

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
NAYARA ALMEIDA SILVA

**ESTUDO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOHERBICIDAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS
HERBICIDAS ATUALMENTE UTILIZADOS**

FORMIGA – MG
2019

NAYARA ALMEIDA SILVA

ESTUDO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOHERBICIDAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS
HERBICIDAS ATUALMENTE UTILIZADOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.

FORMIGA – MG

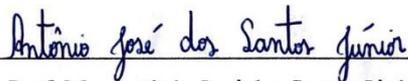
2019

NAYARA ALMEIDA SILVA

ESTUDO SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOHERBICIDAS EM SUBSTITUIÇÃO AOS
HERBICIDAS ATUALMENTE UTILIZADOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Antônio José dos Santos Júnior

Orientador



Prof. D.r Alex Magalhães de Almeida

UNIFOR - MG


Prof. M.e Samuel da Silva Ribeiro

UNIFOR - MG

Formiga, 07 de novembro de 2019

Dedico este trabalho aos meus pais,
José Carlos e Rosemary,
grandes colaboradores e incentivadores, que
não mediram esforços para que eu chegasse
até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu trilhar esse caminho, depositando em meu coração a força necessária para chegar até aqui. A Ele toda honra e toda glória!

Aos meus pais, José Carlos e Rosemary, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando ao longo de toda a trajetória. Vocês são meu alicerce!

Ao meu irmão, Daniel, pela amizade e contribuição valiosa.

Aos meus queridos avôs, Eurico, Silvia e Maria, pelo carinho incondicional e incentivo nas horas difíceis.

Agradeço ao meu namorado, Cleiton, que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Ao meu orientador, Antônio, pelo apoio, confiança e empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

A todos os mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica e no processo de formação profissional.

Ao Centro Universitário de Formiga, seu corpo docente, direção e administração.

Aos meus colegas de curso, que juntos construímos uma grande história em busca de um mesmo ideal, conseguimos avançar, ultrapassar todos os obstáculos e agora, levamos um pouco da riqueza de cada um.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho e que fizeram parte da minha formação, muito obrigada!

RESUMO

O aparecimento de plantas daninhas nos cultivos são um dos principais problemas enfrentados pelos agricultores, pois estas são responsáveis por grandes perdas na produtividade. O controle dessas pragas é realizado basicamente através de produtos sintéticos, conhecidos como herbicidas. No entanto, o uso contínuo e incorreto dessas substâncias químicas acarreta em resultados negativos para o meio ambiente e também para a saúde humana como: a contaminação dos ecossistemas, a contaminação dos alimentos por resíduos químicos, a intoxicação de trabalhadores e o surgimento de biótipos de plantas daninhas resistentes a diversos mecanismos de ação dos herbicidas. Dessa forma, a busca por alternativas ao uso desses produtos agrícolas constitui num dos desafios para o cultivo mais sustentável. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo elaborar um estudo sobre a produção de bioherbicidas que se destacam como uma mudança ao controle convencional. Além de avaliar as perspectivas e as potencialidades como formas de manejo de plantas daninhas, em aspectos ambientais, econômicos e produtividade. Assim, foram abordados diversos estudos envolvendo produção de bioherbicidas a partir de fungos, bactérias e plantas, sendo que muitos deles apresentaram grande eficiência de controle, principalmente relacionados aos processos de germinação e desenvolvimento das plantas daninhas. Porém, considerando os resultados obtidos, há uma barreira significativa para o desenvolvimento em larga escala de muitos bioherbicidas, além de sua produção ser considerada um processo complexo que demanda muito investimento e tempo.

Palavras-chave: Plantas daninhas. Controle biológico. Bioherbicidas.

ABSTRACT

The emergence of weeds in crops is one of the main problems faced by farmers, as they are responsible for large losses in productivity. These pests are controlled primarily through synthetic products known as herbicides. However, the continuous and incorrect use of these chemicals results in negative results for the environment and also for human health, such as: contamination of ecosystems, contamination of food by chemical residues, intoxication of workers and the emergence of biotypes. weeds resistant to various mechanisms of herbicide action. Thus, the search for alternatives to the use of these agricultural products constitutes one of the challenges for more sustainable cultivation. In this sense, the present work aimed to elaborate a study about the production of bioherbicides that stand out as a change to the conventional control. In addition to assessing the prospects and potentialities as ways of weed management in environmental, economic and productivity. Thus, several studies involving bioherbicide production from fungi, bacteria and plants were approached, and many of them showed great control efficiency, mainly related to weed germination and development processes. However, considering the results obtained, there is a significant barrier to the large scale development of many bioherbicides, and their production is considered a complex process that requires a lot of investment and time.

Keywords: Weeds. Biological control. Bioherbicides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento da produção agrícola brasileira	16
Figura 2 – Plantas daninhas no cultivo de milho.....	20
Figura 3 – Síntese do 2,4 D	22
Figura 4 – Regiões, em vermelho, infestadas com plantas daninhas resistentes no Brasil no ano de 2015.....	25
Figura 5 – Buva (<i>Conyza bonariensis</i>).....	26
Figura 6 – Capim amargoso (<i>Digitaria insularis</i>).....	27
Figura 7 – Capim pé de galinha (<i>Eleusine indica</i>)	27
Figura 8 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) nos alimentos	29
Figura 9 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) nos alimentos	30
Figura 10 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) na água potável	31
Figura 11 – Atendimentos por intoxicação por agrotóxicos agrícolas (2007-2017).....	32
Figura 12 – O “círculo” de Manzanita.....	35
Figura 13 – Resposta as diferentes doses do extratode leucema	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Importações, exportações e saldo da balança comercial do agronegócio brasileiro, de 1989 a 2017.....	17
Gráfico 2– Consumo de agrotóxicos e afins - 2000 a 2017.....	19

LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

OMS – Organização Mundial da Saúde

PIB – Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1. Agricultura	16
4.1.1. Obstáculos para o desenvolvimento da agricultura	18
4.2. Plantas daninhas	20
4.3. Controle químico de plantas daninhas: Herbicidas	21
4.4. Modos de classificação dos herbicidas	23
4.5. Limitações do uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas.....	24
4.6. Controle biológico.....	32
4.6.1. Controle biológico de plantas daninhas: Bioherbicidas.....	33
4.6.2. Aleloquímicos	35
4.6.3. Estudos para produção de novos bioherbicidas	37
4.6.3.1. Bioherbicidas baseados em fungos.....	37
4.6.3.2. Bioherbicidas baseados em bactérias.....	39
4.6.3.3. Bioherbicidas baseados em plantas.....	40
5. METODOLOGIA.....	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem papel importante na economia do país e sofre evolução constante (SEIDLER; FRITZ FILHO, 2016). Inicialmente a história econômica do Brasil foi baseada em explorações primárias, um país importador líquido de alimentos. Mas, ao longo dos últimos cinquenta anos, o uso intensivo de ciência, os avanços tecnológicos e os altos investimentos possibilitaram ganhos acentuados na produtividade, o que tornou o Brasil um dos maiores exportadores de alimentos do mundo (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

Contudo, desde o início do desenvolvimento da agricultura, a produção está diretamente relacionada com a aplicação de pesticidas para o controle das “pestes” que atacam as plantas de interesse agrícola (PRIMEL *et al.*, 2005). Nesse sentido, a ocorrência de plantas daninhas apresenta-se como um dos principais problemas enfrentados pela agricultura moderna e considerada a tarefa mais difícil realizada pelos agricultores em todo o mundo (OSIPE *et al.*, 2013).

Em média, 15% da produção mundial de grãos são perdidas em razão do aparecimento de plantas daninhas nas lavouras. São espécies que interferem negativamente na cultura de interesse (BAYER BRASIL, 2018), além de gerar danos que vão desde a redução significativa da produtividade até inviabilização da colheita, sujeita a perda total do cultivo (GLOBO RURAL, 2018).

A descoberta de substâncias com propriedades herbicidas surgiu no final do século XIX e início do século XX, como a principal técnica de combate químico às plantas daninhas. A partir de 1960, essas mudanças abriram as portas para o desenvolvimento de sistemas mais intensivos de produção, marcando o início de uma nova etapa na história da agricultura, chamada “Revolução Verde”, em que o emprego de defensivos químicos passou a ser amplamente utilizado (SILVA *et al.*, 2018).

O controle de plantas daninhas com uso de herbicidas tem aumentado desde a década de 70 e atualmente é o método mais utilizado na agricultura mundial. No que se refere aos produtos agrícolas, o Brasil é um dos maiores mercados do mundo. Em 2017, o volume de vendas no segmento de herbicidas foi US\$ 3,1 bilhões, 35% do total da comercialização de defensivos do país (GLOBO RURAL, 2018; SILVA *et al.*, 2007).

No entanto, o uso indiscriminado de herbicidas, associado à ausência de outros métodos de controle, tem resultado em contaminação de ordem ambiental, nas águas e nos solos, além da seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas (SILVA *et al.*, 2018). Atualmente, no mundo, estão listadas 252 espécies de plantas daninhas resistentes a

herbicidas e no Brasil, as pesquisas apontam 44 espécies resistentes, cerca de 20% do total (BAYER BRASIL, 2018).

Além disso, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), entre os países em desenvolvimento, os agrotóxicos causam, anualmente, 70 mil intoxicações agudas e crônicas e o uso dessas substâncias está altamente associado à incidência de doenças como o câncer e outras genéticas. Devido a gravidade do problema e em meio à crescente pressão internacional para reduzir a utilização de produtos químicos, se questiona que mais da metade dos agrotóxicos usados no Brasil são banidos em países da União Europeia e nos Estados Unidos (EL PAÍS, 2015).

Em virtude destes fatores, que superam os benefícios dos herbicidas em muitos casos, tem-se a necessidade de desenvolver novos produtos, que não causem danos ao meio ambiente, que sejam benéficos à saúde humana e que contribuam no controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas (BAILEY, 2014).

Nesse contexto, a presente revisão de literatura tem como finalidade estudar o uso de produtos biológicos, como a produção de bioherbicidas, e avaliar as perspectivas e as potencialidades de possível substituição aos herbicidas atualmente utilizados na produção agrícola para o controle de plantas daninhas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Realizar estudo sobre a produção de bioherbicidas em substituição aos herbicidas atualmente utilizados, demonstrando aspectos ambientais, econômicos e produtividade.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Apontar como as plantas daninhas podem ser prejudiciais ao desenvolvimento da agricultura e como podem ser controladas.
- ✓ Apresentar os bioherbicidas como potenciais substitutos dos herbicidas atualmente utilizados/empregados.
- ✓ Analisar aspectos econômicos, ambientais e produtividade relacionados aos herbicidas e bioherbicidas.

3. JUSTIFICATIVA

O avanço das indústrias agroquímicas e o uso intenso e abusivo dos agrotóxicos para o controle de plantas daninhas acarretam o aumento da destruição do meio ambiente em vários aspectos, como a degradação dos solos, a contaminação dos recursos hídricos e o empobrecimento da biodiversidade dos ecossistemas. Além disso, há o surgimento de biótipos de plantas invasoras resistentes a estes produtos de uso agrícola (ABBOUD, 2013).

Outro fator que agrava o cenário é o risco de contaminação por agrotóxicos e outras substâncias a que os seres humanos estão sujeitos. Juntados todos os casos, nota-se entre as principais situações que levaram às intoxicações o “uso habitual”, “acidental” e a “tentativa de suicídio”. As duas primeiras situações indicam notadamente a intoxicação relacionada com o cotidiano do trabalho, ou seja, os camponeses e os trabalhadores rurais que tiveram contato com o veneno durante a aplicação nas lavouras, bem como a população rural que vive nas imediações das áreas cultivadas e que também são afetadas (BOMBARDI, 2017).

Ficam perceptíveis os riscos potenciais do uso de herbicidas sintéticos e por se tratar de um problema que afeta toda a população mundial torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que permitam um avanço sustentável e ambientalmente responsável da agricultura. Uma visão estratégica e bem fundamentada para as indústrias químicas é assumir mudanças na produção de produtos de origem agrícola, buscando novas alternativas voltadas à sustentabilidade para o controle das plantas infestantes, sendo que os bioherbicidas representam uma possibilidade de contribuir para o manejo delas, além de beneficiar o ambiente e a saúde pública.

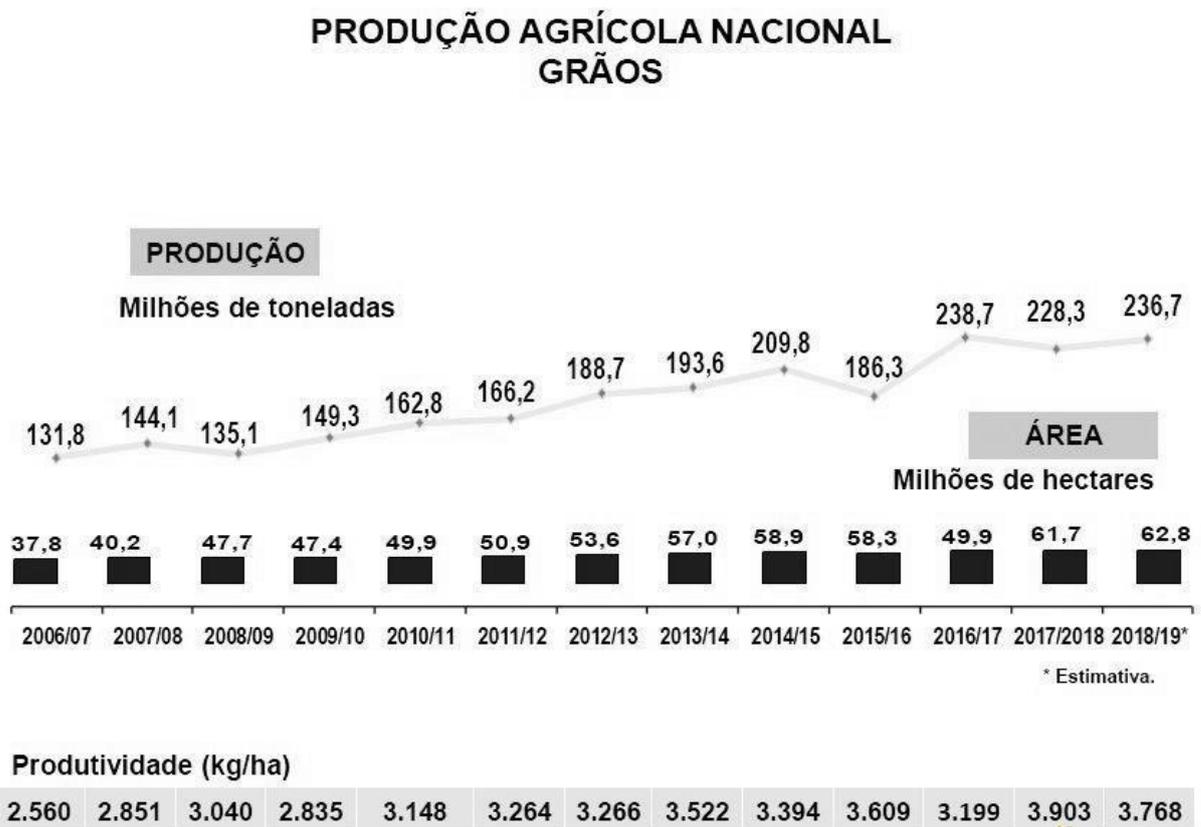
4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Agricultura

A agricultura brasileira, desde o início da colonização até o século XXI, tem se firmado cada vez mais como um dos principais pilares da economia do país. Inicialmente produtora de cana-de-açúcar, passando pelo café, hoje, apresenta-se como uma das mais relevantes exportadoras de um volume diversificado de produtos agrícolas, como grãos, cereais, frutas, entre outros (CASTRO, 2012).

A FIG. 1 expõe parte da considerável evolução da agricultura brasileira na produção agrícola de grãos, com aumentos expressivos na produção, área de cultivo e produtividade (MINAS GERAIS, 2019).

Figura 1 – Crescimento da produção agrícola brasileira



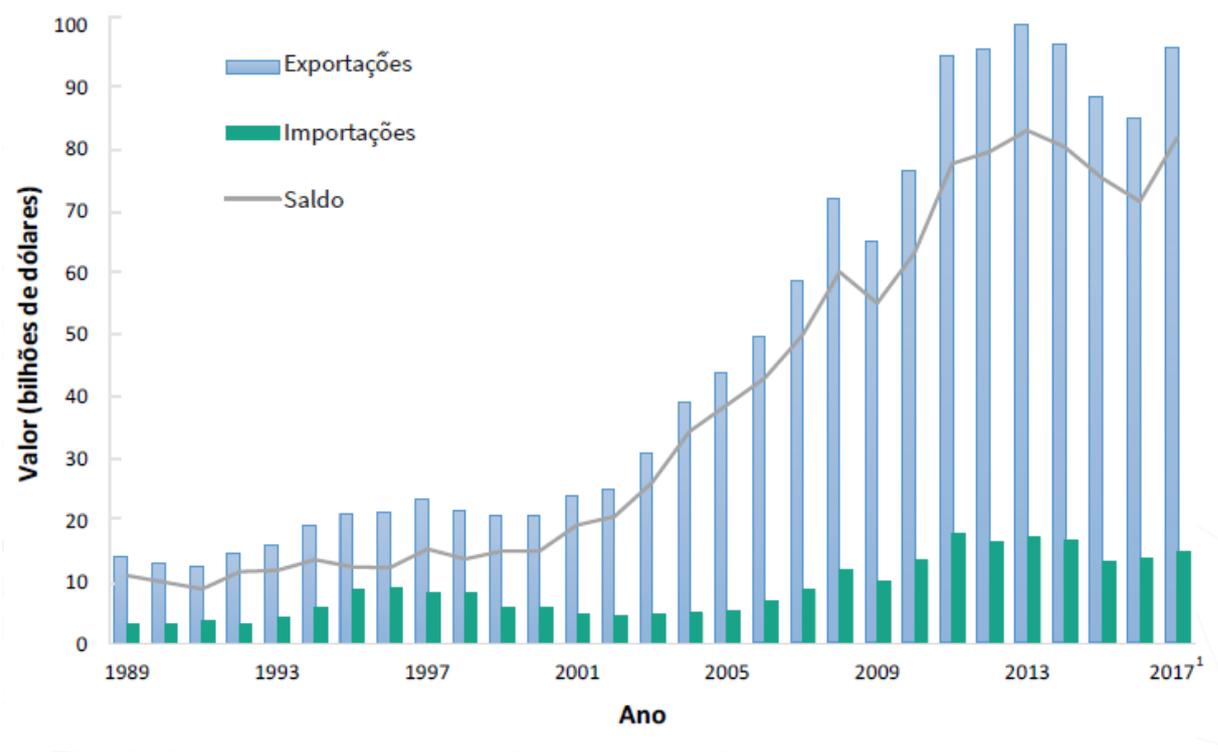
Fonte: MINAS GERAIS, 2019.

Esse cenário se deve à mudança da agricultura da condição de subsistência, ou seja, de um modelo voltado para autossuficiência, para o sistema mútuo, marcado pelas relações do setor rural com a indústria e com os serviços, relações essas que são a primeira condição de

um sistema agroindustrial. Assim, o país passou a ter uma economia mais urbanizada e industrializada. A essa forma de conceber a atividade dá-se o nome de agronegócio (ABBOUD, 2013).

O agronegócio brasileiro se instaurou após a Segunda Guerra Mundial, quando o Brasil deixou de ser país importador de alimentos e começou a estimular o desenvolvimento industrial e agrícola (GRAF. 1) (ABBOUD, 2013). A partir da década de 1990, demandas crescentes e políticas de estabilização, como controle da inflação e taxas de câmbio mais realistas, impulsionaram ainda mais o crescimento do setor agrícola, que passou a ser o principal responsável pelo superávit da balança comercial brasileira (EMBRAPA, 2018).

Gráfico 1 – Importações, exportações e saldo da balança comercial do agronegócio brasileiro, de 1989 a 2017



Fonte: EMBRAPA, 2018.

O sucesso do agronegócio no Brasil é cada vez mais reconhecido e tem tido impactos positivos na economia brasileira. Em 2016, o agronegócio como um todo foi responsável por 23% do PIB (Produto Interno Bruto) e 46% do valor das exportações. Em 2017, o setor foi responsável por 19 milhões de trabalhadores ocupados. Agroindústria e serviços empregaram, respectivamente, 4,12 milhões e 5,67 milhões de pessoas, enquanto cerca de 230 mil pessoas estavam ocupadas no segmento de insumos do agronegócio (EMBRAPA, 2018).

O percurso recente da agricultura brasileira consolidou-se a partir de uma fusão de elementos. O contexto para isto é um país privilegiado, com fartura de recursos naturais, com grande quantidade de terras agricultáveis, clima diversificado, energia solar abundante e disponibilidade de água (ABBOUD, 2013). Mas o que alicerçou foram os investimentos em pesquisa agrícola - que trouxeram avanços nas ciências, tecnologias adequadas e inovações -, o posicionamento de políticas públicas e também a eficiência dos agricultores (EMBRAPA, 2018).

A integração entre a agricultura e a indústria tem se tornado cada vez mais importante, e o resultado dessa relação posiciona o Brasil no maior polo industrial da América Latina. Isso se deve, sobretudo, a políticas que transferiram volumosos montantes de renda da agricultura para propiciar o desenvolvimento industrial. Portanto, é notória a importância da agricultura e sua contribuição para o processo da industrialização brasileira (AGRA, 2009).

4.1.1. Obstáculos para o desenvolvimento da Agricultura

A industrialização da agricultura caracteriza-se por buscar o máximo de produtividade, vinculada ao uso de defensivos agrícolas e a mecanização intensiva, como tratores, colheitadeiras, semeadoras, entre outros (ROEL, 2002). Apesar do expressivo aumento na produção, a agricultura brasileira possui algumas adversidades que ainda persistem. O seu recente sucesso não foi suficiente para desenvolver todas as regiões do país (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

Um obstáculo exposto a esse assunto é a não adoção de tecnologias por parte dos pequenos produtores. Isso se atribui por inúmeras razões, como o elevado custo de incorporação das novas tecnologias, baixa escolaridade e carência de políticas públicas. Como consequência, gera-se uma grande diferença regional na produtividade e de renda no campo (EMBRAPA, 2018).

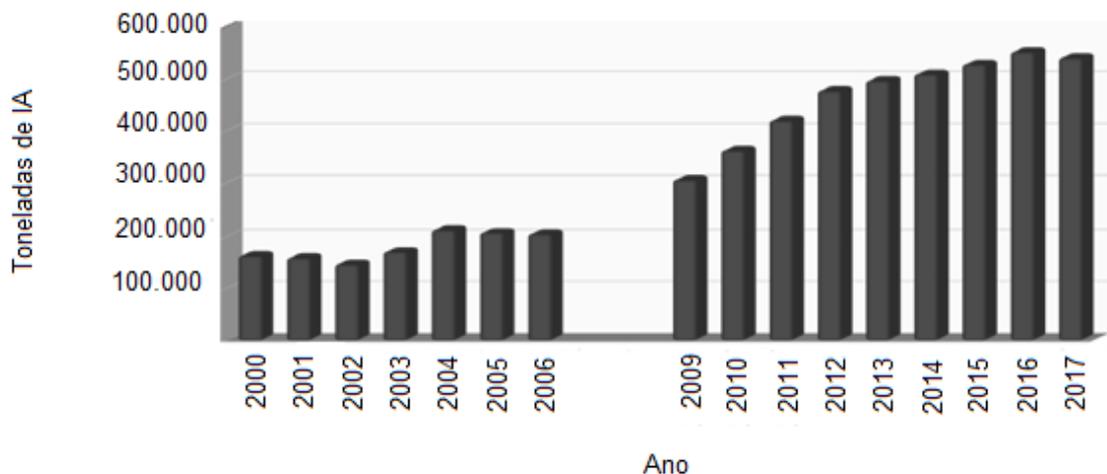
Na maioria dos países, a água utilizada na agricultura é de cerca de 70% da quantidade total disponível. O uso da água inclui uma excessiva utilização de sistemas inadequados de irrigação a partir de águas subterrâneas. Outro fator expressivo do uso da água na agricultura é a diminuição da qualidade da água superficial e subterrânea, resultado decorrente do uso abundante de fertilizantes e agrotóxicos, o que sucede danos e perdas à biodiversidade aquática e simultaneamente à saúde humana (TUNDISI, 2008).

A utilização de amplas áreas de cultivo que se estendem ao longo do tempo, traz problemas que os agricultores precisam contornar. O exemplo disto é a utilização de

agrotóxicos. Segundo Gonzalez (2018), o Brasil possui a segunda maior frota de aviões agrícolas do mundo. Esses aviões são produzidos com intuito de facilitar a distribuição de sementes e a aplicação de aditivos químicos nas lavouras. Embora seja uma posição satisfatória e mesmo havendo legislação que regularmente, há um uso irracional de defensivos, o que pode acarretar intoxicações e graves doenças, tanto aos trabalhadores que manuseiam os produtos quanto aos moradores da região e ainda a contaminação ambiental.

E hoje, da maneira como é feita a produção agrícola no Brasil, existe uma dependência do uso de agrotóxico para produção em larga escala. A lógica de mercado do agronegócio praticamente não permite aos produtores outra forma de cultivo (ANVISA, 2019). O Brasil consome cerca de 20% de todo agrotóxico comercializado mundialmente e tem apresentado um aumento significativo no consumo nos últimos anos, como é visto no GRAF. 2.

Gráfico 2 – Consumo de agrotóxicos e afins - 2000 a 2017



Ingrediente Ativo (IA) = agente químico, físico ou biológico que confere eficácia aos agrotóxicos e afins.

Fonte: Adaptado IBAMA, 2017.

O uso de fertilizantes também se tornou essencial para o setor agrícola, o que acarretou uma necessidade de importações. O país passou a utilizar mais fertilizantes do que a quantidade produzida internamente. Outro grave problema para o setor é a qualidade do solo para o cultivo. No Brasil, estima-se entre 60 e 100 milhões de hectares de solos em diferentes níveis de degradação, resultante de processos impróprios, causando prejuízos econômicos e principalmente ambientais (EMBRAPA, 2018).

Além disso, existem vários outros fatores que interferem negativamente na produtividade agrícola, sendo que uma das grandes preocupações da agricultura atual está

voltada para os prejuízos causados por plantas daninhas nas lavouras (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Nos países em desenvolvimento, as plantas daninhas são um dos principais problemas comumente encontrados e um dos fatores mais limitantes para aumentar a produção agrícola ou expandir a quantidade de terra cultivada (ZIMDAHL, 2007).

4.2. Plantas daninhas

A maior parte das definições de plantas daninhas evidencia seu comportamento que afeta as atividades dos seres humanos (RANA, 2016). As plantas daninhas são espécies que crescem e se desenvolvem em lugares indesejados da produção agrícola, interferindo na produtividade e qualidade das plantas cultivadas, conforme ilustra a FIG. 2 (OSIPE *et al.*, 2013). Os vocábulos “plantas invasoras”, “plantas ruderais”, “plantas silvestres”, “mato” ou “inço” também são aplicados na literatura brasileira (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011).

Figura 2 – Plantas daninhas no cultivo de milho



Fonte: ACOMPANHA AGRO, 2017.

As plantas daninhas apresentam características que as tornam particulares e as classificam como plantas indesejadas (RANA, 2016). Como exemplo, as sementes se desenvolvem nos primeiros estágios de germinação; há crescimento em condições adversas; o desenvolvimento é inicialmente acelerado e robusto, com rápida mudança da fase vegetativa para a reprodutiva; há grande produção de propágulos, mesmo quando as circunstâncias não

são apropriadas; os propágulos apresentam dispersão a curta ou longa distância e possuem extensa duração (FONTES *et al.*, 2003).

Desde o princípio, o controle de plantas daninhas é um dos relevantes obstáculos para evolução da agricultura moderna (OSIPE *et al.*, 2013). As plantas daninhas competem com as culturas cultivadas por necessidades fundamentais ao desenvolvimento como água, luz e nutrientes e podem competir por espaços (RANA, 2016). Além disso, as plantas daninhas são capazes de atuar como hospedeiras de pragas e doenças e produzir substâncias inibidoras de crescimento, fenômeno referido como alelopatia, sendo tóxicas para os seres vivos (VASCONCELOS *et al.*, 2012).

Para mais, as plantas daninhas podem causar danos consideráveis na produtividade agrícola: reduzindo a eficiência da terra, interferindo nas características e na qualidade do produto final, prejudicando em algumas práticas culturais, como a colheita da cultura, a operação das máquinas e conseqüentemente gerando perdas na produção (VASCONCELOS *et al.*, 2012).

Os métodos de controle das plantas daninhas associam a prevenção, o controle cultural, mecânico, físico, biológico e químico, baseando-se nas características da cultura e da planta daninha. No entanto, os melhores resultados são obtidos quando há a junção dos diversos procedimentos, designado manejo integrado, que tem como objetivo prevenir e controlar de forma mais eficiente as plantas infestantes bem como aumentar a produtividade, diminuir as perdas e gastos na produção (CONSTANTIN, 2011).

4.3. Controle químico de plantas daninhas: Herbicidas

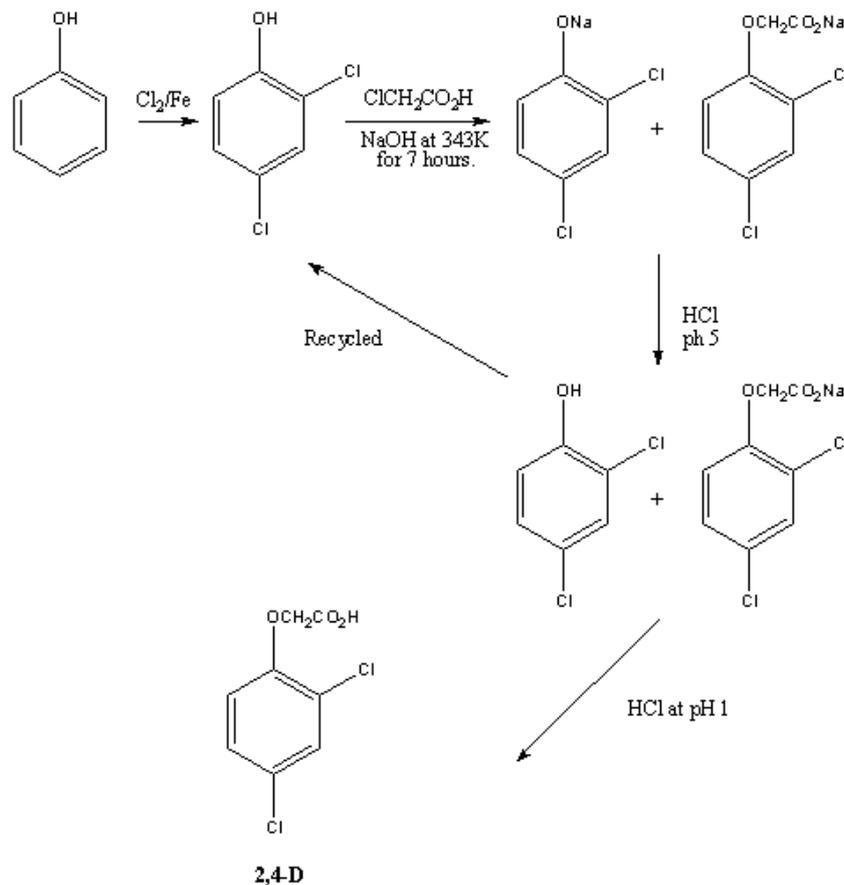
O uso de substâncias químicas apresenta-se muito eficiente no controle de plantas daninhas e apontam diversos aspectos positivos, entre eles o elevado rendimento operacional, a melhora na qualidade das culturas e a economia de trabalho e energia pela redução dos custos de colheita. Além disso, reduz a demanda de mão-de-obra, o tráfego de máquinas e de cultivos mecânicos, proporcionando uma vantagem no caso de solos susceptíveis à erosão (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

Segundo Roman *et al.*(2005) os herbicidas são definidos como “substâncias químicas capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas” e têm-se a necessidade de serem seletivos, a fim de afetar somente a planta infestante. Assim, o herbicida interfere nos processos bioquímicos e fisiológicos da planta daninha ao longo de um período suficiente para matá-la ou inibir fortemente o seu crescimento na cultura (ZIMDAHL, 2007).

Numa visão histórica em que o controle das plantas infestantes era feito manualmente ou com ajuda de instrumentos apropriados, surgem, no início do século XX, as primeiras exposições da aplicação de substâncias químicas para o manejo de plantas daninhas, como os sais de cobre e o ácido sulfúrico (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). As substâncias químicas foram usadas como herbicidas na produção agrícola por longo tempo, mas sua utilização era circunstancial, constantemente ineficaz, e sem nenhuma base científica (ZIMDAHL, 2007).

Em 1932, foi adotado na França o primeiro composto químico orgânico sintético para controle seletivo de plantas daninhas em cereais, o 2-(1-metilpropil)-4,6-dinitrofenol, e continuou sendo utilizado por muito tempo. Contudo, o primeiro marco relevante relacionado ao controle químico ocorreu, em 1941, com a síntese do ácido 2,4-diclorofenoxiacético, conhecido como 2,4-D, cuja rota sintética é apresentada na FIG. 3 e que hoje é o segundo agrotóxico mais vendido no Brasil. Essas descobertas foram o início do controle químico moderno de plantas daninhas que contribuiu para o desenvolvimento e mudança da agricultura (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011; ZIMDAHL, 2007).

Figura 3 – Síntese do 2,4 D



Em meados de 1970, a utilização de herbicidas aumentou consideravelmente e atualmente a lista de herbicidas existentes no mercado é ampla, como também os diferentes tipos de ingredientes ativos e os nomes comerciais. Dessa forma, o conhecimento sobre sua natureza, propriedades, efeitos e como devem ser empregados se torna indispensável para aplicá-los de modo correto para seu desempenho (MARCHI *et al.*, 2008).

4.4. Modos de classificação dos herbicidas

Os herbicidas podem se classificar de diversas maneiras úteis, mas não há nenhuma forma que os integre totalmente. No final do século passado, era comum falar de herbicidas como membros de uma família química estruturalmente relacionada. A família definia características de desempenho e local de ação. Isto ainda é possível para algumas famílias, mas a química de herbicidas é agora tão diversa que tais generalizações não são tão úteis como eram antes. Muitos herbicidas têm um local primário de ação e várias ações secundárias para o controle das plantas daninhas (ZIMDAHL, 2007).

O entendimento sobre a seletividade de um herbicida é um quesito fundamental para sua aplicação, visto que a seleção indica quais plantas são possivelmente sensíveis e quais são menos dominadas pelos herbicidas. A classificação quanto à seletividade está dividida entre herbicidas seletivos e herbicidas não seletivos. Os herbicidas seletivos matam ou delimitam intensamente o desenvolvimento de espécies invasoras numa cultura, sem danificar as plantas de interesse, enquanto os herbicidas não seletivos possuem grande intensidade de ação, são capazes de matar ou prejudicar a maioria das plantas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

Usualmente, os herbicidas são classificados em relação ao modo de aplicação, em dois tipos, aplicados ao solo e às folhas. Os herbicidas aplicados ao solo se movimentam das raízes para as folhas, transportados pelo xilema. Os herbicidas aplicados às folhas são separados em herbicidas de contato, os quais executam sua ação quando entram em contato com as plantas, e herbicidas sistêmicos, que são absorvidos pela planta e transportados pelo floema e xilema a os seus sítios de ação, regiões de crescimento e reprodução das plantas (MARCHI *et al.*, 2008).

O momento de aplicação dos herbicidas pode ser antes ou depois da sementeira e é o instante específico que potencializa o controle e a seletividade. Assim, sugere-se uma classificação quanto à época de aplicação, dividida em: aplicação pré-plantio e incorporado, em que os produtos necessitam de incorporação mecânica ou de irrigação após serem aplicados ao solo; aplicação pré-emergência, a qual é feita após a sementeira ou plantio, mas

antes da emergência das plantas de interesse e das plantas daninhas; e aplicação pós-emergência, onde as plantas daninhas já se encontram emergidas. Nesta última aplicação, requer-se da cultura tolerância à exposição direta ao produto (FONTES *et al.*, 2003; OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

No entanto, a classificação em relação aos mecanismos de ação dos herbicidas é uma das mais utilizadas (ROMAN *et al.*, 2005). O modo de ação representa todo o comportamento do herbicida desde seu contato com a planta até a manifestação final do seu efeito tóxico (CARVALHO, 2013). Portanto, um entendimento do modo de ação do herbicida é essencial para diagnosticar lesões na safra, entender como usar um herbicida com mais eficácia e projetar programas de manejo de populações de plantas daninhas (RANA, 2016).

O mecanismo de ação é relacionado à bioquímica ou lesão biofísica no interior da célula a ser inibida pela atividade herbicida. Esse primeiro passo pode ser o bastante para causar a morte das plantas sensíveis. No entanto, geralmente, são necessárias reações químicas para definitivamente matar a espécie, em que o somatório destes processos é denominado modo de ação. Por exemplo, os herbicidas inibem a atividade de uma enzima/proteína na célula e, como consequência, desencadeiam uma série de eventos que matam ou impedem o desenvolvimento da célula e do organismo (MARCHI *et al.*, 2008).

O mecanismo de ação pode ser classificado em dois modos: enzimático, quando a atividade do herbicida acontece sobre alguma enzima do metabolismo da planta; e não-enzimático, quando a atividade do herbicida acontece sobre algum evento metabólico da planta sem ocorrer ligação com uma enzima específica (CARVALHO, 2013).

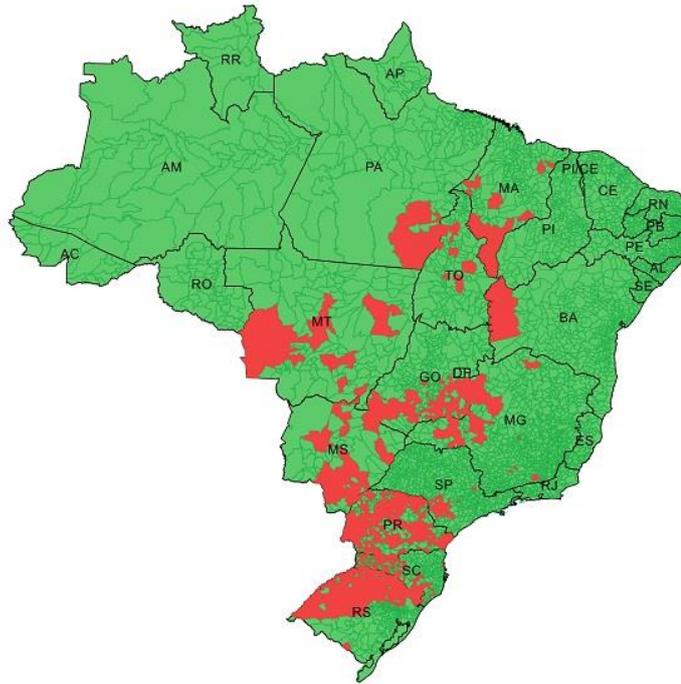
4.5. Limitações do uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas

Bem como qualquer outro método, a aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas demonstra limitações (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). Numa mesma área de cultivo, a aplicação contínua de determinados herbicidas ou aplicação de herbicidas com mesmo mecanismo de ação para controlar plantas daninhas, sem a adoção de práticas de manejo para prevenir a resistência, é o principal motivo do surgimento de populações resistentes a herbicidas no Brasil (VARGAS *et al.*, 2016).

A resistência não é criada pelos herbicidas, mas está relacionada com as plantas que são suscetíveis enquanto a população resistente sobrevive e domina. É um processo de evolução por seleção química (ZIMDAHL, 2007). De modo geral, a área infestada com

plantas daninhas resistentes no Brasil é estimada em mais de 20 milhões de hectares, conforme expõe a FIG. 4 (VARGAS *et al.*, 2016).

Figura 4 – Regiões, em vermelho, infestadas com plantas daninhas resistentes no Brasil no ano de 2015



Fonte: VARGAS *et al.*, 2016, p. 226.

A resistência é a capacidade adquirida de alguns biótipos de plantas daninhas em sobreviver à quantidade indicada de um herbicida que, em circunstâncias normais, controlaria os demais elementos da mesma população. Resistência simples ou isolada refere-se à planta daninha resistente apenas a um herbicida específico com determinado mecanismo de ação. O termo resistência cruzada define uma espécie de planta daninha que é resistente a dois ou mais herbicidas de um único mecanismo de ação. E a resistência múltipla é determinada em situações onde a planta daninha é resistente a dois ou mais mecanismos de ação diferentes (INOUE; OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

A manifestação de espécies resistentes no Brasil surgiu na década de 70, com o emprego repetido do herbicida metribuzin para controle de plantas daninhas, conhecidas como leiteiro, no cultivo de soja. Desse modo, o uso repetido de metribuzin selecionou populações de leiteiro, fazendo dessa espécie a primeira ocorrência concreta da resistência a

herbicida identificada no Brasil e a principal planta invasora a ser combatida nas culturas de soja na década de 80 (VARGAS *et al.*, 2016).

Atualmente, as plantas daninhas mais preocupantes para a agricultura brasileira são a buva, o capim amargoso e o chamado capim pé de galinha (FIG. 5 a 7). Essas plantas têm demonstrado resistência aos herbicidas mais comercializados mundialmente, que apresentam efeitos de amplo espectro e eficácia, como glifosato, paraquate e glufosinato de amônia. Segundo pesquisadores, elas possuem uma tolerância natural e seu controle requer altas doses de produtos químicos (GLOBO RURAL, 2018).

Figura 5 – Buva (*Conyza bonariensis*)



Fonte: EMBRAPA, 2017.

Figura 6 – Capim amargoso (*Digitaria insularis*)



Fonte: MAIS SOJA, 2019.

Figura 7 – Capim pé de galinha (*Eleusine indica*)



Fonte: AGROLINK, 2019.

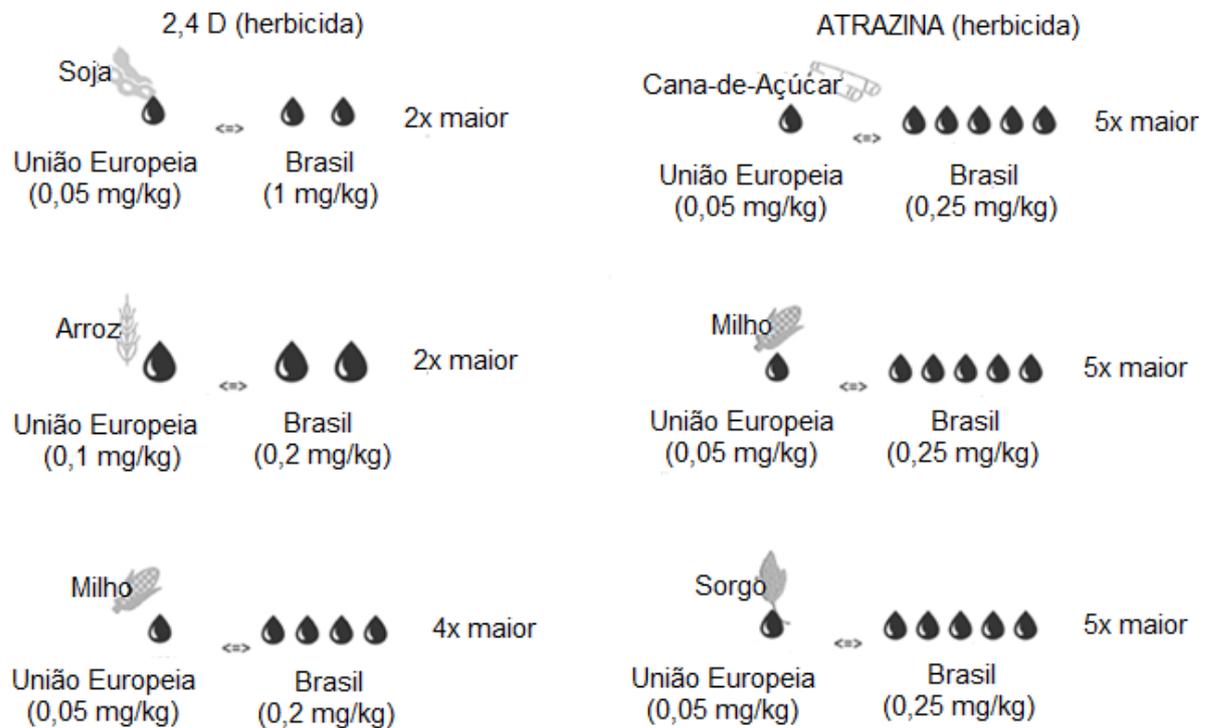
A resistência de plantas daninhas a herbicidas é a principal preocupação dos agricultores (CARVALHO, 2013). As principais despesas da resistência associam-se à necessidade do uso de herbicidas alternativos e às perdas de produtividade devido à competição das plantas daninhas resistentes restantes na lavoura. Além disso, podem-se citar prejuízos na qualidade do produto colhido, como aumento de impurezas e umidade do grão, que interferem na classificação comercial e custo de secagem, refletindo em menor ganho econômico (VARGAS *et al.*, 2016).

Dados da Embrapa referentes a 2017 indicam que a resistência das daninhas impõe um custo de R\$ 4,92 bilhões à agricultura brasileira (GLOBO RURAL, 2018). No caso da buva, estudos realizados indicam que níveis de infestação em lavouras de soja podem causar perdas de rendimento da cultura de 1.174 kg/ha a 1.469 kg/ha, podendo chegar a até 48% do rendimento comparado sem a presença de buva. Além disso, o cenário se agrava quando ocorre infestação conjunta, de duas ou mais plantas invasoras, sendo que a resistência pode até quintuplicar o custo de controle (VARGAS *et al.*, 2016).

Já o custo para os fabricantes desenvolverem e introduzirem um novo herbicida no mercado aumenta constantemente. Além disso, a lei atual de agrotóxicos não estabelece prazos-limite para que os registros de novos produtos sejam concedidos, sendo que na prática o processo pode levar entre cinco e oito anos (BBC NEWS BRASIL, 2018). Dessa forma, tais fatores impedem que o Brasil consiga usar produtos mais eficientes e menos tóxicos que já estão no mercado internacional.

Um dado que chama atenção a respeito dos ingredientes ativos e que demonstra as limitações destes componentes é que no Brasil existem 504 de uso autorizado, entretanto, 30% destes são proibidos na União Europeia. Ressalta-se ainda, a diferença entre a legislação brasileira e europeia sobre o limite máximo permitido de resíduos de agrotóxicos nos alimentos e na água potável. A FIG. 8 mostra, por exemplo, que a quantidade do herbicida atrazina permitida no Brasil, no cultivo da cana-de-açúcar, chega ser cinco vezes maior que a quantidade permitida pela legislação europeia (BOMBARDI, 2017).

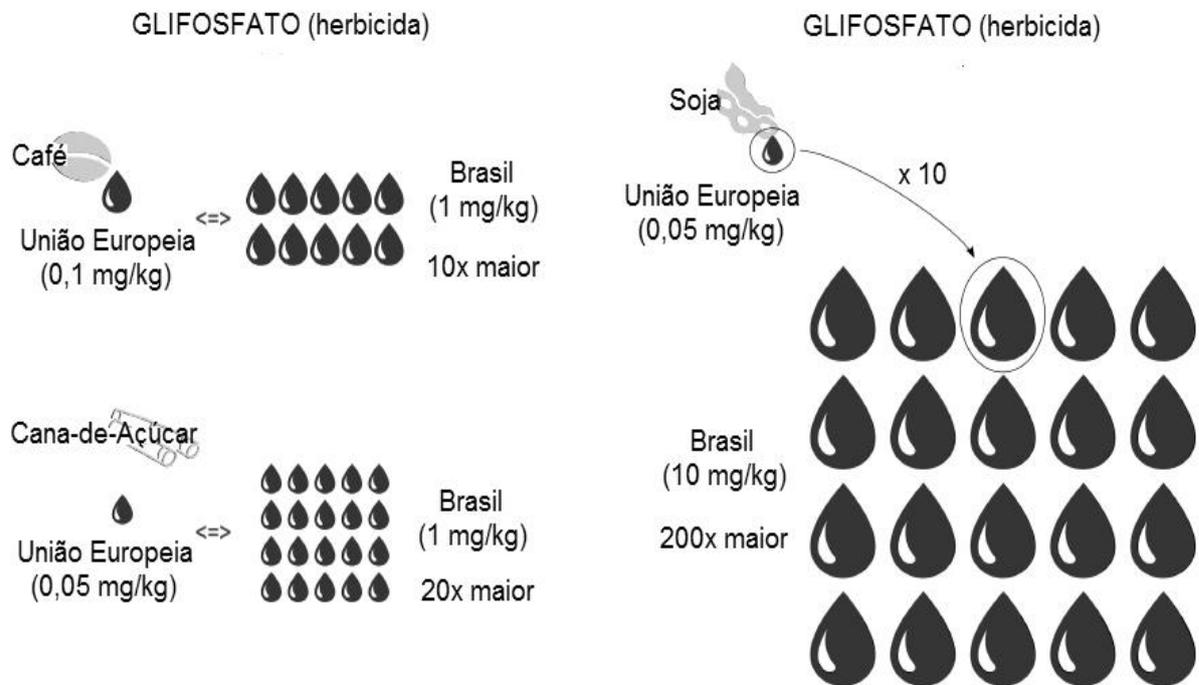
Figura 8 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) nos alimentos



Fonte: Adaptado BOMBARDI, 2017.

Já a FIG. 9 revela que a quantidade do herbicida glifosato, principal agrotóxico comercializado no Brasil, permitida pela legislação brasileira no cultivo da soja chega ser duzentas vezes superior ao da União Europeia. Ressaltando que a soja é o principal produto de exportação brasileira.

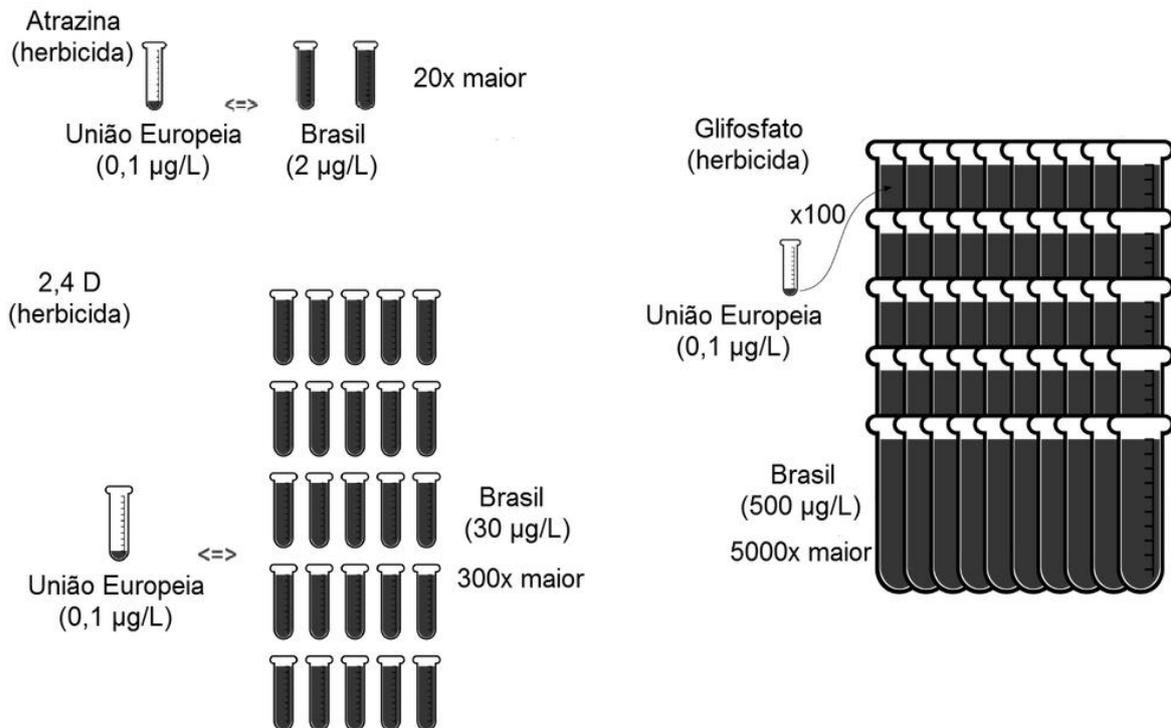
Figura 9 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) nos alimentos



Fonte: Adaptado BOMBARDI, 2017.

Ainda, o período que o herbicida permanece ativo ou persiste no solo é extremamente importante, pois até certo ponto, a persistência é uma propriedade desejável. A persistência que excede esse grau é chamada de persistência indevida. Além do mais, a atividade residual é importante no que se refere aos efeitos tóxicos dos herbicidas que podem ser prejudiciais às culturas ou plantações seguintes, bem como para a atmosfera e principalmente a água (RANA, 2016). A FIG. 10 evidencia o cenário brasileiro permissível no limite de resíduos de herbicidas na água potável. Como exemplo, o nível de resíduos de glifosato na água chega ser 5 mil vezes maior do que a União Europeia permite.

Figura 10 – Brasil e União Europeia em comparação ao Limite Máximo de Resíduos (LMR) na água potável

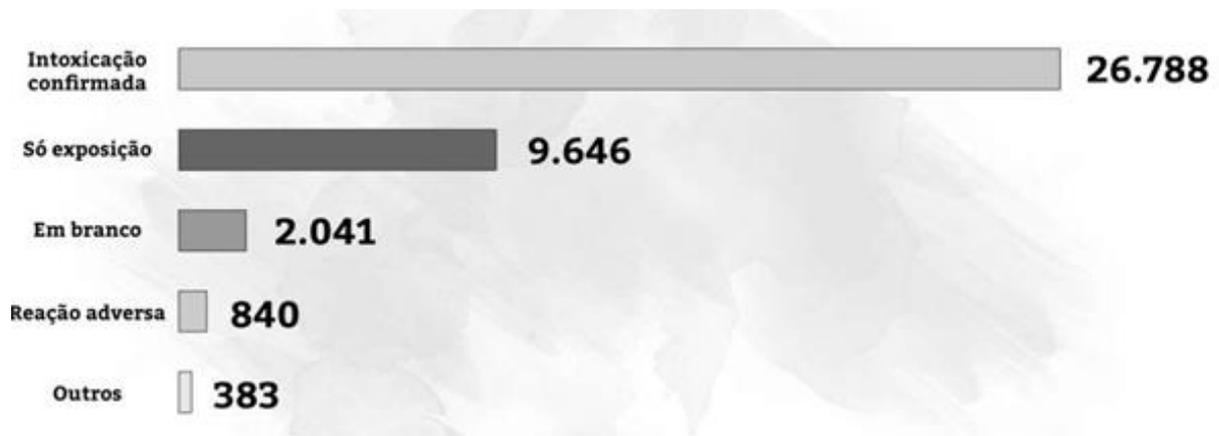


Fonte: Adaptado BOMBARDI, 2017.

O rigor da legislação europeia para o uso destes compostos indica que eles podem ser altamente danosos para o meio ambiente e a saúde do ser humano, se utilizados em quantidades maiores, como ocorre no Brasil.

Um levantamento baseado nos dados do Ministério da Saúde, revela que no sistema de saúde brasileiro, cerca de 26 mil pessoas tiveram intoxicação confirmada após serem expostas a agrotóxicos, entre os anos de 2007 a 2017, conforme exibe a FIG. 11. A média equivale a sete pessoas intoxicadas por dia. Homens é a maioria dos afetados por agrotóxicos agrícolas e a maioria dos pacientes tem ensino fundamental incompleto (EL PAÍS, 2018).

Figura 11 – Atendimentos por intoxicação por agrotóxicos agrícolas (2007-2017)



Fonte: EL PAÍS, 2018.

Desse modo, ficam evidentes os riscos aos trabalhadores da agricultura, residentes em áreas rurais ou consumidores de água ou alimentos contaminados, sujeitos a doenças crônicas extremamente graves e que revelam características mutagênicas e carcinogênicas. Além disso, há perdas e o efeito residual danoso dos herbicidas no ambiente, partindo da ideia de que o impacto está intimamente ligado a dinâmica destes no solo, da forma como eles se dissipam, bem como os processos envolvidos (MANCUSO *et al.*, 2011).

Esses problemas enfatizam a necessidade da realização de pesquisas com alternativas baseadas em produtos naturais para o controle das plantas daninhas, baseando-se nos princípios da sustentabilidade para os sistemas de produção agrícola.

4.6. Controle biológico

Os fatores fundamentais ao crescente interesse pelo uso das mais diferentes estratégias conhecidas de controle biológico são assinalados, por Nachtigal (2009): a sustentabilidade, a segurança ambiental e a potencial efetividade do controle. O termo controle biológico refere-se, em geral, à colocação de organismos em um ecossistema, com a finalidade de controlar uma ou mais espécies indesejáveis (BAILEY *et al.*, 2011).

O crescimento do mercado brasileiro de defensivos biológicos segue tendência mundial na redução do uso de agroquímicos para combater pragas, doenças e outros agentes nocivos para a agricultura. Em 2018, a produção de produtos biológicos para controle de pragas e doenças agrícolas cresceu mais de 70% no Brasil, movimentando R\$ 464,5 milhões, resultado considerado o mais expressivo da história do setor e que supera o percentual apresentado pelo mercado internacional (BRASIL, 2019).

O levantamento da consultoria internacional mostra que o Brasil é o quarto país com melhor desempenho na produção de produtos biológicos, respondendo por 7% da comercialização mundial. O setor é liderado por Estados Unidos (37%), Espanha (14%) e Itália (10%) (BRASIL, 2019).

Um fato que tende a favorecer o crescimento dos biológicos é o processo mais simplificado de registro dos produtos, que levam prazo menor para serem liberados. Apesar do prazo mais curto, o registro de um produto biológico segue praticamente o mesmo padrão de exigência dos agroquímicos, com apresentação de análises toxicológicas e laudos de eficiência agrônômica. Para ser liberado para comercialização, o biodefensivo deve atender requisitos de segurança da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2019).

Outra vantagem, segundo a associação, é que os biodefensivos são registrados de acordo com as pragas, e não para determinada cultura agrícola, como acontece no caso dos agroquímicos. Assim, os biológicos podem ser aplicados em qualquer cultivo. Até julho de 2018, existiam 168 registros de biodefensivos no MAPA. Em 2006, havia apenas um (GLOBO RURAL, 2019).

No entanto, o Brasil tem peculiaridades que dificultam a rápida disseminação dos produtos biológicos. Além das grandes áreas de plantação, o país possui um número elevado de pragas devido ao clima tropical, o que desafia os agricultores a reduzirem a aplicação dos pesticidas, principal método de manejo de pragas atualmente, para também reduzir o custo da produção e os riscos associados para a saúde humana e os recursos naturais (BRASIL, 2019).

4.6.1. Controle biológico de plantas daninhas: bioherbicidas

Nos últimos anos, as pesquisas para o controle de plantas daninhas têm-se direcionado sobre o modo de diminuir a dependência de herbicidas sintéticos em sistemas de cultivo, além da necessidade da busca pela sustentabilidade dos agroecossistemas (CHIKOWO *et al.*, 2009).

O método biológico para o controle de plantas daninhas relaciona vários bioagentes que podem ser categorizados em grupos: macrorganismos (predadores, insetos parasitóides, nematoides), microrganismos (bactérias, fungos, vírus) e substâncias naturais (originadas de planta ou animal) (VILLAYERDE *et al.*, 2014). Dentro da conjuntura para o gerenciamento de plantas daninhas, as pesquisas têm sido cada vez mais focadas em fungos, pois eles

provocam doenças nas plantas que paralisam seu crescimento e podem acarretar sua morte (ELLIOTT *et al.*, 2009).

Tessmann (2011) evidencia três modalidades para o controle biológico de plantas daninhas, a estratégia denominada clássica ou inoculativa, a estratégia inundativa e a estratégia aumentativa (repositiva), sendo as duas últimas estratégias denominadas bioherbicidas. O controle biológico clássico apresenta-se com grandes resultados no manejo de plantas infestantes que invadem regiões de pastagens extensivas, reservas florestais e ecossistemas instáveis, como exemplo, os ecossistemas aquáticos. O objetivo desse tipo de controle não é a rápida eliminação das plantas daninhas, mas sim a redução e a estabilização, em longo prazo, dessas plantas em determinados territórios.

A estratégia inundativa é empregada quando fungos, bactérias ou vírus fitopatogênicos são usados no biocontrole e fundamenta-se na aplicação massiva de doses de inóculo do patógeno sobre uma extensa área de plantas invasoras, no estágio de crescimento, com o propósito de gerar uma imediata proliferação da doença e causar rapidamente a morte das plantas. Nesta situação, acontece manipulação humana direta nas etapas de produção e de distribuição do inóculo e em geral, esta técnica é mais bem aplicada no controle de plantas anuais em áreas cultivadas ou em áreas onde é pretendido ter o rápido controle das mesmas, obtendo o controle em curto prazo (TESSMANN, 2011).

Para o desenvolvimento industrial, o fato de a estratégia inundativa ser utilizada de forma semelhante aos herbicidas sintéticos, torna os bioherbicidas bastante atrativos para o setor. Os bioherbicidas seguem as mesmas normas quanto à formulação, padronização, empacotamento e comercialização dos pesticidas de modo geral (TESSMANN, 2011).

O início do uso de fungos para controle de plantas daninhas na forma de herbicidas microbianos ocorreu em 1971, com o fungo *Puccinia chondrillina*, que foi introduzido na Austrália para o controle de *Chondrilla juncea*. Já o primeiro fungo registrado como bioherbicida foi *Phytophthora palmivora*, sob o nome comercial de De Viner, em 1981. Este bioherbicida foi desenvolvido, no início da década de 80, para o manejo de *Morreria odorata*, uma planta invasora que ocorre em pomares de citros na Flórida, EUA, que chegou a colonizar cerca de 120 mil hectares de citros no país (KLAIC *et al.*, 2014).

Um ponto crítico ao desenvolvimento de herbicidas microbiológicos é a análise dos possíveis danos as espécies de plantas que não são o objetivo pretendido. Assim, são feitas avaliações de patogenicidade em espécies de plantas próximas e distantes taxonomicamente da espécie alvo. Além disso, outros fatores são decisivos para o funcionamento dos bioherbicidas, como a influência das condições ambientais; a variabilidade genética da planta

alvo; e a estabilidade genética do patógeno, pois alguns patógenos perdem a eficiência em causar doença após serem multiplicados *in vitro* por algumas gerações (TESSMANN, 2011).

A estratégia aumentativa vem sendo aplicada com insetos fitófagos e fungos fitopatogênicos de difícil produtividade em larga escala e que são empregados normalmente somente em partes dos locais em que se deseja ter o controle. Esta estratégia tem sido conveniente no manejo de tiririca (*Cyperus rotundus* e *C. esculentus*) com a ferrugem *Puccinia caniculata*. Nesta situação, a ferrugem cresce naturalmente e liberações anuais de esporos do fungo acarretam o bloqueio do crescimento e da construção dos tubérculos da planta. O fungo tem eficiência em dispersar aceleradamente sobre a área, ocasionando uma epidemia. Em 1993, nos EUA, o bioherbicida Dr. Biosedger, formulado com esporos deste fungo, foi registrado para o controle da tiririca amarela ou tiriricão (*C. esculentus*). No entanto, a maior dificuldade de aplicação deste fungo como bioherbicida tem relação com a produção de esporos em grande escala (TESSMANN, 2011).

4.6.2. Aleloquímicos

O fenômeno alelopático é definido como a interferência benéfica ou maléfica e consiste na ação, direta ou indireta de um indivíduo, planta ou microrganismo, sobre outro, mediada por biomoléculas denominadas aleloquímicos (SILVA, 2012). A FIG. 12 mostra as características alelopáticas da árvore Manzanita. Ela contém uma substância capaz de impedir que outras plantas cresçam a sua volta, apresentando um “círculo” ao seu redor.

Figura 12 – O “círculo” de Manzanita



Fonte: SIERRA FOOTHILLS GARDEN, 2011.

O efeito alelopático pode assumir duas classificações quanto à liberação de aleloquímicos. Tem-se a autotoxicidade, um mecanismo de alelopatia que ocorre quando uma espécie de planta libera determinada substância química que inibe ou retarda a germinação e o crescimento de plantas da própria espécie. Por outro lado, tem-se a heterotoxicidade: ocorre quando uma substância, com efeito fitotóxico, é liberada por determinada planta afetando outra espécie (PIRES; OLIVEIRA, 2011).

Entre os efeitos mais comuns dos aleloquímicos, sobre o crescimento vegetal, está à interferência na divisão celular, concentração de hormônios, síntese orgânica, síntese protéica, interações hormonais, absorção de nutrientes, funcionamento dos estômatos, assimilação de CO₂ e na fotossíntese, relações hídricas e até mesmo alterações no DNA e RNA (REIGOSA *et al.*, 2006).

Nos vegetais existem muitos aleloquímicos, sendo que os principais são divididos em três grandes grupos: compostos fenólicos, terpenos e alcalóides, uma vez que tais compostos são derivados do metabolismo secundário (CECCHIN, 2016).

Um determinado metabólito secundário pode ter diferentes efeitos, prejudiciais ou benéficos, dependendo do seu tipo, grupo funcional, propriedade química e concentração no meio que está atuando. Além disso, os efeitos destes compostos podem depender das condições climáticas e do tipo de solo onde se encontram, podendo se transformar em outros compostos, e alguns metabólitos só atuam em presença de outros, pois não atingem a concentração mínima necessária para exercer o efeito alelopático (SILVA, 2012).

A alelopatia pode ser decisiva no domínio de algumas plantas invasoras, pois produz compostos aos quais as plantas nativas não têm resistência, o que interfere na germinação, crescimento e/ou desenvolvimento das mesmas. Dessa forma, as plantas que possuem substâncias alelopáticas inibitórias representam a possibilidade de desenvolver herbicidas naturais eficientes, controlando plantas daninhas de forma estratégica para a produção sustentável de alimentos, além de contribuir para o aumento da produtividade e permanência sadia dos cultivos (CECCHIN, 2016).

Os aleloquímicos podem atuar de forma direta, quando se ligam às membranas da planta alvo ou penetram em suas células, interferindo no metabolismo das mesmas; ou indireta, quando alteram as propriedades do solo, a disponibilidade de nutrientes ou afetam as populações de microrganismos próximos (PIRES; OLIVEIRA, 2011). De uma forma geral, essas substâncias são bioherbicidas em potencial, devido às características que apresentam. Vários estudos têm sido realizados nesse sentido.

4.6.3. Estudos para produção de novos bioherbicidas

Na sua grande maioria, o biocontrole está focado no uso de microrganismos, estes que podem ser patógenos de plantas ou produzirem componentes fitotóxicos. Além destes, os vegetais também se apresentam como uma alternativa para o controle biológico de plantas daninhas.

4.6.3.1. Bioherbicidas baseados em fungos

Os fungos possuem como característica a habilidade de biossintetizar uma quantidade diversificada de metabólitos secundários. Segundo Keller *et al.*, (2005) são conhecidos mais de trinta mil compostos produzidos pelo metabolismo secundário dos fungos, e estes são considerados como excelentes fontes para novos agrotóxicos e também fármacos.

Os metabólitos secundários produzidos pelos fungos que apresentam substâncias tóxicas em animais são nomeados de micotoxinas, enquanto aqueles que manifestam propriedades tóxicas em plantas são conhecidos como fitotoxinas. É conveniente ressaltar que por causa destas fitotoxinas se torna possível explorar os bioherbicidas (KLAIC *et al.*, 2014).

Na natureza encontram-se diversos fungos que apresentam a capacidade de produzir substâncias fitotóxicas como *Alternaria*, *Fusarium*, *Colletotrichum* e *Phoma*, com modos de ação distintos (LI *et al.*, 2003). De acordo com Almeida (2014), em razão da variedade de sítios de ação dos metabólitos secundários, e a falta de métodos padrões, há muita dificuldade em determinar corretamente o modo de ação dos compostos naturais fitotóxicos.

Os prejuízos causados pelas fitotoxinas podem suceder através da infiltração na planta, acompanhado de danos na parede celular e formação de lesões nas folhas, talos ou frutos, com o ponto positivo de não serem tóxicas a saúde humana e também dos animais, além de não danificarem facilmente o meio ambiente. A seletividade das substâncias tóxicas para as plantas daninhas é variável, de uma espécie para outra, sendo que a toxina que apresenta a maior especificidade é considerada mais propícia para ser empregada como herbicida natural (KLAIC *et al.*, 2014).

Em um estudo realizado por Brunes *et al.*, (2015), dentre as plantas daninhas que competem com a cultura do arroz (*Oryza sativa L.*), destaca-se as espécies infestantes *Sagittaria montevidensis Cham. & Schltld.*, uma planta aquática que infesta grande parte dos canais de irrigação, bem como lavouras irrigadas no país, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

No Brasil, atualmente, há registros de populações de *S. montevidensis* resistentes aos herbicidas inibidores em praticamente todos os municípios produtores de arroz irrigado em Santa Catarina. Dessa forma, o objetivo do estudo foi identificar espécies de fungos fitopatogênicos com potencial bioherbicida, bem como avaliar sua seletividade para a cultura do arroz irrigado (BRUNES *et al.*, 2015).

O trabalho consistiu das seguintes etapas: levantamento das espécies de fungos patogênicos (*Fusarium oxysporum* e *F. semitectum*) associados às plantas de *S. montevidensis*; isolamento dos fungos; avaliação do controle de *S. montevidensis* pelos isolados; e teste da seletividade dos isolados para a cultura do arroz (BRUNES *et al.*, 2015).

Verificou-se que todas as amostras estavam infectadas pelos fungos *F. oxysporum* e *F. semitectum*, com predominância de *F. oxysporum* nas folhas e de *F. semitectum* no caule. Os isolados de *F. oxysporum* e *F. semitectum* não apresentaram efeitos no controle de *S. montevidensis*, quando aplicados no estágio de floração das plantas de arroz (*Oryza sativa*) irrigado, causando perdas no rendimento, redução no vigor das sementes produzidas e redução no comprimento das plantas (BRUNES *et al.*, 2015).

Já o estudo realizado por Klaic *et al.*, (2014) aborda a produção de bioherbicidas por processos fermentativos, a partir do fungo *Phoma sp.* Os tipos de fermentação utilizados no experimento são a fermentação submersa e fermentação em estado sólido.

Um fator importante na fermentação é o meio de cultura, que pode ser o meio sintético e o meio industrial. O meio sintético utiliza reagentes biotecnológicos para desenvolver o meio de cultura, por exemplo: extrato de levedura, glicose e vários micronutrientes, mas o uso desses compostos aumenta o custo de produção. Já o meio industrial faz uso de resíduos agroindustriais ou subprodutos como substratos na fermentação e alguns dos resíduos mais utilizados na fermentação submersa são: licor de maceração de milho, óleo de soja, óleo de semente de algodão, cana-de-açúcar melaço, leite de soja entre outros (KLAIC *et al.*, 2014).

O uso de meio industrial representa uma boa alternativa para produzir bioherbicida em baixo custo, pois a produção pode melhorar ou pelo menos permanecer a mesma, como a obtida em meio sintético. Além disso, a busca pelo substrato mais adequado não é apenas ditada pelos custos e disponibilidade do substrato, mas por outros fatores, como a complexidade de reações. Por outro lado, resíduos industriais podem conter substâncias insolúveis e outros componentes que podem afetar o crescimento do microrganismo (KLAIC *et al.*, 2014).

A viabilidade técnica e econômica, na produção desses compostos, depende da quantidade de produto excretado pelo microrganismo, bem como pela possibilidade de

aumento da escala do processo fermentativo. De acordo com o estudo, ocorre uma maior produção de metabólitos por fermentação em estado sólido, porém o seu escalonamento é complicado. Por outro lado, uma fermentação submersa apresenta maior facilidade de escalonamento, enquanto produção normalmente é menor, uma vez que o metabolismo produzido encontra-se diluído em um grande volume (KLAIC *et al.*, 2014).

Outro estudo abordado foi realizado por Rossetto (2018) e teve como objetivo produzir e aplicar biocomposto obtido a partir do fungo *Trichoderma koningiopsis* e avaliar seu potencial como bioherbicida. A obtenção do biocomposto, deu-se pela otimização do processo fermentativo, em fermentação submersa.

Trichoderma é um gênero de fungos com alto potencial biotecnológico, devido a sua capacidade de colonizar diversos substratos sob diferentes condições ambientais, bem como, sua capacidade de secretar uma variedade de enzimas e metabólitos secundários (ROSSETTO, 2018).

O *Trichoderma konigiopsis* foi isolado a partir da planta daninha *Digitaria horizontalis*, popularmente conhecida por milha. A aplicação do biocomposto ocorreu sob as plantas daninhas: leiteiro (*Euphorbia heterofila*), picão preto (*Bidens pilosa*) e papuã (*Urochloa plantaginea*). Dentre as plantas utilizadas a que apresentou maior susceptibilidade aos biocompostos, foi o leiteiro (*Euphorbia heterophylla*) com danos de até 90% em suas folhas. Com exceção do leiteiro, nenhuma outra planta daninha estudada mostrou-se suscetível aos biocompostos utilizados (ROSSETTO, 2018).

Assim, o fungo *Trichoderma konigiopsis*, mostra grandes características bioherbicidas, tornando-se patogênico para a planta daninha leiteiro *Euphorbia heterophylla* (ROSSETTO, 2018).

4.6.3.2. Bioherbicidas baseados em bactérias

As bactérias, além dos metabólitos para processos biológicos fundamentais, produzem também metabólitos secundários. Embora existam muitas bactérias usadas como bioherbicidas, como por exemplo, *Bacillus*, ainda assim, a quantidade de bactérias como agentes de controle de plantas daninhas é inferior quando comparada à quantidade de fungos (KLAIC *et al.*, 2014).

A maioria das bactérias com capacidade de produzir toxinas são bactérias Gram-negativas, como *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Xanthomonas*, mas existem algumas bactérias Gram-positivas, como *Streptomyces*, *Corynebacterium fasciomonads* e algumas são Pseudomonas

não fluorescentes. A primeira bactéria estudada como agente de controle biológico de plantas daninhas foi o gênero *Xanthomonas*, como bioherbicida para o controle anual do capim-azul (*Poa annua L.*) em capim-bermuda (*Cynodon dactylon L. Pers*) (KLAIC *et al.*, 2014).

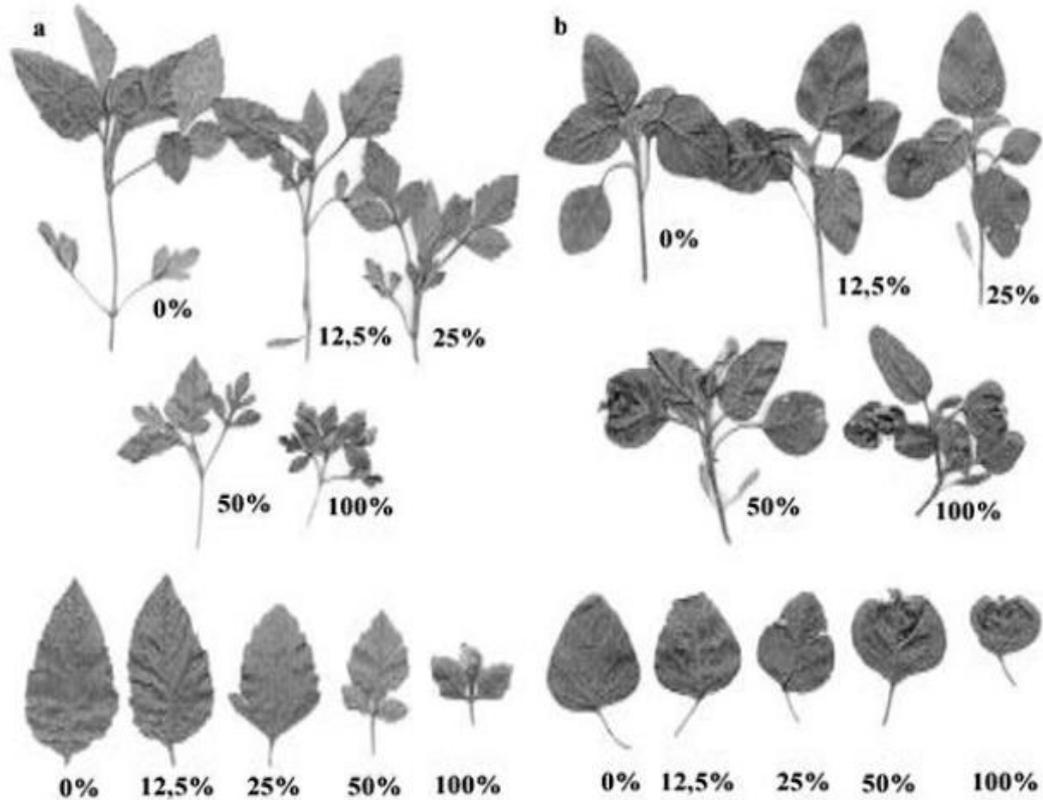
Observando que as rizobactérias podem atuar contraplantas pela produção de substâncias fitotóxicas como o cianeto, ácido indol-3-acético e haterumalida A, um estudo foi realizado por Carvalho *et al.*(2007) com um simples método para identificar potencialmente o uso de rizobactérias para o controle de plantas daninhas. Assim, o trabalho consistiu em submeter os metabólitos a um ensaio com sementes de alface (*Lactuca sativa L.*), descritas como um excelente detector de fitotoxina.

Embora os metabólitos produzidos por cinco cepas de rizobactérias tenham apresentado atividade fitotóxica durante o ensaio de sementes de alface, somente *Bacillus cereus* proporcionou valores realmente expressivos. Os outros quatro metabólitos de microrganismos de estudo apresentaram resultados muito perto dos controles negativos. Tal comportamento está de acordo com a literatura e revela que o *Bacillus* pode ser usado em formulações de bioherbicidas (CARVALHO *et al.*, 2007).

4.6.3.3. Bioherbicidas baseados em plantas

Na bibliografia corrente existem vários estudos que relatam o controle de plantas daninhas através de extratos vegetais, como o trabalho realizado por Pires *et al.*(2001), onde foi observado o efeito da aplicação do extrato aquoso de leucena (*Leucaena leucocephala*) sobre a germinação e o desenvolvimento das plantas daninhas picão-preto (*Bidens pilosa L.*) e caruru (*Amaranthus viridis L.*). A fitotoxicidade do extrato de leucena sobre picão-preto (a) e caruru (b), nas concentrações de 50% e 100%, ocasionou redução significativa do crescimento e deformação das folhas, conforme ilustra a FIG 13. Detalhe que a interferência aumenta de acordo com a utilização de doses mais concentradas.

Figura 13 – Resposta as diferentes doses do extrato de leucema



Fonte: PIRES et al, 2001.

Outro trabalho, realizado por Iqbal *et al.*(2016), aborda a planta daninha conhecida como noz-roxa. Esta planta é encontrada em 52 culturas e em 92 países, incluindo regiões tropicais e subtropicais. Existem poucos herbicidas seletivos para erradicar a noz-roxa no mercado, mas seu resultado é apenas por um curto período de tempo; portanto, os tubérculos são capazes de se espalhar novamente. Tendo em vista essa capacidade dos tubérculos, o estudo foi projetado para testar os extratos de plantas em tubérculos germinados e não germinados.

Um experimento em vaso foi conduzido em ambiente aberto para testar o potencial herbicida de cinco plantas de terra firme (*Fagonia indica*, *Aerva javanica*, *Calotropis procera*, *Rhazya stricta*, *Withaniacoagulans*) contra a noz-roxa (IQBAL *et al.*, 2016).

Os parâmetros de germinação foram a hora de começar a brotar, porcentagem final de brotação e a contagem de caules de noz-roxa. Houve interação não significativa entre extratos vegetais e concentração sobre a hora de começar a brotar e tempo médio de brotação; no entanto, houve uma interação significativa (plantas e concentração), porcentagem final de brotação e contagem de caules de noz-roxa, indicando potencial bioherbicidas destas espécies (IQBAL *et al.*, 2016).

5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido abordando a metodologia através de pesquisa bibliográfica, que constitui o estudo de materiais já publicados, como por exemplo, livros, artigos de periódicos, revistas, materiais disponíveis na internet, dentre outros, a fim de levantar discussões acerca do tema e expor as ideias relacionadas ao mesmo, além de embasar teoricamente as possíveis questões que surgiram.

A pesquisa bibliográfica tem como finalidade, o alcance do objetivo geral da pesquisa, sendo seu principal foco realizar estudo sobre a produção de bioherbicidas em substituição aos herbicidas atualmente utilizados, demonstrando aspectos ambientais, econômicos e produtividade, assim como seus pontos positivos e negativos com o propósito de compreender qual a melhor alternativa a ser aplicada no controle de plantas daninhas. Por fim, apresenta-se a conclusão deste estudo onde serão apontadas as descobertas alcançadas com essa pesquisa.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar da promessa demonstrada por muitos bioherbicidas, poucos têm alcançado o sucesso comercial em longo prazo. Em parte devido aos problemas relacionados ao desenvolvimento em larga escala, como sua produção, armazenamento, transporte e aplicação. Ou seja, em aspectos de produtividade, os bioherbicidas apresentam um desempenho inconsistente nas condições de campo.

Vários fatores contribuem para isto, sendo que os elementos físicos, químicos e de processos precisam ser compensados à medida que a escala aumenta. Dessa forma, a melhoria de potenciais agentes de controle depende de um método adequado de formulação, produção em massa dos propágulos infecciosos, além de sua preservação até a etapa de uso, bem como a aplicação no campo isto é, em uma escala adequadamente grande para exploração comercial.

Em aspectos econômicos, os bioherbicidas precisariam ser competitivos em preço para obterem sucesso de mercado. Em geral, o custo para produzir um herbicida a base de microrganismo ou extrato vegetal é mais alto do que valor investido para produzir agrotóxicos sintéticos. E em consequência dos bioherbicidas apresentarem preço elevado, tanto para a formulação quanto para produção, muitas empresas evitam o desenvolvimento desses produtos por considerarem não rentáveis.

Além disso, a criação de um produto natural trata-se de um processo complexo e que demanda muitas pesquisas e tempo. Percebe-se também, que os produtos biológicos, em geral, recebem menos assistência em pesquisas se comparado aos produtos químicos convencionais. Para mais, existe certo preconceito por parte dos próprios agricultores em aderir os produtos biológicos e também por parte das empresas por considerarem que tais produtos atuam em mercados pequenos. Desse modo, o maior obstáculo para a introdução do controle biológico é a falta de apoio.

No entanto, em aspectos ambientais os bioherbicidas demonstram pontos positivos em relação aos herbicidas atualmente utilizados. Entre os benefícios para o uso, está principalmente o aspecto ecológico, por não causarem nenhum impacto nos recursos naturais, por não haver desequilíbrios biológicos, além disso, a ausência de resíduos químicos nas culturas e conseqüentemente uma proteção maior aos trabalhadores rurais e aos consumidores diretos dos alimentos.

Vale ressaltar, que o Brasil exporta muitas commodities e se segue uma tendência mundial, onde o mercado internacional tem colocado cada vez mais restrições aos

agroquímicos, exigindo maior segurança alimentar (BRASIL, 2019). Simultaneamente, a disponibilidade de herbicidas mais antigos está diminuindo, à medida que quesitos ambientais e toxicológicos mais rigorosos resultam na remoção voluntária do mercado de defensivos agrícolas (ZIMDAHL, 2007).

Por fim, considerando a gama de bioherbicidas apresentados nesta revisão e as oportunidades de combinar com outras ferramentas de gestão de plantas daninhas, uma vez que o microrganismo pode atuar como um potencializador do efeito tóxico, o uso desses biodefensivos deve ser um passo importante para alcançar a sustentabilidade na agricultura. Neste contexto, torna-se indispensável a realização de testes em escala real, utilizando metodologias específicas para estes ambientes e uma avaliação mais precisa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o estudo desenvolvido tenha apresentado possível potencial de aplicação dos bioherbicidas no controle de plantas daninhas, existem algumas limitações de produtividade e alguns aspectos econômicos que precisam ser aprimorados para o uso agrícola.

Pode-se concluir que a efetiva substituição dos bioherbicidas aos herbicidas atualmente utilizados trata-se de um fenômeno complexo, que envolve a necessidade de pesquisas científicas detalhadas de médio e longo prazo, de modo a identificar organismos com propriedades adequadas de promover o controle sobre populações-alvo, além de viabilizar a produção, armazenamento e aplicação em grande escala.

REFERÊNCIAS

ABBOUD, A. C. de S. **Introdução à agronomia**. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 614 p.

ACOMPANHA AGRO. **Plantas daninhas: milho voluntário pode reduzir a produtividade da soja**. Disponível em: <http://www.acompanhaagro.com/agricultura/plantas-daninhas-milho-voluntario-pode-reduzir-a-produtividade-da-soja/>. Acesso em: 11 mai. 2019.

AGRA, F. A. Agricultura e industrialização. **Acessa.com**, out. 2009. Disponível em: <https://www.acesa.com/negocios/arquivo/economia/2009/10/09-artigo/>. Acesso em: 22 mar. 2019.

AGROLINK. **Capim pé de galinha**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/problemas/capim-pe-de-galinha_71.html. Acesso em: 13 jun. 2019.

ALMEIDA, T. C. **Formulação de um herbicida biológico produzido através da fermentação submersa em biorreator**. 2014. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

ANVISA. **Agrotóxico, herbicida e pesticida**. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2fasset_publisher%2fview_content&_101_assetEntryId=2861541&_101_type=content&_101_groupid=219201&_101_urltitle=agrotoxico-herbicida-e-pesticida&inheritredirect=true. Acesso em: 03 mai. 2019.

BAILEY K.L. The Bioherbicide Approach to Weed Control Using Plant Pathogens. In: ABROL, D. P. (Ed.). **Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspectives**. Elsevier, 2014, p. 245-266.

BAILEY, K. L. et al. The effects of *Phoma macrostoma* on nontarget plant and target weed species. **Biological Control**, v. 58, 379–386, 2011.

BAYER BRASIL. **A Bayer e o Embrapa pesquisam plantas daninhas resistentes a herbicidas**. Disponível em: <https://www.bayer.com.br/midia/sala-de-imprensa/crop-science/releases/bayer-e-embrapa-pesquisam-plantas-daninhas-resistentes-a-herbicidas.php>. Acesso em: 16 mai. 2019.

BBC NEWS BRASIL. **Na contramão de Europa e EUA, Brasil caminha para liberar mais agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44621328>. Acesso em: 18 jun. 2019.

BOMBARDI, L. M. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. 1 ed. São Paulo: FFLCH - USP, 2017. 296 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Mercado de biodefensivos cresce mais de 70% no Brasil em um ano. Disponível em:

<http://www.agricultura.gov.br/noticias/feffmercado-de-biodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>. Acesso em: 22 mai. 2019.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011, cap. 1, p. 1-36.

BRUNES, A. P. *et al.* Fungos fitopatogênicos para biocontrole de *Sagittaria montevidensis* e seletividade para a cultura do arroz irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p. 886-894, out. 2015.

CARVALHO, L. B. de. **Herbicidas**. 1 ed. Lages - SC: Edição do Autor, 2013. 62 p.

CARVALHO, D. D. C. *et al.* Rhizobacteria able to produce phytotoxic metabolites. **Brazilian Journal of Microbiology**, nov. 2007.

CASTRO, C. N. de. **A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Ipea: instituto de pesquisa econômica aplicada, Rio de Janeiro, p. 1-48, nov. 2012. Disponível em:

http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/pdfs/tds/td_1786.pdf. Acesso em: 21 mar. 2019.

CECCHIN, K. *et al.* Allelopathy and allelochemicals of *eragrostis plana* (poaceae) and its relation with phenology and nitrogen fertilization. **Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, v. 35, p. 1-12, abr. 2016.

CHIKOWO, R. *et al.* Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 237-242, 2009.

CONSTANTIN, J. Métodos de Manejo. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Ompipax, 2011, p. 67-78.

ELLIOTT, M. S. *et al.* Supplemental host range of *Araujia mosaic virus*, a potential biological control agent of moth plant in New Zealand. **Australasian Plant Pathology**, v. 38, p. 603-607, 2009.

EL PAÍS. **Agrotóxicos intoxicaram 26.000 brasileiros em dez anos**. Disponível em:

https://brasil.elpais.com/brasil/2018/08/11/politica/1533993943_113452.html. Acesso em: 9 jun. 2019.

EL PAÍS. **O “alarmante” uso de agrotóxicos no Brasil atinge 70% dos alimentos**.

Disponível em:

https://brasil.elpais.com/brasil/2015/04/29/politica/1430321822_851653.html. Acesso em: 28 mai. 2019.

EMBRAPA. **Novo caso de resistência a herbicida é identificado no Paraná.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25397622/novo-caso-de-buva-resistente-a-herbicida-e-identificado-no-parana>. Acesso em: 13 jun. 2019.

EMBRAPA. **Trajatória da agricultura brasileira.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FONTES, J. R. A. *et al.* **Manejo integrado de plantas daninhas.** 1 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 47 p.

GLOBO RURAL **Comercialização de defensivos caiu 7% em 2017, diz sindiveg.**

Disponível em:

<https://revistagloborural.globo.com/noticias/agricultura/noticia/2018/06/comercializacao-de-defensivos-caiu-7-em-2017-diz-sindiveg.html>. Acesso em: 16 mai. 2019.

GLOBO RURAL. **Insumos biológicos estão em alta.** Disponível em:

<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2019/01/insumos-biologicos-estao-em-alta.html>. Acesso em: 07 jun. 2019.

GLOBO RURAL **Resistência Dificuldade de Manejo de Plantas Daninhas.** Disponível em:

<https://revistagloborural.globo.com/noticias/agricultura/noticia/2018/08/resistencia-multipla-dificulta-manejo-de-plantas-daninhas-dizem-especialistas.html>. Acesso em: 07 mai. 2019.

GONZALEZ, A. **O uso abusivo dos agrotóxicos e o mal que eles fazem à saúde**

humana. abr. 2018. Disponível em: <http://g1.globo.com/natureza/blog/nova-etica-social/post/o-uso-abusivo-dos-agrotoxicos-e-o-mal-que-eles-fazem-saude-humana.html>. Acesso em: 19 abr. 2019.

IBAMA. **Histórico de comercialização.** Disponível em:

https://www.ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2017/grafico-consumo_agrotoxicos_2000-2017.pdf . Acesso em: 07 mai. 2019

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Ompipax, 2011, p. 193-214.

IQBAL J. *et al.* Herbicidal potential of dryland plants on growth and tuber sprouting in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). **SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, v. 36, dez. 2016.

KELLER, N. P.; TURNER, G.; BENNETT, J. W. Fungal secondary metabolism from biochemistry to genomics. **Nature Reviews Microbiology**. p. 937-947, 2005.

KLAIC, R. *et al.* An overview regarding bioherbicide and their production methods by fermentation. **Fungal Biomolecules**. 1ed.: John Wiley & Sons, Ltda. p. 183-199, 2014.

LI, Y. *et al.* Research progress on microbial herbicides. **Crop Protection**, v. 22, p. 247–252, 2003.

MAIS SOJA. **Nível de dano econômico de meio ambiente na cultura da soja.** Disponível em: <https://maissoja.com.br/nivel-de-dano-economico-de-capim-amargoso-na-cultura-da-soja/>. Acesso em: 13 jun. 2019

MANCUSO, M. A. C. *et al.* Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151-164, mai./ago. 2011.

MARCHI, G. *et al.* **Herbicidas: mecanismos de ação e uso.** 1 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

MINAS GERAIS. Secretaria de estado de agricultura, pecuária e abastecimento, subsecretaria de política e economia agrícola. **Perfil do agronegócio brasileiro, 2019.** Disponível em: [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_brasil_mai_2019\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_brasil_mai_2019[1].pdf). Acesso em: 05 de mai. 2019.

NACHTIGAL, G. F. **Controle biológico de plantas invasoras exóticas do Brasil por meio de fitopatógenos: princípios e estratégias de aplicação em ecossistemas agrícolas e naturais.** Embrapa, 2009.

OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos Herbicidas no Ambiente. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Omnipax, 2011, p. 263-304.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Introdução ao Controle Químico. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Omnipax, 2011, cap. 6, p. 125-139.

OSIPE, R.; ADEGAS, F. S.; OSIPE, J. B. Plantas daninhas na agricultura: o caso da buva. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo.** Curitiba: Omnipax, 2013, cap. 1, p. 1-4.

PIRES, N. de M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Omnipax, 2011, p. 95-123.

PIRES, N. M. *et al.* Atividade alelopática da leucena sobre espécies de plantas daninhas. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 61-65, 2001.

PRIMEL, E. G. *et al.* Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil: predição teórica e monitoramento. **Química nova**, v. 28, n. 4, p. 605-609, abr. 2005.

RANA, S. S. **Principles and Practices of Weed Management.** Department of Agronomy, College of Agriculture, CSK Himachal Pradesh Krishi Vishvavidyalaya, Palampur, 2016. 167 p.

REIGOSA, M. J. *et al.* Ecophysiological approach in allelopathy. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 18, n. 5, p. 577-608, 2006.

ROEL, A. R. A agricultura orgânica ou ecológica e a sustentabilidade da agricultura. **Revista Internacional de Desenvolvimento**, v. 3, n. 4, p. 57-62, mar. 2002.

ROMAN, E. S. *et al.* **Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação**. 1 ed. Passa Fundo: Berthier, 2005. 152 p.

ROSSETTO, V. **Produção e aplicação de bioherbicida obtido a partir de *Trichoderma koningiopsis***. Erechim – RS, ago. 2018.

SEIDLER, E. P.; FRITZ FILHO, L. F. A evolução da agricultura e o impacto gerado pelos processos de inovação: um estudo de caso no município de Coxilha - RS. **Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, v.28, n.1, p. 388-409, jan./jun. 2016.

SIERRA FOOTHILLS GARDEN. **Allelopathic Plants....what? “I want to be aloooone”**. Disponível em: <https://sierrafoothillgarden.com/2011/04/10/allelopathic-plants-what-i-want-to-be-alooone/>. Acesso em: 3 set. 2019.

SILVA, A. A. da *et al.* Herbicidas: resistência de plantas. In: SILVA, A. A. da; SILVA, J. F. da (Ed.). **Tópicos em Manejo de Plantas Daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, 2007, cap. 7 p. 279-324.

SILVA, A. F. da *et al.* Métodos de controle de planta daninhas. In: OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. (Ed.). **Controle de Plantas Daninhas: método físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. Brasília: Embrapa, 2018, cap. 1, p. 11-33.

SILVA, P. S. S. D. Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. **Biotemas**. Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 65-74, jun. 2012.

TESSMANN D. J. Controle biológico: aplicações na área de Ciência das Plantas Daninhas. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; OLIVEIRA NETO, A. M. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011, cap. 4, p. 79-94.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, jul. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0103-40142008000200002&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 24 abr. 2019.

VARGAS, L. *et al.* **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil: histórico, distribuição, impacto econômico, manejo e prevenção**. 1 ed. [SL]: Embrapa, 2016. 219-239 p.

VASCONCELOS, M. da C. C. de *et al.* Interferência de plantas daninhas sobre plantas cultivadas. **Agropecuária científica no semiárido**, Paraíba, v. 8, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: Inovação e Competitividade**. 1 ed. Brasília: IPEA, 2017. 316 p.

VILLAVERDE, J. J. *et al.* Biopesticides in the framework of the European pesticide regulation (EC). **Pest Management Science**. v. 70, n 1, p, 2-5, 2014.

ZIMDAHL, R. L. **Fundamentals of weed Science**. 3 ed. San Diego: Elsevier, 2007, 666 p.