. O custo de registro de um novo ingrediente ativo nos EUA custa mais de US\$ 600 mil, com validade de 15 anos e custo de renovação de US\$ 150mil, com grandes custos por parte da empresa para demonstrar obediência aos parâmetros de toxicidade (Pelaez *et al.*, 2015). Na Europa, há muito menos biopesticidas disponíveis em comparação aos EUA visto que a burocracia pode demorar 5 anos ou mais e exigir milhões de dólares em testes toxicológicos (Marrone, 2007). Na Índia, a falta de regulação na venda de biopesticidas inundou o mercado com produtos ineficazes ou “malhados” com pesticidas sintéticos de forma irregular, e causou um sério atraso no desenvolvimento da indústria (Keswani *et al.*, 2021); o padrão de qualidade irregular e a venda de produtos adulterados é também uma preocupação na China, embora comparativamente menor (Zhou, 2021).

4.3 Dinâmicas de Mercado

O mercado de pesticidas sintéticos tem aproximadamente 82% de si dominado por quatro empresas multinacionais (Shattuck, 2021), e já dá mostras de estagnação em sua inovação tecnológica há algumas décadas, pelo aumento de custos de desenvolvimento; os biopesticidas, já em crescimento, representavam cerca de 2,4% do mercado total de pesticidas

na época (Marrone, 2007; Shattuck, 2021). A diversificação em direção a biopesticidas começou com os primeiros acordos entre Bayer e Syngenta na metade da década de 2000, e teve com um de seus pontos altos o acordo de cooperação entre Monsanto e a empresa dinamarquesa Novozymes, no valor de US\$ 300 milhões em 2013. O acordo gerou a BioAgAlliance, unindo as duas empresas na pesquisa de biopesticidas microbianos. No período entre 2012 e 2015 o oligopólio adquiriu 10 empresas de biopesticidas pelo valor aproximado de US\$ 2,4bi (Novozymes, 2024; Pelaez; Mizukawa, 2017).

O mercado de biopesticidas continua menos de 10% do valor total do mercado de pesticidas (Phillips McDougall, 2018), mas movimentou US\$ 8,94 bilhões em 2025 e deve crescer para US\$ 17,68 bilhões até 2030 (Markets and Markets, 2026).

Na China, atual maior mercado de pesticidas, a indústria de biopesticidas recebeu pesados incentivos do governo na forma de programas específicos para o desenvolvimento do segmento ao longo dos últimos 30 anos. Diversas inovações subsidiadas e desenvolvidas por institutos de pesquisa chineses continuam a entrar no mercado; entretanto, os biopesticidas ainda representam apenas 5-7% do mercado chinês, existindo uma preocupação com a migração de empresas ocidentais de pesticidas sintéticos para a China e a aquisição de empresas de biopesticidas nacionais, enquanto seus países de origem restringem o uso interno de pesticidas sintéticos (Qiu, 2015; Yuan *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022). Muitas empresas chinesas relutam em produzir ou comercializar produtos biopesticidas fitoquímicos pela expertise e refinamento necessário em termos de equipe técnica, suporte tecnológico, equipamentos de pesquisa e desenvolvimento, e garantia de capital, resultando em uma baixa participação de mercado (Guo *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2022).

Apesar do grande número de estudos sobre a eficácia de biopesticidas fitoquímicos, a comercialização destes data de pouco menos de 20 anos nos EUA e menos de uma década na União Europeia (Isman, 2020). Isso é consequência do processo de desenvolvimento de um biopesticida fitoquímico: é demorado e envolve alta expertise interdisciplinar, além do desenvolvimento de inovações incrementais (Walia *et al.*, 2017).

Isman (2020) identifica três barreiras principais para a viabilidade de produção de óleos essenciais e extratos vegetais: 1) disponibilidade da matéria-prima; 2) preço; e 3) aprovação regulatória. Isman (2006) também identifica barreiras para a comercialização de bioinseticidas fitoquímicos: 1) sustentabilidade da matéria-prima; 2) padronização de extratos quimicamente complexos; e 3) aprovação regulatória.

Os mercados prioritários para o lançamento de novos pesticidas atualmente são a Europa e USMCA, englobando cerca de 70% dos investimentos de desenvolvimento de novos produtos

pesticidas. A América Latina não é prioritária e recebe apenas 15% desses investimentos (FAOSTAT, 2021; Mansfield *et al.*, 2023; Phillips McDougall, 2016). Muitos biopesticidas nos EUA são aprovados para uso na agricultura orgânica, o segmento de crescimento mais rápido na indústria alimentícia (Marrone, 2007).

Segundo Marrone (2007), para alcançar resultados semelhantes aos dos pesticidas tradicionais, os produtores rurais inevitavelmente terão que investir mais esforços e custos de aprendizado. Isso, por sua vez, reduz a disposição dos produtores em usar biopesticidas, sobretudo na economia de pequena escala (Meister Media, 2011; Zhou, 2021). O uso de pesticidas de origem biológica tampouco demonstrou vantagens competitivas claras na produção de commodities agrícolas em grande escala (Guo *et al.*, 2019).

O crescimento do uso de bioinsumos entre 2017 e 2020 no Brasil foi de 42% (Aquilante *et al.*, 2023). Apesar dos avanços em bioinsumos, e em particular, biopesticidas estarem concentrados na produção agrícola, o conceito também engloba bioinsumos para o controle biológico na produção animal, inclusive de produção própria do produtor rural (Carvalho Vidal; Pereira Dias, 2023).

O Programa Nacional de Bioinsumos foi criado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, instituído pelo Decreto nº 10.375 de 26 de maio de 2020 visando o potencial do Brasil como produtor de matéria-prima, o conhecimento local sobre insumos de origem biológica para o controle de pragas e doenças agrícolas e para a nutrição de plantas e fertilidade dos solos, as limitações de produção e de impacto ambiental quanto a insumos sintéticos e a demanda do setor de orgânicos (Vidal; Saldanha; Veríssimo, 2020). Até março de 2026, haviam 622 produtos para o controle de pragas registrados no aplicativo de celular Bioinsumos, desenvolvido pelo Programa Nacional de Bioinsumos em parceria com a Embrapa (Ministério da Agricultura, 2026).

No Brasil, a maior parte (66,2%) do investimento em P&D é pública, consistindo em um aporte de cerca de 0,61% do seu PIB dividido entre as agências de fomento do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e as fundações estaduais de amparo às pesquisas (FAPs). Há grande oscilação deste tipo de aporte, que tende inclusive a diminuir. Há ainda a Lei da Inovação (Lei nº 10.973 de dezembro de 2004), que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica em ambientes produtivos, e a Lei do Bem (Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005), que criou concessão de incentivos fiscais às empresas que

realizam pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica (Costa; Costa, 2023; Vasconcelos *et al.*, 2021).

O crédito subsidiado destinado a projetos de inovação no Brasil é capitaneado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). O BNDES tem protagonismo como financiador de inovação e ações de sustentabilidade; no seu portfólio de empréstimos e financiamentos, o BNDES Profarma existe desde 2004 e financia plantas produtivas de biotecnologia, além do BNDES Fundo Tecnológico (BNDES Funtec), que financia o desenvolvimento de novos produtos e/ou processos que possam ser levados a mercado (IPEA, 2018; Meirelles *et al.*, 2020; Pimentel *et al.*, 2015). A Finep é uma agência de fomento especificamente voltada à inovação, seja radical ou incremental, e oferece crédito também a atividades que levam a inovações ou são necessárias para introduzi-las no mercado, inclusive na forma de financiamentos não-reembolsáveis (Finep, 2024; IPEA, 2018). A partir de 2011, o BNDES, em parceria com a Finep e outros órgãos do governo, participou do Plano Inova Empresa, com o objetivo de fomentar projetos de apoio à inovação em setores estratégicos, tendo sido abertos em 2013 os Planos Inova Agro, Inova Sustentabilidade, Plano de Apoio Conjunto à Inovação Tecnológica Agrícola (PAISS) – Sucroenergético e Sucroquímico – e PAISS Agrícola, entre outros (BNDES, 2024; Santana *et al.*, 2019). Quanto ao crédito privado, existem diversas restrições e exigências para seu acesso, geralmente reservado a empresas de grande porte (IPEA, 2018).

4.4 Oportunidades de Mercado

Mercadologicamente os biopesticidas são uma tendência de diversificação de produtos, onde consumidores provocam uma pressão regulatória, concentrada em países com maior renda per capita. A pressão regulatória reflete a preocupação do consumidor quanto à toxicidade dos produtos, com restrições maiores em relação à carcinogenicidade, efeitos hormonais ou teratogênicos, e o efeito ambiental, em particular em relação a polinizadores (Marrone, 2007; Pelaez; Mizukawa, 2017).

A preferência por produtos biobaseados cresce entre a classe média global (Wesseler; Von Braun, 2017). O uso de inseticidas sintéticos, por exemplo, é consideravelmente mais baixo na produção agrícola de países desenvolvidos, à medida que a percepção do consumidor aumenta e métodos de Manejo Integrado de Pragas (MIP) e de produção orgânica são adotados (Schreinemachers; Tipraqsa, 2012).

O Brasil ainda faz poucos depósitos de patentes de extratos vegetais comparado a outros países. Embora a Lei de Propriedade Industrial Brasileira, Lei nº 9.279/96 (LPI) restrinja o

patenteamento de plantas e suas partes, ainda que transgênicas, é possível requerer a proteção patentária para derivados de plantas, processos de extração de seus compostos químicos ativos bem como composições contendo extratos vegetais ou moléculas ativas isoladas, além de extratos vegetais que não sejam mera diluição (BRASIL, 1996; Oliveira; Nogueira, 2024). A Lei de Cultivares, Lei nº 9.456/97 confere proteção a cultivares utilizados para a produção de um fitoterápico, bem como plantas geneticamente modificadas para uso como biofábricas (Plantas Produtoras de Fármacos) através do Certificado de Proteção de Cultivar (BRASIL, 1997). Há ainda a Lei de Biodiversidade, Lei nº 13.123/2015, que discorre sobre variedades vegetais brasileiras e sua propriedade intelectual (BRASIL, 2024b), caso sejam descobertas plantas de uso tradicional no Brasil com potencial biopesticida. Além do patenteamento, há também a possibilidade do uso de registro de Indicação Geográfica dos produtos, prevista na LPI sob duas espécies: Indicação de Procedência (IP) ou Denominação de Origem (DO), que conferem um selo de origem à matéria prima utilizada (MAPA, 2023; Oliveira; Nogueira, 2024).

A Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PNAPO) foi instituída por meio do Decreto no 7.794, de 20 de agosto de 2012, com o intuito de promover a transição agroecológica e a produção orgânica por meio da integração, articulação e adequação das diversas ações e programas desenvolvidos no Brasil, tendo sido premiada como uma das melhores políticas em agroecologia e sistemas alimentares sustentáveis do mundo, ganhando o prêmio Future Policy Awards 2018 da ONU, pelo World Future Council e pela International Federation of Organic Agriculture Movements (Ifoam) (Policarpo *et al.*, 2023). Após estabelecer os Planos Nacionais de Agroecologia e Produção Orgânica I e II, temos o Planapo III 2024-2027, que estabelece como um de seus objetivos específicos estimular e fomentar a produção e uso de bioinsumos (BRASIL, 2024d).

Quanto a crédito para agricultura familiar, o Programa Nacional de Fortalecimento de Agricultura Familiar (PRONAF), instituído pela Resolução BCB nº 2.191/1995, pode possivelmente financiar o plantio de culturas para usos industriais por meio de crédito para custeio e investimento a pequenos produtores e cooperativas, presente em 98% dos municípios brasileiros (IPEA, 2018; Maia; Eusébio; da Silveira, 2019).

5. Considerações finais

Embora os biopesticidas fitoquímicos apresentem vantagens ambientais e toxicológicas em relação aos pesticidas sintéticos, sua adoção na produção animal permanece limitada por um conjunto de barreiras tecnológicas, regulatórias e econômicas interdependentes: o enorme

investimento de tempo e recursos no desenvolvimento de um novo produto biopesticida se soma à burocracia de registro de produtos pesticidas e a estrutura oligopolizada da indústria. Apesar dessas limitações, o cenário atual de pressão por sistemas produtivos mais sustentáveis, expansão de mercados de maior valor agregado e necessidade de manejo de resistência a pesticidas sintéticos cria nichos favoráveis à adoção de biopesticidas.

No caso brasileiro, a consolidação desse potencial depende do avanço de políticas públicas de incentivo recentemente implementadas no país, investimento público em P&D consistente e crédito subsidiado específico para o desenvolvimento de biopesticidas. Os biopesticidas fitoquímicos não configuram, no curto prazo, uma substituição direta aos pesticidas sintéticos na produção animal, mas representam uma alternativa com potencial de crescimento a médio e longo prazo. Seu avanço dependerá da exploração de nichos estratégicos, do desenvolvimento de tecnologias de produção e da evolução do ambiente regulatório e de mercado.

Referências

AQUILANTE, M. *et al.* **O PROGRAMA NACIONAL DE BIOINSUMOS NO ÂMBITO DA POLÍTICA NACIONAL DE AGROECOLOGIA E PRODUÇÃO ORGÂNICA: ORIGEM, CONTRIBUIÇÕES E POTENCIALIDADES.** [S. l.]: [s. d.], 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/td2933-port>. .

ARTHROPOD PESTICIDE RESISTANCE DATABASE. **Rhipicephalus microplus.** [S. l.], 2026. Disponível em: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species&arId=322>. Acesso em: 19 jan. 2026.

AULAGNIER, A.; GOULET, F. Des technologies controversées et de leurs alternatives. Le cas des pesticides agricoles en France. **Sociologie du travail**, [s. l.], vol. 59, nº 3, 2017.

BETTIOL, W.; MEDEIROS, F. H. V. **Artigo: Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole>. Acesso em: 29 jun. 2024.

BNDES. **Plano Inova Empresa.** [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/plano-inova-empresa/plano-inova-empresa>. Acesso em: 6 jan. 2025.

BRASIL. **DECRETO Nº 5.053, DE 22 DE ABRIL DE 2004.** [S. l.], 2024a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5053.htm. Acesso em: 6 jan. 2025.

BRASIL. **LEI Nº 9.279, DE 14 DE MAIO DE 1996.** [S. l.], 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19279.htm. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. **LEI Nº 9.456, DE 25 DE ABRIL DE 1997.** [S. l.], 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19456.htm. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. **LEI Nº 13.123, DE 20 DE MAIO DE 2015.** [S. l.], 2024b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm. Acesso em: 27 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024 .** [S. l.], 2024c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l15070.htm. Acesso em: 7 jan. 2025.

BRASIL. **PORTARIA INTERMINISTERIAL MDA/SG-PR/MAPA/MDS/MMA/MS/MCTI Nº 7, DE 2 DE OUTUBRO DE 2024.** Institui o Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica - Planapo, para o período 2024-2027. 2024d.

CARNEIRO, F. *et al.* **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Rio de Janeiro/São Paulo: [s. d.], 2015. Disponível em: <https://abrasco.org.br/download/dossie-abrasco-um-alerta-sobre-os-impactos-dos-agrotoxicos-na-saude/#>. Acesso em: 3 fev. 2024.

CARVALHO VIDAL, M.; PEREIRA DIAS, R. BIOINSUMOS A PARTIR DAS CONTRIBUIÇÕES DA AGROECOLOGIA. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [s. l.], vol. 18, nº 1, p. 171–192, 2023.

CASIDA, J. E.; DURKIN, K. A. **Neuroactive insecticides: Targets, selectivity, resistance, and secondary effects.** [S. l.]: [s. d.], 2013.

CASIDA, J. E.; QUISTAD, G. B. Golden Age of Insecticide Research: Past, Present, or Future?. **Annual Review of Entomology**, [s. l.], vol. 43, nº 1, p. 1–16, 1998. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ento.43.1.1>.

CENTRO DE CONTROLE DE INTOXICAÇÕES DE NITERÓI - RJ. **INTOXICAÇÕES EXÓGENAS AGUDAS POR CARBAMATOS, ORGANOFOSFORADOS, COMPOSTOS BIPYRIDÍLICOS E PIRETRÓIDES.** [S. l.]: [s. d.], 2000. Disponível em: <https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/intoxicacoes%20agudas%20-%20carbamat%20e%20organoclorados.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

COSTA, C. F. da; COSTA, P. de A. O (Des)Financiamento da Pesquisa no Brasil: uma análise da execução orçamentária das agências e fundos federais de apoio à pesquisa entre 2003 e 2020. **FINEDUCA: Revista de Financiamento da Educação**, [s. l.], vol. 13, nº 8, 2023.

CROPLIFE. **Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024.** [S. l.], 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

DEMIRAK, M. Ş. Ş.; CANPOLAT, E. **Plant-Based Bioinsecticides for Mosquito Control: Impact on Insecticide Resistance and Disease Transmission.** [S. l.]: MDPI, 2022.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **Pesticidas biológicos cresceram 45% no Brasil nos últimos cinco anos.** [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/->

/noticia/87248594/pesticidas-biologicos-cresceram-45-no-brasil-nos-ultimos-cinco-anos.
Acesso em: 29 jun. 2024.

FAOSTAT. **Pesticides Trade**. [S. l.], 2021. Disponível em:
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/RT/visualize>. Acesso em: 6 fev. 2024.

FINEP. **Financiamento Não Reembolsável**. [S. l.], 2024. Disponível em:
<http://finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/sibratrec/121-apoio-e-financiamento/tipos-de-apoio/financiamento-nao-reembolsavel/43-financiamento-nao-reembolsavel>. Acesso em: 3 jan. 2025.

GARCIA, M. V *et al.* Biologia e importância do carrapato *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. In: CARRAPATOS NA CADEIA PRODUTIVA DE BOVINOS. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 16–25. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194267/1/Biologia-e-importancia-do-carrapato.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

GEORGE, J. E.; POUND, J. M.; DAVEY, R. B. **Chemical control of ticks on cattle and the resistance of these parasites to acaricides**. [S. l.]: [s. d.], 2004.

GILDEN, R. C.; HUFFLING, K.; SATTLER, B. Pesticides and health risks. **JOGNN - Journal of Obstetric, Gynecologic, and Neonatal Nursing**, [s. l.], vol. 39, nº 1, p. 103–110, 2010.

GIUNTI, G. *et al.* Non-target effects of essential oil-based biopesticides for crop protection: Impact on natural enemies, pollinators, and soil invertebrates. **Biological Control**, [s. l.], vol. 176, p. 105071, 2022.

GOULD, F.; BROWN, Z. S.; KUZMA, J. Wicked evolution: Can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance?. **Science**, [s. l.], vol. 360, nº 6390, p. 728–732, 2018.

GUO, M. *et al.* Status and Strategic Measures for the Development of Biopesticides in China. **Chinese Journal of Biological Control**, [s. l.], vol. 35, nº 5, p. 755–758, 2019.

HATCHER, J. M.; PENNELL, K. D.; MILLER, G. W. Parkinson's disease and pesticides: a toxicological perspective. **Trends in Pharmacological Sciences**, [s. l.], vol. 29, nº 6, p. 322–329, 2008.

HOPPIN, J. A.; LEPREVOST, C. E. Pesticides and Human Health. In: ENVIRONMENTAL PEST MANAGEMENT. [S. l.]: Wiley, 2017. p. 249–273.

IPEA. **Financiamento do Desenvolvimento no Brasil**. [S. l.]: [s. d.], 2018. Disponível em:
https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8820/1/Fiinanciamento__do_desenvolvimento_no_Brasil.pdf. Acesso em: 3 jan. 2025.

ISMAN, Murray B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, [s. l.], vol. 51, p. 45–66, 2006.

ISMAN, M. B. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], vol. 19, nº 2, p. 235–241, 2020.

ISMAN, Murray B. Pesticides based on plant essential oils: From traditional practice to commercialization. In: RAI, M.; CARPINELLA, M. C. (orgs.). **Naturally Occurring Bioactive Compounds**. [S. l.]: Elsevier, 2006. p. 29–44. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281246564>.

JOHANN, L.; DALMORO, M.; MACIEL, M. J. **Alimentos orgânicos: dinâmicas na produção e comercialização**. 1. ed. Lajeado, RS: Univates, 2019.

KESWANI, C. *et al.* Obstacles in the Adaptation of Biopesticides in India. In: BIO#FUTURES. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 301–318.

KHAMESIPOUR, F. *et al.* A systematic review of human pathogens carried by the housefly (*Musca domestica* L.). **BMC Public Health**, [s. l.], vol. 18, n° 1, 2018.

LEW-TABOR, A. E.; RODRIGUEZ VALLE, M. A review of reverse vaccinology approaches for the development of vaccines against ticks and tick borne diseases. **Ticks and Tick-borne Diseases**, [s. l.], vol. 7, n° 4, p. 573–585, 2016.

LU, C. *et al.* Neonicotinoid Residues in Fruits and Vegetables: An Integrated Dietary Exposure Assessment Approach. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], vol. 52, n° 5, p. 3175–3184, 2018.

MAIA, A. G.; EUSÉBIO, G. dos S.; DA SILVEIRA, R. L. F. Can credit help small family farming? Evidence from Brazil. **Agricultural Finance Review**, [s. l.], vol. 80, n° 2, p. 212–230, 2019.

MANSFIELD, B. *et al.* A new critical social science research agenda on pesticides. **Agriculture and Human Values**, [s. l.], 2023.

MAPA. **Lista de IGs Nacionais e Internacionais Registradas**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indicacao-geografica/listaigs>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MAPA. **Mercado de biodefensivos cresce mais de 70% no Brasil em um ano**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/feffmercado-de-biodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>. Acesso em: 29 jun. 2024.

MAPA. **Orientações Sobre Estabelecimentos**. [S. l.], 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/produtos-veterinarios/estabelecimentos>. Acesso em: 6 jan. 2025.

MAPA. **Orientações Sobre Produtos**. [S. l.], 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/produtos-veterinarios/produtos>. Acesso em: 6 jan. 2025.

MARKETS AND MARKETS. **Biopesticides Market by Type (Bioinsecticides, Biofungicides, Bionematicides, and Bioherbicides), Crop Type (Cereals & Grains, Oilseeds and Pulses), Formulation (Liquid, Dry), Source (Microbials, Biochemicals), Mode of Application, and Region - Forecast to 2030**. [S. l.], 2026. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biopesticides-267.html>. Acesso em: 19 mar. 2026.

MARRONE, P. G. Barriers to adoption of biological control agents and biological pesticides. **CABI Reviews**, [s. l.], vol. 2, 2007. Disponível em:
<http://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/PAVSNNR20072051>.

MASIÁ, A. *et al.* **Determination of pesticides and veterinary drug residues in food by liquid chromatography-mass spectrometry: A review.** [S. l.]: Elsevier B.V., 2016.

MEIRELLES, B. *et al.* BALANÇO DA ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DA BIOTECNOLOGIA FARMACÊUTICA. **BNDES Setorial**, [s. l.], vol. 26, nº 51, p. 7–75, 2020. Disponível em:
https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/19802/3/PR_Biotecnologia_BD.pdf.
Acesso em: 27 nov. 2024.

MEISTER MEDIA. **Special report: the rise of biopesticides.** [S. l.]: [s. d.], 2011. Disponível em: <http://riseofbiopesticides.com/>. Acesso em: 2 fev. 2024.

MELLO, I. N. K.; SILVEIRA, W. F. Resíduos de Agrotóxicos em Produtos de Origem Animal. **Acta Veterinaria Brasilica**, v, [s. l.], vol. 6, nº 2, p. 94–104, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, P. e A. (MAPA). **Bioinsumos.** [S. l.]: Embrapa Agricultura Digital, 2026.

MOTA-SANCHEZ, D.; BILLS, P. Arthropod Resistance to Pesticides. *In*: [S. l.]: [s. d.], 2002.

MULLA, M. S.; SU, T. Activity and biological effects of neem products against arthropods of medical and veterinary importance. **Journal of the American Mosquito Control Association**, [s. l.], vol. 15, nº 2, p. 133–52, 1999. Disponível em:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10412110>.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. A. Conventional agricultural development models and the persistence of the pesticide treadmill in Latin America. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, [s. l.], vol. 4, nº 2, p. 93–111, 1997.

NOVOZYMES. **Our history.** [S. l.], 2024. Disponível em:
<https://www.novozymes.com/en/about-us/our-history>. Acesso em: 2 fev. 2024.

OLIVEIRA, A. C. D. de; NOGUEIRA, M. A Propriedade Intelectual dos Medicamentos Fitoterápicos com base nos Níveis de Maturidade Tecnológica e Normas Regulatórias. **Revista Fitos**, [s. l.], vol. 18, nº Supl. 1, p. e1516, 2024.

OPAS. **Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos.** Brasília: [s. d.], 1997.

PAVELA, R. *et al.* Application of ethnobotanical repellents and acaricides in prevention, control and management of livestock ticks: A review. **Research in Veterinary Science**, [s. l.], vol. 109, p. 1–9, 2016.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. **Trends in Plant Science**, [s. l.], vol. 21, nº 12, p. 1000–1007, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27789158/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

PELAEZ, V. M. *et al.* A (des)coordenação de políticas para a indústria de agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, [s. l.], vol. 14, p. 153, 2015.

PELAEZ, V.; MIZUKAWA, G. Estratégias de diversificação na indústria de agrotóxicos: De sementes a biopesticidas. **Ciencia Rural**, [s. l.], vol. 47, nº 2, 2017.

PHILLIPS MCDUGALL. **Evolution of the Crop Protection Industry since 1960**. [S. l.]: [s. d.], 2018. Disponível em: <https://croplife.org/wp-content/uploads/2018/11/Phillips-McDougall-Evolution-of-the-Crop-Protection-Industry-since-1960-FINAL.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

PHILLIPS MCDUGALL. **The Cost of New Agrochemical Product Discovery, Development and Registration in 1995, 2000, 2005-8 and 2010-2014**. [S. l.]: [s. d.], 2016. Disponível em: <https://croplife.org/wp-content/uploads/2016/04/Cost-of-CP-report-FINAL.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2023.

PIMENTEL, V. *et al.* Biodiversidade brasileira como fonte da inovação farmacêutica: uma nova esperança?. **Revista do BNDES**, [s. l.], nº 43, p. 41–89, 2015.

PIMENTEL, D. **Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States**. [S. l.]: [s. d.], 2005.

POLICARPO, M. A. *et al.* **Texto para Discussão 2933 - O Programa Nacional de Bioinsumos no Âmbito da Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica: Origem, Contribuições e Potencialidades**. [S. l.]: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2023.

QIU, D. Analysis of the Development Situation and Trends of Biological Pesticides in China. **Chinese Journal of Biological Control**, [s. l.], vol. 31, nº 5, p. 679–684, 2015.

RODRIGUEZ-VIVAS, R. I.; JONSSON, N. N.; BHUSHAN, C. Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. **Parasitology Research**, [s. l.], vol. 117, nº 1, p. 3–29, 2018.

SANTANA, J. R. *et al.* FINANCIAMENTO PÚBLICO À INOVAÇÃO NO BRASIL: CONTRIBUIÇÃO PARA UMA DISTRIBUIÇÃO REGIONAL MAIS EQUILIBRADA?. **Planejamento e Políticas Públicas**, [s. l.], nº 52, p. 355–387, 2019.

SCHREINEMACHERS, P.; TIPRAQSA, P. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. **Food Policy**, [s. l.], vol. 37, nº 6, p. 616–626, 2012.

SHATTUCK, A. Generic, growing, green?: The changing political economy of the global pesticide complex. **Journal of Peasant Studies**, [s. l.], vol. 48, nº 2, p. 231–253, 2021.

SIMON-DELISO, N. *et al.* Systemic insecticides (Neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. **Environmental Science and Pollution Research**, [s. l.], vol. 22, nº 1, p. 5–34, 2015.

SPARAGANO, O. A. E. *et al.* *Dermanyssus gallinae* and chicken egg production: impact, management, and a predicted compatibility matrix for integrated approaches. **Experimental and Applied Acarology**, [s. l.], vol. 82, nº 4, p. 441–453, 2020.

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, [s. l.], vol. 121, p. 122–128, 2015.

TAYLOR, M. A. **Recent developments in ectoparasiticides**. [S. l.]: Bailliere Tindall Ltd, 2001.

VASCONCELOS, P. F. de *et al.* Financiamento da Pesquisa no Brasil ao longo de dez anos. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], vol. 7, nº 3, p. 21258–21271, 2021.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERÍSSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. In: SANIDADE VEGETAL: UMA ESTRATÉGIA GLOBAL PARA ELIMINAR A FOME, REDUZIR A POBREZA, PROTEGER O MEIO AMBIENTE E ESTIMULAR O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. . Florianópolis: CIDASC, 2020. p. 382–410.

VURRO, M.; MIGUEL-ROJAS, C.; PÉREZ-DE-LUQUE, A. Safe nanotechnologies for increasing the effectiveness of environmentally friendly natural agrochemicals. **Pest Management Science**, [s. l.], vol. 75, nº 9, p. 2403–2412, 2019.

WALIA, S. *et al.* Phytochemical biopesticides: some recent developments. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], vol. 16, nº 5, p. 989–1007, 2017.

WESSELER, J.; VON BRAUN, J. Measuring the Bioeconomy: Economics and Policies. **Annual Review of Resource Economics**, [s. l.], nº 9, p. 275–298, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource->.

WHALON, M. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; HOLLINGWORTH, R. M. Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In: GLOBAL PESTICIDE RESISTANCE IN ARTHROPODS. UK: CABI, 2008. p. 5–31.

WHITFORD, F.; JOHNSON, B. **The Pesticide Marketplace, Discovering and Developing New Products**. [S. l.]: [s. d.], 2016. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ppp/ppp-71.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2023.

YUAN, S. *et al.* Current Situation and Prospects of Biological Pesticides Related Standards in China. **Chinese Journal of Biological Control**, [s. l.], vol. 34, nº 1, p. 1–7, 2018. Disponível em: <http://www.zgswfz.com.cn/EN/10.16409/j.cnki.2095-039x.2018.01.001>. Acesso em: 5 abr. 2024.

ZHANG, H. *et al.* The Landmark Achievements of Biological Pesticides in Comprehensive Technology Development for Reduction and Efficiency Enhancement of Chemical Fertilizers and Pesticides. **Chinese Journal of Biological Control**, [s. l.], vol. 38, nº 1, p. 1–8, 2022.

ZHOU, M. The Realistic Challenge and Countermeasure Analysis of the Development of Biological Pesticide in China. **Chinese Journal of Biological Control**, [s. l.], vol. 37, nº 1, p. 184–192, 2021.