



Avaliação de impacto *ex ante* da adoção do fitonematicida Nematus® para controle de nematoides no cultivo de soja

***Ex-ante* impact assessment of the adoption of Nematus® phytonematicide to control of nematodes in soybean cultivation**

Priscila Seixas Sabaini

Embrapa Agroenergia
priscila.sabaini@embrapa.br

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci

Embrapa Agroenergia
rosana.guiducci@embrapa.br

Clenilson Martins Rodrigues

Embrapa Agroenergia
clenilson.rodrigues@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): << GT08. Pesquisa, inovação e extensão rural >>

Resumo

O presente estudo avaliou o impacto *ex ante* econômico e ambiental da utilização dos princípios ativos para a produção do fitonematicida Nematus®, em desenvolvimento pela Embrapa Agroenergia, em parceria com empresa da iniciativa privada. O ativo tecnológico é utilizado para o controle de fitonematoides, parasita que ocorre em praticamente todas as regiões agrícolas do País, com grande capacidade de causar perdas de produtividade. A estimativa de ganho econômico anual com a adoção da tecnologia chega a R\$ 24.565.612,50 no quinto ano de adoção, advindos da redução dos custos de produção da soja. Observaram-se impactos ambientais favoráveis nas categorias de mudanças climáticas, toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce. Avaliou-se também o retorno do investimento em P&D na geração do nematicida natural frente aos ganhos esperados com a tecnologia. O investimento em P&D retornou uma TIR de 29,29% e VPL de R\$ 41,55 mil em 20 anos, indicando retorno positivo da pesquisa. Os resultados permitem concluir que o fitonematicida é uma tecnologia promissora do ponto de vista econômico e ambiental. O retorno pode ser ainda maior considerando que sua adoção pode ser feita por um número maior de culturas agrícolas, expandindo o impacto econômico e ambiental no setor agrícola.

Palavras-chave: fitonematicida, soja, pesquisa e desenvolvimento.

Abstract

This study assessed the ex-ante economic and environmental impact of using the active principles under development at Embrapa Agroenergia in partnership with the private sector for the production of the Nematus® phytonematicide. The asset is used to control phytonematodes, a parasite that occurs in practically all agricultural regions of the country and has a great capacity to cause productivity losses. The estimated annual economic gain with the adoption of the technology reaches R \$ 24,565,612.50 in the fifth year of adoption, due to the reduction in soybean production costs. Favorable environmental impacts were observed in the categories of climate change, human toxicity and freshwater ecotoxicity. The return on investment in R&D in the generation of the natural nematicide was also evaluated in view of the expected gains with the technology. The investment in R&D returned an IRR of 29.29% and NPV of R \$ 41.55 thousand in 20 years, indicating a positive return on the research. The results allow us to conclude that phytonematicide is a promising technology from an economic and environmental point of view. The return can be even greater considering that its adoption can be made by a larger number of agricultural crops, expanding the economic and environmental impact in the agricultural sector.

Keywords: *pnematicide, soybean, research and development.*



1. Introdução

O agronegócio representou 26,6% do PIB total do Brasil no ano de 2020. A soma de bens e serviços gerados chegou próxima a R\$ 2 trilhões. O PIB do setor avançou 24,31% em 2020 frente a 2019, sendo que agricultura e pecuária correspondem a 24,20% e 24,56% deste valor (CNA, 2021). Segundo relatório do IPEA, a soja continuou sendo o carro-chefe de todos os produtos do agronegócio exportados pelo Brasil em 2020. Soja em grãos e farelo de soja responderam por 34,2% do total, em valor exportado, frente a 33,0% em 2019, o equivalente a US\$ 34,5 bilhões. Além disso, segundo dados do IPEA (2021), o Brasil se tornou o principal produtor mundial na safra 2019-2020, com 37,4% da produção total, seguido dos Estados Unidos (28,7%) e da Argentina (14,5%).

Um fator determinante para o alto desempenho apresentado pela agricultura brasileira ao longo do tempo foi a priorização de investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Tal fato permitiu ao país ocupar a posição de líder mundial no desenvolvimento de tecnologias para agricultura tropical. A zona tropical na qual o Brasil se insere tem como vantagens condições climáticas e tipos de solo que favorecem a agricultura e a biodiversidade, com abundância de espécies vegetais, insetos e microrganismos, entre outros. No entanto, os sistemas de produção de alimentos, fibras e energia predominantes no Brasil, nos quais prevalecem monocultivos de larga escala, propiciam ambiente favorável para a incidência e propagação de pragas nas lavouras, com impactos significativos na produção caso não sejam controlados.

Com efeito, um motivo de grande preocupação para a agricultura no Brasil é a infestação do solo por fitonematoides, que são endoparasitas fitófagos tipificados em mais de 3000 espécies vegetais. Esses parasitas ocorrem em praticamente todas as regiões agrícolas do País, e têm grande capacidade de causar perdas de produtividade em culturas de importância econômica como soja, algodão, feijão e cana-de-açúcar.

De acordo com dados da Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN) os prejuízos provocados por fitonematoides no agronegócio brasileiro são da ordem de R\$ 35 bilhões por ano. As perdas por doenças, em especial as ocasionadas por fitonematoides, são significativas, no caso da soja, com perdas anuais da ordem de R\$ 16,2 bilhões (SBN, 2020).

A principal medida para o controle desta praga tem sido a utilização, em grande escala e de forma indiscriminada, de nematicidas sintéticos com baixa especificidade e alto grau de contaminação de solos e mananciais de água, acarretando consideráveis riscos à saúde humana, animal e ao ambiente. Soma-se a isto o elevado custo que estes insumos químicos representam na produção agrícola. Frente às motivações socioeconômicas e ambientais, torna-se crucial a realização de estudos para buscar alternativas mais eficientes no controle destes fitoparasitas.

É neste contexto de inovação tecnológica, buscando maior sustentabilidade da produção agrícola brasileira, menor dependência de insumos químicos importados e maior oferta de matéria-prima da biodiversidade nacional que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA lançou, em 26 de maio de 2020, o Programa Nacional de Bioinsumos. O Programa tem por objetivo ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no País para beneficiar o setor agropecuário. Dentre as diretrizes cabe destacar a de “implementar sistemas sustentáveis de produção agropecuária, de distribuição e de uso de insumos, com base na legislação brasileira sobre substâncias permitidas para a produção orgânica, que aperfeiçoem as funções econômica, social e ambiental dos setores agropecuário e florestal” que irá demandar maiores esforços em ações de PD&I.



Nas instituições de pesquisa, públicas e privadas, inúmeras iniciativas estão em curso buscando impactar positivamente a sustentabilidade do setor agropecuário. Dentre elas, destaca-se a prospecção e validação do uso de substâncias químicas de origem renovável que possuam ação no controle de fitonematoides, que sejam biodegradáveis e que não apresentem efeitos citotóxicos prejudiciais ao homem. Trata-se de um desafio posto ao Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, que compreende instituições de pesquisa voltadas ao setor agrícola. Neste sentido, a Embrapa Agroenergia está desenvolvendo em parceria com empresas do setor privado, pesquisa para identificação e seleção de princípios ativos de extrato vegetais e fúngicos que contêm metabólitos nematotóxicos, com potencial de uso no controle de fitonematoides. O diferencial desta tecnologia é a busca por moléculas com alta especificidade, estabilidade térmica e baixa toxicidade, para diversos propósitos. Um dos objetivos é a customização dos princípios ativos para a produção do fitonematicida Nematus® para controle de fitonematoides no cultivo de soja.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar potenciais impactos econômicos e ambientais do uso dos princípios ativos para a produção do fitonematicida Nematus® em sistema de cultivo de soja *vis a vis* o desempenho de cultivos tradicionais. Para isto, o trabalho se organiza em quatro partes, além desta introdução. Na primeira parte, faz-se uma análise conjuntural do mercado de soja e de agroquímicos no Brasil. Em seguida, apresenta-se a metodologia de avaliação de impacto econômico e ambiental, considerando cenários de adoção do bioinsumo Nematus®. Os resultados são apresentados e discutidos na terceira parte, seguidos de considerações finais e referências.

2. Análise conjuntural do mercado de soja no Brasil e mercado global de agroquímicos: desafios para o controle de fitonematoides

O Brasil é o maior produtor e exportador de soja do mundo. O último levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento - Conab para o ano agrícola 2020/2021 estimou a área plantada de soja em 38,473 milhões de hectares de soja, com uma produção antecipada em 135,550 milhões de toneladas de soja e produtividade média estimada de 3.523 kg/ha (CONAB 2021).

A rentabilidade da cultura é demonstrada na Figura 01, ao se comparar os custos médios de produção da saca de soja (60 kg), em relação ao valor recebido pelo produtor, por estado, no mês de setembro de 2020. Observa-se que os custos mais baixos de soja no Brasil foram observados nos estados do Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Bahia, todos abaixo de R\$ 60,00 a saca de 60 kg. Os preços médios de soja de fevereiro de 2021, no Brasil, foram cotados a R\$ 153,03/60 kg. Os preços internacionais estão em alta pelos baixos estoques de passagem americanos e pela preocupação climática na Argentina que reduziu mais uma vez a sua produção. Além disso, o impacto do excesso de chuva na colheita brasileira ainda pode prejudicar o andamento da safra de 2021 e, com isso, influenciar os preços. (CONAB, 2021).

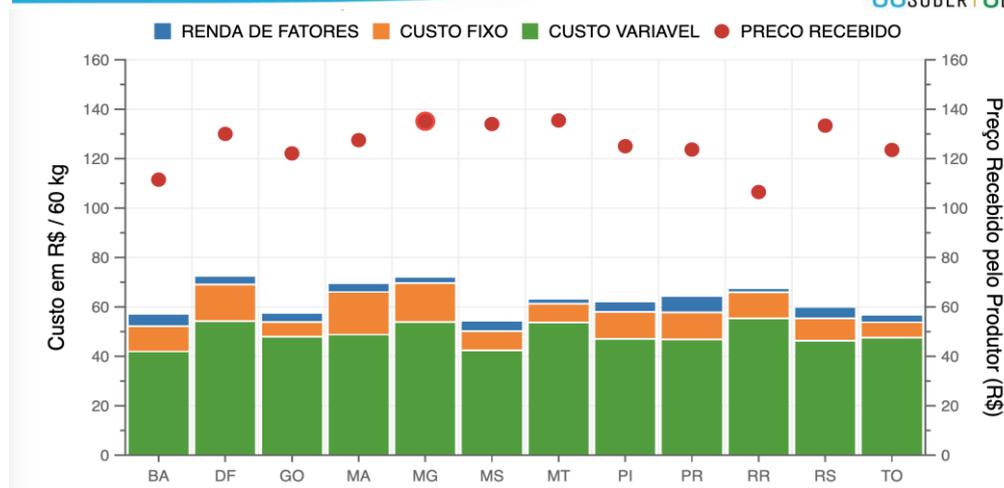


Figura 01. Custo de produção e preço recebido pelo produtor por estado. Fonte Conab 2020.

As despesas que compõem o custo variável da produção de soja, relativos à média nacional, são mostradas na Figura 02. Observa-se que os defensivos (agrotóxicos) usados no controle de pragas e doenças da cultura, onde se inserem os nematicidas, têm peso significativo, correspondendo a cerca de 30% do custo variável total. No caso do Brasil que é altamente dependente de importação de defensivos agrícolas, este componente acaba tendo grande influência no resultado econômico final da atividade. Isto porque o preço destes insumos está sujeito a variações cambiais e condições de oferta no mercado internacional, variáveis exógenas, sobre as quais não se tem controle. Em consequência traz maiores incertezas e risco econômico para a atividade.

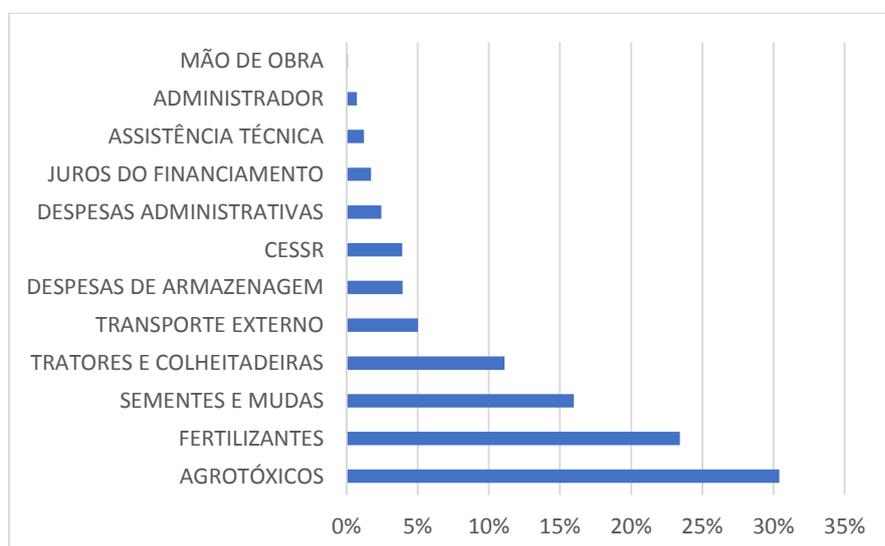


Figura 02. Detalhamento dos serviços e produtos que determinam o custo variável da soja. Fonte Conab, 2020.

Da mesma forma que a soja no Brasil, o mercado global de agroquímicos vem se transformando e se expandindo ao longo do tempo, acompanhando o crescimento da



produção de alimentos no mundo. A produção mundial de agroquímicos passou de 2,4 milhões de toneladas, em 1990, para 4,2 milhões de toneladas, em 2018 (Figura 03). Em 2019, este mercado atingiu valores da ordem de US\$ 84,5 bilhões em vendas, tendo crescido a uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 4,2%, desde 2015. Segundo relatório do “Business Research Company” (2020) este mercado deve crescer à taxa CAGR de 11,5%, atingindo em torno de US\$ 130,7 bilhões em faturamento até 2023. No Brasil, a Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM, 2020) estimou a receita do segmento de defensivos agrícolas em US\$ 11,5 bilhões no ano de 2020.

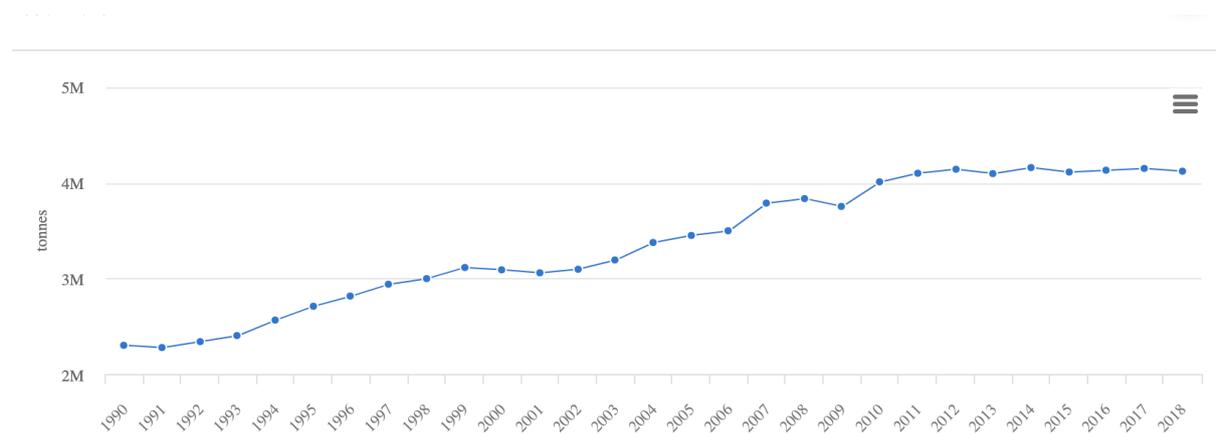


Figura 03. Quantidade (milhões de toneladas) de defensivos usados por ano (FAO).

Segundo análise da IndustryARC lançamentos de tecnologia, aquisições e atividades de P&D são estratégias fundamentais adotadas por *players* do mercado de defensivos agrícolas. O mercado de defensivos é fortemente consolidado pelos cinco principais participantes (Syngenta, Bayer, BASF, Dow AgroScience e DuPont). Como pode ser observado na Figura 04, a indústria agroquímica passou por várias ondas de concentração de mercado no período de 1970 a 2014, que se dão geralmente por meio de fusões e aquisições. O resultado é uma estrutura de mercado concentrada em poucas empresas, típico de mercados oligopolizados, o que torna viável alcançar economias de escala suficientes para suportar os custos crescentes de Pesquisa e Desenvolvimento. Segundo Sparks & Lorschbach (2016), em 1960 havia cerca de 50 empresas nos EUA e na Europa envolvidas na descoberta e desenvolvimento de novos defensivos. Em 2010 este número caiu para seis, com possíveis consolidações no futuro. Atualmente as principais empresas do mercado de defensivos são BASF SE, Nufarm Ltd, FMC Corp, BioWorks, DuPont, Monsanto, Natural Industries, Dow AgroSciences, Syngenta AG e Sumitomo Chemical, entre outras.

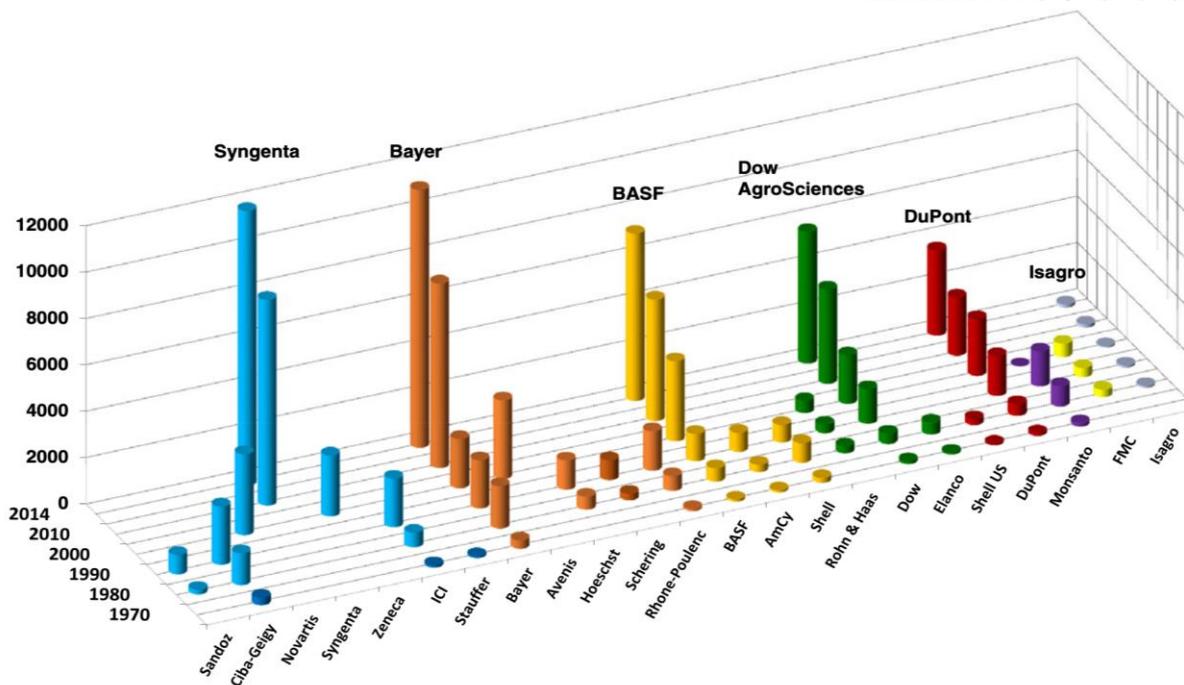


Figura 04. Vendas (US\$) e consolidação das empresas envolvidas na descoberta e desenvolvimento de novos defensivos nos Estados Unidos e Europa, no período entre 1970 a 2014.

Fonte: Sparks e Lorschach, 2016.

O nível de investimento em P&D necessário para colocar os novos princípios ativos no mercado é significativamente alto. Estimativas recentes indicam que são necessários investimentos da ordem de US\$ 286 milhões para a descoberta e o desenvolvimento de um novo agroquímico (SPARKS e LORSBACH, 2016). Este montante de investimento representa um aumento de 55% sobre a estimativa do ano de 2000 que era de US\$ 184 milhões. A Figura 05 mostra a distribuição deste investimento em termos de etapas de PD&I. Observa-se que aproximadamente 37% desse valor estão relacionados à descoberta de um novo produto (química, biologia e trabalho inicial de toxicologia/ambiente) e aproximadamente 12% são destinados para a fase de registro. Isso explica em grande medida o nível de concentração neste mercado, pois os elevados investimentos constituem uma barreira à entrada de competidores.

As principais tendências que influenciam o mercado de defensivos incluem a busca por alternativas ecológicas, sustentáveis e de menor custo. Muitos países já consideram a proibição de vários agroquímicos prejudiciais ao ambiente. Assim sendo, as empresas estão investindo em processos para fabricar alternativas menos prejudiciais, reduzindo os impactos ao ambiente.

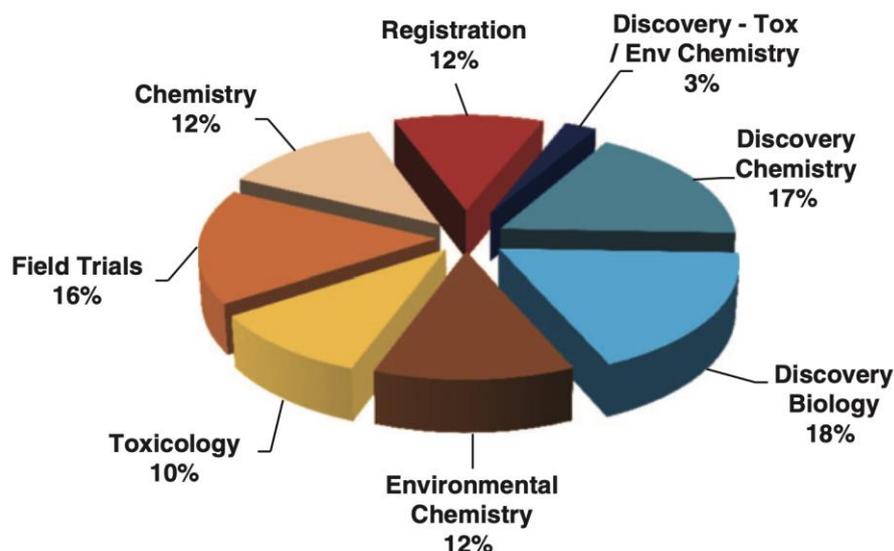


Figura 05. Distribuição de custos para inserção de um novo agroquímico: descoberta (tons de azul: US\$ 107 milhões, 37,4%); desenvolvimento (tons de marrom: US\$ 146 milhões, 51,1%); e registro (vermelho: US\$ 33 milhões, 11,5%). Total = US\$ 286 milhões. Fonte: Sparks & Lorschbach, 2016

A parcela que os produtos biológicos representam no mercado global de defensivos ainda é muito incipiente. Todavia, a expectativa por incrementos no setor de defensivos no Brasil é positiva, conforme relato da diretora da CropLife Brasil (que agrega uma série de entidades do setor), “o que chama a atenção não é a fotografia do momento, mas a perspectiva de crescimento, que é muito rápida” (ISTOÉ DINHEIRO, 2020). Segundo a diretora, mais da metade dos produtos disponíveis no segmento foi lançada nos últimos dois anos. Foi nesse período também que houve um aumento na capacidade produtiva das empresas, o que, dentre outros fatores, favorecia uma projeção de crescimento de 20 a 30% no mercado de produtos de base biológica ao fim de 2020, quando comparado a 2019. Conforme citado pela CropLife, “Esse mercado não está consolidado no Brasil, estamos em uma curva de crescimento acelerada, diante de uma série de oportunidades. Por isso, o potencial é enorme”.

Segundo o estudo BIP – Business Intelligence Panel Safra 2019-20, da Spark Inteligência Estratégica, divulgado pela Revista Cultivar (2020), no qual é analisado o desempenho dos produtos biológicos no mercado brasileiro, há três safras, no período 2019-2020, o segmento apresentou crescimento de 46% em reais e 34% em dólares, na comparação à safra anterior (2018-2019). A chamada área potencial tratada (PAT) também subiu 23%, para 19,4 milhões de hectares, nas regiões cobertas pelo levantamento BIP. De acordo com a Spark, a maior demanda por defensivos biológicos está atualmente concentrada nas culturas de soja (59% do mercado total), cana-de-açúcar (27%) e algodão (6%). Por categoria de produtos, os bioinseticidas lideram entre os mais vendidos, com 41% de participação, seguidos de bionematicidas (35%) e biofungicidas (24%) (REVISTA CULTIVAR, 2020).

3. Metodologia



3.1. Avaliação de impacto econômico

A avaliação de impacto econômico *ex-ante* foi realizada para estimar o benefício econômico com a adoção da tecnologia aplicada ao cultivo da soja no Brasil. O cenário de adoção foi definido considerando a hipótese que o custo dos princípios ativos para a produção do fitonematicida Nematus® podem ser reduzidos em até 70% em relação ao valor do nematicida tradicional (porque provém de fontes naturais, demanda basicamente matérias-primas residuais para sua produção, e poderá ser produzido no Brasil, não dependendo de importação). No entanto, frente às questões de logística e distribuição em uma cadeia produtiva já estabelecida, com pacotes tecnológicos fechados e benefícios de economia de escala, há a possibilidade de geração de custos adicionais para a adoção do Nematus®, sobretudo relacionado à distribuição e logística. De forma que, da redução total estimada no custo da ordem de 70%, optou-se por subtrair 20% para eventuais custos adicionais de adoção. Assim sendo, a redução final de custos considerada foi de 50% do valor do nematicida tradicional.

Foi definido um cenário de adoção progressiva da tecnologia no Brasil: no primeiro ano, o fitonematicida Nematus® é introduzido em uma área correspondente a 1% da área plantada de soja na safra 2020/2021, que é de 381.750 hectares (CONAB, 2021). A cada ano, aumenta-se em 1% a área de adoção, de modo que no quinto ano, 5% da área plantada de soja no Brasil estariam utilizando o fitonematicida Nematus®, totalizando 1,9 milhões de hectares de soja.

3.2. Avaliação do retorno do investimento em pesquisa e desenvolvimento

Com os resultados obtidos na avaliação do impacto econômico da tecnologia, buscou-se avaliar o retorno econômico do investimento feito na pesquisa. Para o levantamento do custo de geração da tecnologia foram consideradas as despesas diretas do projeto (custeio e investimento), bem como as despesas indiretas, relacionadas à administração e manutenção do centro de pesquisa da Embrapa Agroenergia, incluindo depreciação de laboratório, gastos com pessoal e treinamento.

Para análise de retorno do investimento em P&D considerou-se um período de 20 anos, ao longo do qual o investimento no desenvolvimento da tecnologia ocorre nos 4 primeiros anos, sem gerar nenhuma receita, apenas fluxo negativo. Após esse período considerou-se 10 anos para as ações relacionadas ao registro do ativo e inserção no mercado. Por ser uma avaliação *ex ante*, não se dispõe no momento de informações sobre gastos com transferência de tecnologia. Optou-se por deixar esses dez anos no fluxo de caixa zerados. A partir do décimo quarto ano iniciam-se os ganhos com a utilização crescente do nematicida no cultivo da soja. No décimo oitavo ano as receitas no fluxo de caixa se estabilizam, permanecendo constantes até o vigésimo ano. Os indicadores de rentabilidade utilizados na análise foram: taxa interna de retorno (TIR), relação benefício custo (BC) e valor presente líquido (VPL).

3.3. Avaliação dos impactos ambientais potenciais

Os benefícios ambientais potenciais com a redução do uso de nematicidas tradicionais foram também avaliados. Para tanto, o inventário de produção de soja publicado por Folegatti-Matsuura & Picoli (2018), disponível na base de dados Ecoinvent v. 3.7 foi usado como referência e simulou-se a retirada dos nematicidas tradicionais para 1% da safra anual



de soja, com incrementos anuais de 1% de adoção até estabilização em 5%. O inventário utilizado representa a média ponderada dos sistemas de produção de soja no Brasil. Os conjuntos de dados foram modelados para os principais estados produtores brasileiros: Goiás (GO), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS). Optamos por usar o inventário do MT para simulação por ser o mais representativo do Brasil (aproximadamente 29% do volume produzido). A cobertura temporal dos conjuntos de dados publicados corresponde ao período de 2012 a 2016. Não foi inserido neste estudo o impacto ambiental da tecnologia em estudo, foi estimado somente o potencial de redução dos impactos.

Três categorias de impacto de ponto médio foram selecionadas para o estudo: mudanças climáticas, toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce. O método ReCiPE (H) v 1.13 (GOEDKOOOP et al., 2012) com abordagem de ponto médio foi aplicado para calcular os fatores de impacto. Os cálculos foram realizados no software OpenLCA 1.10.3.

4. Resultados e discussão

4.1. Impacto econômico da ação da tecnologia

Os custos de produção de soja no município de Sorriso (MT), fornecidos pela CONAB, foram usados como referência para a análise e estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que a produtividade da soja na safra 2020/2021 foi de 3.120 kg/ha, com um custo total de R\$ 2.811,48/ha. As despesas com agrotóxicos respondem por 31,35% do custo variável e 27,61% do custo total. Neste sistema de cultivo, os gastos com nematicidas são de R\$ 51,48/ha. Com a substituição pelos princípios ativos Nematus® este custo cairia para R\$15,44/ha. Portanto, a redução no custo variável é de R\$36,04/ha, o que corresponde a 1,42% do custo variável. É importante ressaltar que o ativo tecnológico foi testado para o nematoide *M. incognita*, mas pode ter ação para outros ainda não testados. Os demais custos de produção foram considerados *ceteris paribus*, ou seja, mantidos constantes.

Trazendo estes valores para um cenário de adoção progressiva da tecnologia no Brasil, é possível estimar o potencial de benefício econômico e ambiental da inovação. Considerou-se a adoção gradual da tecnologia ao longo de cinco anos, no primeiro ano, os princípios ativos Nematus são introduzidos em uma área correspondente a 1% da área plantada de soja na safra 2020/2021, o que equivale a uma área de adoção de 381,75 mil hectares de soja. Após incrementos sucessivos, no quinto ano, 5% da área plantada de soja no Brasil estariam utilizando os princípios ativos Nematus, totalizando 1,9 milhões de hectares de soja.

Este cenário é compatível com as pretensões do Programa Nacional de Bioinsumos, lançado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, por meio do Decreto N° 10.375, de 26 de maio de 2020. De acordo com o secretário de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação do MAPA, a partir dos incentivos do Programa, espera-se aumentar em 13% a área agropecuária que utiliza recursos biológicos (MAPA, 2020). Atualmente, o mercado de controle biológico no Brasil abrange uma área de 10 milhões de hectares tratada com biodefensivos para controle de pragas, movimentando R\$ 528 milhões por ano (US\$ 164,9 milhões ao câmbio de fevereiro/2018), segundo dados da pesquisa encomendada pela ABCBIO - Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico (BIOTAINOVA, 2018).



Tabela 1 – Custos de produção de soja OGM, em Sorriso/MT, safra 2020/2021

Discriminação	Custo (R\$/ha)	Participação CT (%)
I - Despesas de Custeio (A)	2.068,12	73,56
1 - Operação c/tratores e colheitadeiras	143,84	5,12
2 - Administrador	7,84	0,28
3 - Sementes e mudas	225,00	8,00
4 - Fertilizantes	913,50	32,49
5 - Agrotóxicos	776,27	27,61
II- Outras Despesas (B)	367,16	13,06
6 - Transporte Externo	109,20	3,88
7 - Despesas Administrativas	62,04	2,21
8 - Despesas de armazenagem	92,22	3,28
9 - Assistência Técnica	41,36	1,47
10 - CESSR	62,34	2,22
III - Despesas Financeiras (C)	41,05	1,46
11 - Juros do Financiamento	41,05	1,46
Custo Variável (A+B+C)=D	2.476,33	88,08
IV - Depreciações	205,90	7,32
12 - Depreciação de benfeitorias	64,21	2,28
13 - Depreciação de implementos	56,09	2,00
14 - Depreciação de Máquinas	85,60	3,04
V - Outros Custos Fixos (F)	17,20	0,61
15 - Manutenção Periódica Benfeitorias/Instalações	5,17	0,18
16 - Encargos Sociais	3,57	0,13
17 - Seguro do capital fixo	8,46	0,30
Custo Fixo (E+F=G)	223,10	7,93
Custo Operacional (D+G)=H	2.699,43	96,01
VI - Renda de Fatores(I)	112,05	3,99
18 - Remuneração sobre o capital fixo	69,63	2,48
19 - Terra Própria	42,42	1,51
Custo Total (H+I=J)	2.811,48	100,00
Produtividade kg/ha:	3.120	

Fonte: CONAB.

Observa-se na Tabela 2 que o custo do hectare de soja sem a tecnologia é de R\$2.532,78/ha e com a tecnologia cai para R\$ 2.496,744. O ganho é de R\$36,04/ha. Todavia, supõe-se um custo adicional para adoção de R\$ 10,30/ha, associado a despesas com distribuição e logística. O ganho unitário resultante é de R\$ 25,74/ha, o que representa uma redução de 50% em relação ao valor do insumo químico utilizado no sistema de cultivo de em Sorriso/MT (Tabela 1). Atribui-se à Embrapa 50% do ganho unitário da tecnologia, de R\$12,87/ha. Considerando a área de adoção da tecnologia, os benefícios econômicos com a redução dos custos de produção são estimados em R\$ 4.913.122,50 no primeiro ano,



atingindo R\$ 24.565.612,50 no quinto ano, quando a adoção da tecnologia corresponde a 5% da área plantada.

Tabela 2 – Impactos Econômicos por Redução de Custos

Ano	Custos Tecnologia Tradicional R\$/ha	Custos Tecnologia Embrapa R\$/ha	Economia Obtida R\$/ha	Custo Adicional R\$/ha	Ganho Unitário R\$/ha	Área de Adoção (ha)	Impacto Econômico R\$ mil
	A	B	C=A-B	D	E=C-D	F	G=ExF
2031	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	381.750	4.913.122,5
2032	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	763.500	9.826.245,0
2033	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	1.145.250	14.739.367,5
2034	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	1.527.000	19.652.490,0
2035	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	1.908.750	24.565.612,5
2036	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	1.908.750	24.565.612,5
2037	2.532,78	2.496,74	36,04	10,30	25,74	1.908.750	24.565.612,5

Fonte: elaborado pelos autores.

4.2. Avaliação do retorno do investimento em pesquisa e desenvolvimento

4.2.1. Custos da Tecnologia

As despesas de Custeio de Pesquisa e Custos de Administração foram previstas no Projeto “NEMATUS”, realizado em parceria com as empresas Demetra Agrosience e Santa Clara Agrociência e financiado pela Embrapa, Embrapii e Sebrae, o projeto iniciou-se em 2018 e tem previsão de finalização em 2021. O orçamento original do projeto é R\$ 2.400.000,00 adicionalmente foram captados recursos para bolsas CNPq no valor de R\$ 147.000,00. A taxa de administração do projeto foi de R\$ 87.380,00.

As despesas indiretas, compostas pelo custo de pessoal e depreciação de capital, foram estimadas na forma de contrapartida do projeto, no valor de R\$ 800.000,00. Observa-se na Tabela 03, que atualmente o custo do desenvolvimento da tecnologia é de R\$ 2,55 milhões, sendo 65,17% destinado a custeio de pesquisa, 31,4% custeio de pessoal e depreciação de capital e 3,43% custos de administração.

A estimativa de custos de pessoal considerou o tempo dedicado de cada membro da equipe ao longo da execução do projeto e o valor da hora, de acordo com o cargo. Da mesma forma, o custo de depreciação da estrutura física usada no projeto, especialmente de laboratórios, foi calculado com base no tempo de uso da equipe nas instalações e no valor da depreciação por hora de uso.

Tabela 3 – Estimativa dos custos da pesquisa

Ano	Pessoal e depreciação de Capital*	Custeio de Pesquisa	Custos de Administração	Total
2018	200.000,00	389.405,00	20.495,00	609.900,00



2019	200.000,00	509.390,00	26.810,00	736.200,00
2020	200.000,00	385.415,00	20.285,00	605.700,00
2021	200.000,00	376.010,00	19.790,00	595.800,00
Total	600.000,00	1.660.220,00	87.380,00	2.547.600,00

* Os custos de depreciação de capital foram calculados juntos com o custo de pessoal na forma de contrapartida do projeto.

4.2.1. Análise da rentabilidade do investimento em pesquisa

A análise de rentabilidade procurou avaliar o retorno econômico do investimento em P&D (gastos diretos e indiretos com a pesquisa) relativamente aos ganhos esperados com a sua adoção gradativa, estabilizando no uso do extrato em 5% da área plantada de soja (dados apresentados na Tabela 2). Os valores relativos ao fluxo de investimento em P&D estão detalhados na Tabela 3. O fluxo de benefícios utilizado na análise corresponde à parcela do benefício econômico atribuído à Embrapa, estimado com base na redução dos custos de produção.

Os resultados são apresentados na Tabela 4 permitem concluir que no cenário proposto o investimento na pesquisa retorna uma TIR de 29,29%, o que indica viabilidade econômica, pois essas taxas são superiores às taxas de juros de mercado que poderiam ser adotadas como referência. A taxa SELIC, por exemplo, que é a taxa básica de juros do mercado brasileiro, fechou em 2% a.a. na reunião do Copom de 09/12/2020. A máxima atingida nos últimos quatro anos foi de 12,9% a.a em janeiro de 2017 (BACEN, 2020).

A relação de custo-benefício obtida na fase agrícola foi de R\$ 18,97, o que significa que para cada R\$ investido na pesquisa até 2021, conforme data de finalização do projeto, a tecnologia retorna esse valor de R\$ 18,97 em diferencial de receita obtida com o uso dos princípios ativos para a produção do fitonematicida Nematius®.

Ao final de 20 anos, a tecnologia gera um VPL de R\$ 41.547,82 (Tabela 04). Dessa forma, no cenário proposto, os benefícios econômicos obtidos pela Embrapa pagam todo o investimento realizado na pesquisa (direto e indireto), com remuneração dos valores à uma taxa de 6% a.a e retorna esse montante ao final do período de 20 anos.

Optou-se por um cenário conservador, considerando a adoção do extrato em até 5% da área plantada de soja para estimar a rentabilidade do investimento na pesquisa, uma vez que o desenvolvimento do ativo está em estágio inicial de desenvolvimento. Outra suposição conservadora é não considerar os demais ganhos, que podem vir do uso do ativo em outras culturas. Ainda assim, verificou-se que o retorno do investimento foi positivo, mostrando o potencial de rentabilidade do investimento na pesquisa.

Tabela 4 - Análises de rentabilidade do investimento em pesquisa

Taxa Interna de Retorno TIR	Relação Benefício/Custo B/C (6%)	Valor Presente Líquido VPL (6%)
29,29%	18,97	R\$ 41.547,82

Fonte: elaborado pelos autores.



4.3 Impactos ambientais

Os benefícios ambientais potenciais com a redução do uso do nematicida sintético, considerando o mesmo cenário de adoção, estão apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7. Apesar de observarmos uma pequena redução relacionada ao cenário base, estes valores representam uma melhoria significativa no cenário geral, em função da grande área de cultivo de soja.

No caso da categoria de impacto de mudanças climáticas, existe o potencial para evitarmos a emissão de 484 t de CO₂-Eq no primeiro ano, chegando a 2,42 mil t CO₂-Eq no quinto ano de adoção da tecnologia. Para efeitos de comparação, LACERDA et al. (2009) relata valores de fixação de CO₂ equivalente entre 103,4 a 689,3 t.ha⁻¹ para as florestas tropicais nas Américas, segundo os autores os valores encontrados na literatura sobre fixação de carbono na forma de CO₂-equivalente são muito variáveis. Para o cenário de adoção proposto, até 2037 (adoção em 5% da área plantada de soja), serão evitadas emissões de 12,1 mil t CO₂-Eq, o que representa a fixação de carbono de uma área entre 122,88 e 819,18 de hectares de florestas tropicais.

Tabela 5 - Benefício Ambiental potencial por Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa – Categoria de Impacto: Mudanças Climáticas

Ano	Área de Adoção (ha)	Impacto sem o uso da tecnologia Embrapa (kg CO ₂ -Eq)	Impacto com o uso da tecnologia Embrapa em avaliação (kg CO ₂ -Eq)	Benefício Ambiental – Emissões evitadas (kg CO ₂ -Eq)
	(A)	(B)	(C)	D=(B-C)
2031	381.750	6.007.024.325	6.006.540.305	484.020
2032	763.500	12.014.048.650	12.013.080.610	968.040
2033	1.145.250	1.8021.072.975	18.019.620.915	1.452.060
2034	1.527.000	24.028.097.300	24.026.161.220	1.936.080
2035	1.908.750	30.035.121.625	30.032.701.525	2.420.100
2036	1.908.750	30.035.121.625	30.032.701.525	2.420.100
2037	1.908.750	30.035.121.625	30.032.701.525	2.420.100

Fonte: elaborado pelos autores.

A categoria de impacto de toxicidade diz respeito aos efeitos de substâncias tóxicas ao ambiente e à saúde humana. Os valores são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno por kg de emissão. No cenário proposto, para a categoria toxicidade humana, existe o potencial de evitarmos a emissão de 233,943 mil kg 1,4-DCB-Eq no primeiro ano de adoção, chegando a 1,17 milhões kg 1,4-DCB-Eq no quinto ano. No caso da categoria ecotoxicidade de água doce, o benefício ambiental varia de 16,443 a 82,216 mil kg 1,4-DCB-Eq, no primeiro e quinto ano respectivamente.

Tabela 6 - Benefício Ambiental Potencial por Melhoria no perfil de toxicidade humana – Categoria de Impacto: toxicidade humana

Ano	Área de Adoção (ha)	Impacto sem o uso da tecnologia Embrapa (kg 1,4-DCB-Eq)	Impacto com o uso da tecnologia Embrapa em avaliação (kg 1,4-DCB-Eq)	Benefício Ambiental (kg 1,4-DCB-Eq)
-----	---------------------	---	--	-------------------------------------



	(A)	(B)	(C)	D=(B-C)
2031	381.750	243.170.304	242.936.361	233.943
2032	763.500	486.340.607	485.872.721	467.886
2033	1.145.250	729.510.911	728.809.082	701.829
2034	1.527.000	972.681.214	971.745.442	935.772
2035	1.908.750	1.215.851.518	1.214.681.803	1.169.715
2036	1.908.750	1.215.851.518	1.214.681.803	1.169.715
2037	1.908.750	1.215.851.518	1.214.681.803	1.169.715

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 7 - Benefício Ambiental Potencial por Melhoria no perfil de ecotoxicidade de água doce - Categoria de Impacto: ecotoxicidade de água doce

Cenário de Adoção	Área de Adoção (ha)	Impacto sem o uso da tecnologia Embrapa (kg 1,4-DCB-Eq)	Impacto com o uso da tecnologia Embrapa em avaliação (kg 1,4-DCB-Eq)	Benefício Ambiental – (kg 1,4-DCB-Eq)
	(A)	(B)	(C)	D=(B-C)
2031	381.750	13.347.887	13.331.444	16.443
2032	763.500	26.695.774	26.662.887	32.886
2033	1.145.250	40.043.660	39.994.331	49.330
2034	1.527.000	53.391.547	53.325.774	65.773
2035	1.908.750	66.739.434	66.657.218	82.216
2036	1.908.750	66.739.434	66.657.218	82.216
2037	1.908.750	66.739.434	66.657.218	82.216

Fonte: elaborado pelos autores.

Vale lembrar que este é um cenário de adoção conservador, considerando a adoção do extrato em apenas 5% da área plantada de soja, além de não considerar os demais ganhos ambientais, que poderiam advir do uso do ativo em outras culturas.

O desenvolvimento de defensivos agrícolas biológicos tem por objetivo principal oferecer alternativas que garantam ganhos ambientais e de saúde para os aplicadores e usuários dos produtos. Tais ganhos poderiam ser monetizados, por exemplo, pela melhoria dos impactos negativos apresentados acima. Com tais ganhos reconhecidos seria possível uma avaliação mais justa do ganho econômico potencial de produtos dessa natureza e narrativas mais fortalecidas para disseminar seu benefício e ampliar seu uso, mesmo em um cenário que estas alternativas sejam aparentemente mais caras que as alternativas convencionais.

5. Considerações Finais

Considerando que o governo busca a expansão de mercados para o Brasil e que também almeja a substituição de produtos importados por produtos nacionais, acredita-se que o desenvolvimento de um nematocida de origem natural, competitivo do ponto de vista técnico e econômico, será mais uma contribuição da Embrapa para o desenvolvimento econômico do país, especialmente alinhado com as premissas de sustentabilidade e uso de recursos naturais



renováveis. Foi verificado no presente estudo que o desenvolvimento dos princípios ativos para a produção do fitonematicida *Nematus* apresenta potencial impacto ambiental e econômico significativos para o agronegócio do País, podendo ainda ser estendido para outras regiões do mundo.

A inserção de nematicidas de origem renovável no mercado de defensivos agrícolas que apresentam as características demandadas pelas empresas parceiras (alto rendimento, eficiência no controle de nematoides, baixa toxicidade, baixa fitotoxicidade, termoestabilidade, biodegradabilidade e viabilidade técnica/econômica) pode trazer benefícios econômicos e reconhecimento institucional de alto impacto para a imagem da Embrapa. A tecnologia poderá gerar retorno financeiro à Embrapa por meio da exploração comercial dos produtos gerados e da captação de *royalties*.

Os dados obtidos nas avaliações *ex ante* até o momento permitem concluir que a tecnologia é promissora e tem grande potencial para contribuir para o desenvolvimento tecnológico e econômico do país. Considerando a adoção do ativo na cultura de soja, os resultados indicaram ganho econômico da ordem de R\$ R\$ 4.913.122,50 no primeiro ano (correspondente a adoção em 1% da área plantada de soja), chegando a R\$ 49.131.225,00 no quinto ano de adoção (adoção em 5% da área de soja). Esse adicional de receita é devido ao menor custo relativo esperado da tecnologia. A taxa interna de retorno foi de 29,29% e o VPL de R\$ 41.547,82 para um período de 20 anos. Estes indicadores permitem afirmar que o investimento na pesquisa é viável economicamente. Porém, o retorno pode ser ainda maior considerando sua adoção por um número maior de culturas de importância econômica.

6. Referências

ABIQUIM. O desempenho da indústria química brasileira, 2020.

AGROLINK. Por ano, nematoides causam prejuízos de R\$ 35 bilhões ao agronegócio nacional. Disponível em https://www.agrolink.com.br/noticias/por-ano--nematoides-causam-prejuizos-de-r--35-bilhoes-ao-agronegocio-nacional_343212.html. Acesso em: 07/01/2021.

BACEN, BANCO CENTRAL DO BRASIL, disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 18/01/2021.

BIOTAINOVA. 10 milhões de hectares no Brasil já usam defensivo biológico. Publicado em 27 Outubro, 2018. Disponível em: <https://biotainova.com.br/blog/63>. Acesso em: 07/01/2021

Business Research Company. Pesticide Market. Disponível em <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/pesticides-market>. Acesso em 11/01/2021.



CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica das Safras. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-soja>. Acesso em 10/04/2021.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Relatório do PIB do Agronegócio de 09/03/2021. Disponível em: https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/boletins/sut.pib_dez_2020.9mar2021.pdf. Acesso em 09/04/2021.

Folegatti-Matsuura M. I. S., Picoli J. F., (2018). Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil.ecoinvent Association, Zürich, Switzerland.

Goedkoop, M., et al., 2012. ReCiPe: A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonized Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level.

IndustryARC. “Pesticides Market: By Type (Bio-Pesticides, Synthetic Pesticides); By Crop Type (Vegetables & Fruits, Oilseeds & Pulses, Cereals & Grains, Commercial Crops, Plantation Crops and Others) & By region – Forecast (2020 - 2025)” disponível em <https://www.denversun.com/news/263929515/pesticides-market-is-growing-at-cagr-of-367-during-2020-2025>. Acesso em 11/01/2021.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Carta de Conjuntura | 50 | Nota 29 | 1° trimestre de 2021

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T, Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa de biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. Centro de Métodos Quantitativos do Depto. de Ciências Florestais, ESALQ. Universidade de São Paulo. METRVM (ISSN 1519-5058), no 5/nov/2009.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa Nacional de Bioinsumos é lançado e vai impulsionar uso de recursos biológicos na agropecuária. Publicado em 27/05/2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/programa-nacional-de-bioinsumos-e-lancado-e-vai-impulsionar-uso-de-recursos-biologicos-na-agropecuaria-brasileira>. Acesso em 10/01/2021.

PERES, FREDERICO; MOREIRA, JOSINO COSTA; DUBOIS, GAETAN SERGE. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema / Pesticides, health and environment: an introduction to the subject In: Peres, Frederico; Moreira, Josino Costa. É veneno ou é remédio: agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro, FIOCRUZ, 2003. p.21-41, tab.

Revista Cultivar. Mercado de biológicos para a agricultura já movimentou quase R\$ 1 bilhão no Brasil. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/mercado-de-biologicos-para-a-agricultura-ja-movimentou-quase-r-1-bilhao-no-brasil> (22/10/2020). Acesso em: 22/11/2020.

Revista Cultivar. Embrapa e Santa Clara Agrociência firmam parceria para desenvolver e produzir nematicidas biológicos. Disponível em:



<https://www.grupocultivar.com.br/noticias/embrapa-e-santa-clara-agrociencia-firmam-parceria-para-desenvolver-e-produzir-nematicidas-biologicos> (19/06/2018). Acesso em: 07/01/2021.

Revista Istoé Dinheiro. Mercado de defensivos biológicos avança. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/mercado-de-defensivos-biologicos-avanca/>. Acesso em 07/01/2021.

Revista Rural. Grupo Santa Clara espera crescer 43% na safra 2020/2021. Disponível em: <https://www.revistarural.com.br/2020/10/16/grupo-santa-clara-espera-crescer-43-na-safra-2020-2021/>. Acesso em 12/10/2020.

SPARKS, T.C., LORSBACH, B.A. Perspectives on the agrochemical industry and agrochemical discovery. *Pest Manag Sci* 2016; 73:672-677.