

*A história das  
pesquisas em  
alelopatia  
no Brasil*

Antônio Pedro da Silva Souza Filho

**Embrapa**

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Amazônia Oriental  
Ministério da Agricultura e Pecuária**

*A história das  
pesquisas em  
alelopatia  
no Brasil*

*Antônio Pedro da Silva Souza Filho*

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2023

**Embrapa**

Parque Estação Biológica  
Av. W3 Norte (final)  
70770-901 Brasília, DF  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição**

Embrapa Amazônia Oriental  
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n  
66095-903 Belém, PA  
www.embrapa.br/amazonia-oriental

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Bruno Giovany de Maria*

Secretária-executiva

*Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana*

Membros

*Alexandre Mehl Lunz, Andréa Liliane Pereira da Silva, Anna Christina Monteiro Roffé Borges, Gladys Beatriz Martinez, Laura Figueiredo Abreu, Patricia de Paula Ledoux Ruy de Souza, Vitor Trindade Lôbo, Walnice Maria Oliveira do Nascimento*

Supervisão editorial e revisão de texto

*Narjara de Fátima Galiza da Silva Pastana*

Normalização bibliográfica

*Andréa Liliane Pereira da Silva*

Projeto gráfico e diagramação

*Vitor Trindade Lôbo*

**1ª edição**

Publicação digital (2023): PDF

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Amazônia Oriental

---

Souza Filho, Antônio Pedro da Silva.

A história das pesquisas em alelopatia no Brasil / Antônio Pedro da Silva Souza Filho. – Brasília, DF : Embrapa, 2023.

PDF (77 p.) : il. color

ISBN 978-65-89957-87-4

1. Alelopatia. 2. Pesquisa – história. 3. Defesa vegetal. 4. Controle biológico. I. Título. II. Embrapa Amazônia Oriental.

CDD 577.8381

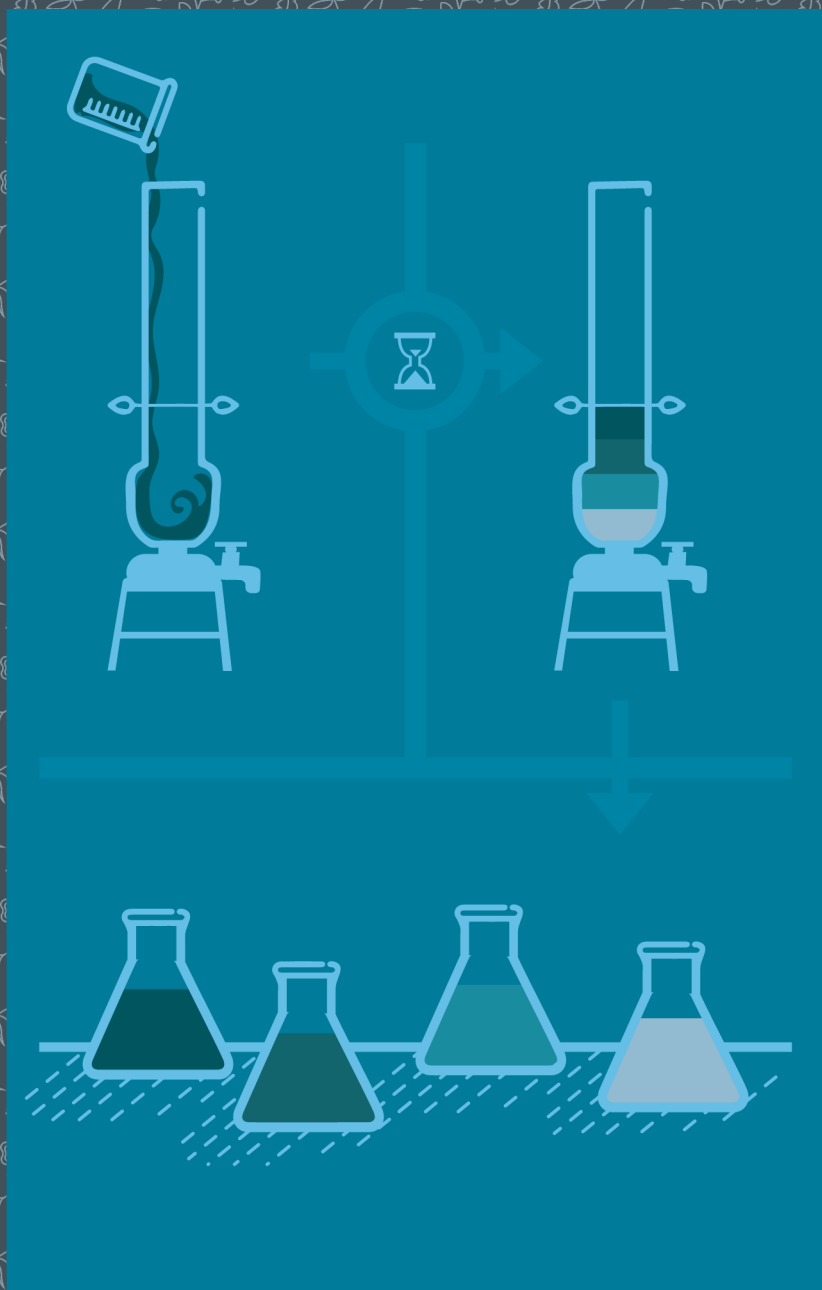
*Autor*

**Antônio Pedro da Silva Souza Filho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da  
Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA



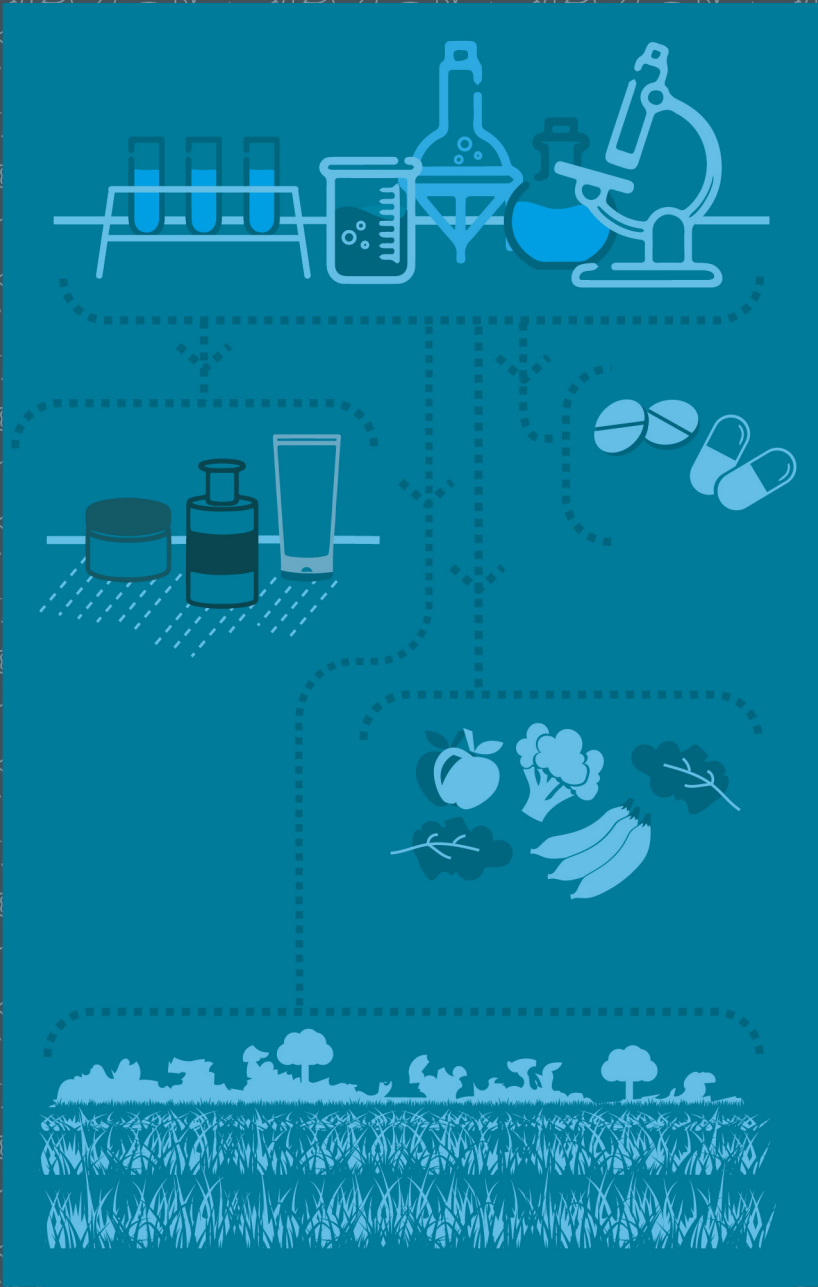
Em memória dos que partiram e deixaram  
saudades que ardem na chama eterna do saber.



# Agradecimentos

Às instituições de fomento que financiaram nossas pesquisas: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).





# Apresentação

A possibilidade de selecionar agentes químicos produzidos por plantas e microrganismos que pudesse compor inovadores produtos com potencial para controle de plantas daninhas e substituir os atuais agroquímicos disponíveis no mercado agrícola foi a chave que faltava para deslançar as pesquisas na área de alelopatia. Em face dessa percepção, grupos de pesquisadores começaram a se formar em diferentes instituições de pesquisas e universidades no Brasil, com singular perfil no estado do Pará. Ao mesmo tempo, laboratórios avançados dotados de equipamentos modernos foram montados e pesquisadores de outras áreas do conhecimento passaram a fazer parte dessa linha do conhecimento, especialmente aqueles da área de química de produtos naturais.

Conhecer a trajetória que nos trouxe de um mundo totalmente desconhecido até aqui é de fundamental importância para o futuro das pesquisas em alelopatia. O livro *A História das Pesquisas em Alelopatia no Brasil* aborda, de forma singela, as pesquisas que foram desenvolvidas nos últimos 30 anos na região amazônica, especialmente no estado do Pará. O presente livro é acima de tudo uma viagem no tempo e que resgata de forma clara as pesquisas que foram desenvolvidas, os acertos e os erros, e pontua ainda os avanços e as necessidades para o futuro. Da mesma forma, o livro nos mostra que o caminho é difícil e que, embora tenhamos avançado substancialmente, a distância para o objetivo maior, que é a produção de bio defensivos agrícolas, ainda é grande e que

esforços serão exigidos daqueles que se aventurarem nessa área. O caminho está aberto e as informações aqui compiladas vão nos permitir ver o futuro com otimismo e confiança.

*Walkymário de Paulo Lemos*  
Chefe-Geral da Embrapa Amazônia Oriental

# Prefácio


Em que pesem todas as dificuldades e limitações enfrentadas ao longo dos últimos 30 anos, qualquer balanço que se possa fazer sobre as pesquisas na área de alelopatia será sempre positivo, embora os tropeços fossem muitos e em alguns momentos a vontade de desistir fosse maior do que seguir em frente. Não foram poucas as dúvidas e incertezas, mas o sentimento de atender a demanda da sociedade e ser fiel aos princípios que regem os ditames da ciência sempre falaram mais alto. Poder contar com o apoio de colegas e amigos que nos acompanharam nessa trajetória foi, sem dúvida, a razão maior que não permitiu que desistíssemos e simplesmente déssemos as costas aos apelos que nos chegavam.

Propor uma nova alternativa para controle das endemias que assolam a agricultura brasileira, mormente aquelas nas regiões tropicais, com ocorrência frequente de insetos, fungos e plantas daninhas, além dos animais que são acometidos por carrapatos, que comprometem não só o desempenho da atividade, mas, também, que reduzem a lucratividade e os retornos dos investimentos, além de impor restrições de mercado, era um compromisso do qual não se podia abrir mão. Ao olhar pra trás, vemos o quanto se avançou no conhecimento das interações entre plantas e de plantas com outros microrganismos. Um contingente de informações foi produzido, tanto em termos de livros publicados, como capítulo de livros, artigos científicos e outras divulgações, que nos possibilitaram a prestação de contas com aqueles que nos financiaram, a sociedade brasileira.

Com a publicação do presente livro, que traz como título *A história das pesquisas em alelopatia no Brasil*, com ênfase nas pesquisas desenvolvidas pelo grupo de pesquisadores de instituições regionais como Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Universidade Federal do Pará (UFPA) e Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), traça-se de forma resumida e definitiva todo um cenário, lógica e diretrizes que nortearam nova visão e expectativa em relação às possibilidades de se estabelecer paradigmas de manejo e controle de agentes bióticos, os quais comprometem o desempenho de nossa agricultura, com respeito aos valores da sociedade e que garante o atendimento das demandas, cada vez mais crescentes, de consumo de alimentos da dieta humana.

*O Autor*

# Sumário

- 
- Introdução, 15**
- A motivação para o estudo da alelopatia, 17**
- Formação de um grupo em Belém, PA, 18**
- Equipamentos de suporte à pesquisa, 19**
- Os primeiros conceitos e a evolução do entendimento, 20**
- A evolução da alelopatia como ciência, 22**
- As pesquisas no estado do Pará, 25**
- Interpretação dos resultados e encaminhamentos, 42**
- Pesquisas com toxinas produzidas por fungos, 43**
- Pesquisas com outras fontes de toxinas, 47**
- Expectativas em relação ao sinergismo e antagonismo, 50**
- Alterações na estrutura das moléculas, 54**
- Usando fungos endofíticos, 54**
- Usando técnicas de laboratório, 55**
- Desdobramentos nas pesquisas, 56**
- Atuais pesquisas, 57**
- Dificuldades a serem superadas, 60**
- O que esperar do futuro, 61**
- Considerações finais, 64**
- Literatura recomendada, 65**





# Introdução


Alelopatia é um termo cunhado por Molish, em 1937, que vem do grego *allelon* (mútuo) e *pathos* (prejuízo). Embora seja uma ciência relativamente nova, com aproximadamente 85 anos, o fato de uma planta interferir na performance de outras em sua vizinhança, alterando o padrão e a densidade da vegetação, via produção e liberação de compostos químicos para o ambiente por diferentes processos, como lixiviação, exsudação radicular, decomposição de resíduos e volatilização, vem de muito longe.

Relatos antigos mostram que esse fenômeno fora observado em diferentes momentos da trajetória humana. Theophrastus (300 a.C.) relatou que o grão-de-bico exauria o solo e, ao mesmo tempo, eliminava as plantas invasoras, mas não atribuiu a observação ao fator químico. Na segunda metade do século XVI, o famoso farmacêutico chinês Lee Shi-Jen, em seu tratado sobre plantas medicinais, descreveu efeitos tóxicos e curativos





dos constituintes químicos das plantas medicinais e indicou que tais componentes poderiam exercer papel na interação do tipo planta x planta. Um século depois, observações empíricas realizadas por Culpeper revelaram incompatibilidade entre certas plantas: onde o manjeriço crescia, plantas de arruda não vicejavam, o mesmo acontecendo com o repolho e a parreira, em que um prejudicava o desenvolvimento do outro.



Evidências da participação química nas interações entre plantas surgiram com a descoberta de um documento escrito há mais de 300 anos por Banzan Kamazawa, no qual relatam prováveis interferências químicas promovidas por *Pinus densifolia*. Em meados do século XIX, DeCandolle mencionou que os problemas verificados em solos agrícolas poderiam derivar da exsudação de compostos químicos pelas plantas cultivadas. Em fins do século XIX, foi observado que, sob árvores de *Juglans nigra*, a vegetação era muito esparsa e que determinadas espécies de plantas não vicejavam perto dela, fato que não havia sido registrado para condições semelhantes envolvendo outras espécies de plantas.

Entre o início e meados do século XX, surgiram os primeiros indícios de que plantas produziam compostos tóxicos e que, uma vez liberados no solo, promoviam alterações em outras plantas, especialmente em relação à reprodução e ao desenvolvimento. No mesmo período, surgiram as primeiras indicações de que os resíduos de plantas liberavam para o solo compostos tóxicos, apontando para a possibilidade do envolvimento de microrganismos nesse processo. Ainda no início do século XX, surgiram os primeiros relatos indicando que as raízes das plantas exsudavam material orgânico para o solo e também afetavam outras plantas em seu entorno.

# A motivação para o estudo da alelopatia

Os agentes bióticos se constituem no principal problema de ordem biológica e econômica a limitar o desempenho da agricultura em regiões tropicais. As condições ambiente predominantes nessas regiões (temperatura praticamente constante o ano todo, luminosidade de 12 horas inalterada e umidade relativamente estável), embora favoráveis para o desempenho da atividade agrícola, também o são para a proliferação de agentes nocivos à agricultura.

O controle desses agentes é de fundamental importância para a produtividade e sucesso dos empreendimentos na agricultura. No entanto, os atuais processos disponíveis para esse fim já não atendem mais aos atuais e futuros anseios da sociedade, quer porque põem em risco a qualidade dos alimentos da dieta humana, quer porque contaminam os recursos naturais, ou ainda porque são incompatíveis em relação à saúde dos humanos. Além do que, ao longo do tempo, as raças de agentes bióticos resistentes a esses produtos aumentou, tornando a eficiência muito baixa e resultando no aumento do uso desses produtos e no agravamento do problema.

No conjunto dessas implicações e considerando a importância do controle desses agentes para o sucesso da atividade agrícola, a implantação de inovadores métodos de controle que leve em consideração as aspirações da sociedade se impõem por si só. É nesse cenário que a descoberta de outras fontes de moléculas químicas com potencial para fazer frente ao desafio de controlar eficientemente as plantas daninhas, insetos, fungos, carrapatos e outros se faz necessária. É na esteira dessas questões e possibilidades que os estudos na área de alelopatia ganham espaço e importância.





## Formação de um grupo em Belém, PA

Os estudos envolvendo o isolamento e identificação de bioativos remonta ao início dos anos 1970. Porém, os trabalhos estavam restritos simplesmente à obtenção das moléculas químicas. Ao longo de 20 anos essa tendência permaneceu inalterada. Por volta dos anos 1990, com a motivação e a demanda da sociedade, passaram, então, a dar uma utilidade para as moléculas isoladas. Naquele momento, a Universidade Federal do Pará (UFPA) já contava com contingente substancial de professores pesquisadores com grande experiência nessa linha. Paralelamente, já havia equipamentos que facilitavam o desenvolvimento das pesquisas. No mesmo período, o Laboratório de Agroindústria e o Campo de Plantas Medicinais da Embrapa Amazônia Oriental ofereciam outros componentes relevantes para os estudos. A existência de um curso de pós-graduação em Química, inicialmente mestrado e em segundo momento doutorado, foi relevante para a consolidação do grupo. Em função dessas condicionantes, formou-se o grupo de trabalho em alelopatia, que era formado pelos seguintes pesquisadores:

- Adolfo Henrique Müller – UFPA
- Alberdan da Silva Santos – UFPA
- Alberto Cardoso Arrufa – UFPA
- Antônio José Cantanhede Filho – Instituto Federal de Educação do Maranhão (IFMA)
- Antônio Pedro da Silva Souza Filho – Embrapa Amazônia Oriental
- Ely Simone Cajueiro Gurgel – Museu Paraense Emílio Goeldi
- Gisele Maria Skelding Pinheiro Guilhon – UFPA



- Heriberto Rodrigues Bittencourt – UFPA
- Joaquim de Carvalho Bayma – UFPA
- José Luiz Martins do Nascimento – UFPA
- Lívia Trindade Lobo – UFPA
- Lourivaldo Silva Santos – UFPA
- Márcia Maria Mauli – Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR)
- Marcus Arthur Marçal Vasconcelos – Embrapa Acre
- Mara Sílvia Pinheiro Arruda – UFPA
- Maria das Graças Bechara Zogbi – Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)
- Maria Olímpia Oliveira Rezende – Universidade de São Paulo (USP)
- Marivaldo José Costa Corrêa – UFPA
- Milton Nascimento da Silva – UFPA
- Rainiomar Raimundo Fonseca – Universidade Estadual do Amazonas (UEA)
- Sérgio Mello Alves – Embrapa Amazônia Oriental

## Equipamentos de suporte à pesquisa

- Ressonância magnética nuclear (300 e 500 MHz) – 2
- Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC/MS/MS) – 2
- Cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas de alta resolução (HRMS) – 1
- Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS/MS) – 4
- Câmara de germinação BOD – 4



- CO<sub>2</sub> supercrítico – 1

## Os primeiros conceitos e a evolução do entendimento

Originalmente, o termo alelopatia foi designado para explicar as interações do tipo planta x planta, mediada por compostos químicos. Em si, o termo se referia a todos os efeitos diretos e indiretos que resultavam em comprometimento de outros componentes do meio, tendo como resultado modificações na dinâmica das comunidades de plantas, beneficiando determinadas espécies e comprometendo a performance de outras. Posteriormente, o conceito foi estendido para todos os efeitos deletérios e estimulantes, embora a maioria dos relatos encontrados na literatura se refiram aos efeitos deletérios. Em momento seguinte, foi incluída a participação dos microrganismos, tanto aqueles relacionados à própria planta como aqueles de solo, que promovem alterações nas estruturas das substâncias.

Em princípio, a alelopatia estava relacionada a efeitos interespecíficos, porém, observações de campo mostraram a presença de efeitos intraespecíficos, cujo termo empregado para designar tais casos foi autotóxico. Dessa forma, a autotoxicidade ocorre quando uma dada espécie produz compostos químicos que afetam o comportamento da própria espécie. Efeitos autotóxicos observados sobre o desenvolvimento de uma dada espécie se devem ao processo seletivo, em que as espécies selecionam aquelas plantas mais capazes de se desenvolverem em um dado ambiente e gerarem ciclos reprodutivos, garantindo o suprimento de novos indivíduos capazes de perpetuar a espécie, em detrimento daquelas de menor potencial, reduzindo a autocompetição por fatores essenciais à sobrevivência. Já os



efeitos autotóxicos sobre a germinação de sementes não têm sido relatados, até porque as sementes são a garantia do fluxo permanente de indivíduos da espécie. Assim, as sementes são imunes aos efeitos dos compostos químicos produzidos pela própria espécie, possibilitando a efetiva e máxima germinação em um dado espaço de tempo. Em determinados casos, os efeitos autotóxicos são de maior magnitude do que os interespecíficos.

Ao longo dos anos, outros termos foram se juntando àqueles originalmente estabelecidos para elucidar as implicações observadas nos ambientes naturais e nos agrossistemas. Na esteira dessas definições, o termo interferência surgiu para separar efeitos diferentes: interferência devido à competição por fatores essenciais à sobrevivência, como água, luz, nutrientes, foi definido como alelospolia; já as interferências mediadas por um agente químico foram definidas como alelopatia. A alelomeiação foi entendida como toda interferência indireta que promove mudanças no ambiente físico ou biológico, com reflexos nos seres vivos. Embora conceitualmente seja fácil distinguir a diferença entre alelospolia e alelopatia, na prática essa diferença não é tão clara assim, pois acontecem simultaneamente e separar o quanto de cada uma está envolvido nas alterações observadas é tarefa das mais difíceis.

Por volta de 1970, foi proposto o termo “aleloquímico” para designar toda substância química envolvida em interações entre plantas e, posteriormente, surgiu o termo “semioquímico” para designar as substâncias químicas envolvidas nas interações entre organismos vivos, por exemplo, planta x inseto, planta x fungo, entre outras. Em momento seguinte, foram admitidos os termos “fitoinibidores” e “saproinibidores” como apropriados para descrever compostos de origem de plantas e microrganismos, respectivamente. Dessa forma são aceitos os termos “fitotoxina” e “saprotoxina” para designar as toxinas produzidas por plantas e fungos, respectivamente.





No final dos anos 1990 o termo aleloquímico foi subdividido em quatro grupos: alomônios; cairomônios; sinomônios e apneumônios. Os alomônios são aqueles que promovem respostas fisiológicas favoráveis ao emitente, mas não para o receptor. Os cairomônios, por sua vez, são aqueles que beneficiam o receptor, mas não o emitente. Para aquelas substâncias que mediam interações do tipo mutualismo, foi proposto o termo “sinomônio” e, finalmente, o termo “apneumônio” foi proposto para aquelas substâncias originadas de material não vivo e que beneficia o organismo receptor, mas é prejudicial a organismos de outras espécies que podem estar presentes no material não vivo. Em 1970, Webester estabeleceu o termo bioensaio para designar os métodos que envolviam o uso de materiais biológicos (sementes e plantas) para avaliar a atividade de uma substância desconhecida em relação a uma conhecida (água, por exemplo). Desde então, esse termo é tradicionalmente empregado em estudos de alelopatia.

## A evolução da alelopatia como ciência

Ao longo de mais de 50 anos, a nova ciência foi se espalhando pelo mundo, deixando de ser uma exclusividade dos países desenvolvidos, como Estados Unidos, Canadá e países europeus, e lentamente grupos de pesquisa foram se formando em diferentes institutos e universidades em torno do mundo. Cursos de pós-graduação foram configurados para atender a nova linha de pesquisa e equipamentos modernos passaram a fazer parte do dia a dia das instituições. Na mesma linha, revistas científicas foram criadas para divulgar informações de interesse da comunidade científica envolvida com o tema, e um bom exemplo disso foi a criação da revista *Allelopathy Journal*,





editada pela International Allelopathy Foundation, com sede na Índia, que se dedica especificamente a divulgar os avanços e inovações que ocorrem na área. Ainda na linha internacional, revistas como *Journal of Chemical Ecology*, *Journal of the American Chemical Science*, *Botanical Review*, *Science e Phytochemistry*, entre outras tantas, assumiram grande protagonismo como veículos de divulgação de resultados. No Brasil, a divulgação de informações na área esteve distribuída em revistas como *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *Química Nova* e *Planta Daninha*, entre outras.

Nas Américas do Sul e Central, essa nova modalidade de abordagem levou um pouco mais de tempo para se estabelecer. Países como México e Argentina saíram na frente, graças a treinamento de profissionais em cursos de pós-graduação em universidades americanas e europeias. Desses, o México aparentemente é o único que tem uma equipe bem definida formada por químicos de produtos naturais e agrônomos. Na América Central, o tema ainda não mereceu a atenção das instituições de pesquisa e, embora alguns resultados estejam disponíveis, a quantidade ainda é insuficiente e os resultados disponíveis são reflexos muito mais de esforços individuais do que de uma equipe de pesquisadores consolidada. Nesse mesmo patamar, estão países como Colômbia e Chile. Isso indica que a grande maioria dos países do continente americano ainda não descobriu a importância desse tipo de estudo.


No Brasil, os estudos em alelopatia tiveram início por volta dos anos 1960–1970 como resultado dos esforços de alguns poucos pesquisadores que viam nessa linha grandes perspectivas para o futuro, merecendo menção o pesquisador Fernando Almeida, do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que muito contribuiu para que essa área do conhecimento ganhasse corpo e fosse difundida. Ao longo de todos esses anos, não mais do que três grupos conseguiram se consolidar, embora possam







ser encontrados alguns artigos tratando do tema, mas que não refletem a formação de grupo, pois eram manifestações isoladas que, com o decorrer do tempo, desapareceram. Não é incomum encontrar dissertações ou mesmo teses defendidas em universidades brasileiras, mas que são iniciativas muito mais do aluno do que fruto de um programa em curso que conta com uma equipe formada para esse fim.



Inicialmente, as pesquisas envolviam apenas o uso de extratos brutos aquosos ou alcoólicos, preferencialmente de folhas de plantas muitas vezes selecionadas ao acaso, e as abordagens envolviam os efeitos desses extratos sobre a germinação e o alongamento de radículas e hipocótilo de plantas receptoras. A implantação de técnicas de isolamento e identificação de compostos químicos com atividade alelopática só foi possível com a participação de químicos de produtos naturais e a inclusão dos laboratórios detentores de equipamentos como o de ressonância magnética nuclear (RMN), o de cromatografia líquida acoplada à massa de alta resolução e o de cromatografia gasosa também acoplado à massa, o que só ocorreu em fins de 1990.

O ponto de partida dos estudos na área de alelopatia obedeceu a três estratégias básicas: 1) exploração de um dado componente de um agrossistema para uso no mesmo agrossistema, a exemplo da prospecção de atividade alelopática em espécies de plantas forrageiras com vista ao controle e manejo de plantas daninhas em pastagens cultivadas; 2) prospecção de atividade alelopática em componente que habita sistema semelhante àquele para o qual será utilizado, a exemplo dos estudos com espécies florestais visando o controle de plantas daninhas em cultivos agrícolas; 3) prospecção em um componente de um sistema totalmente diferente daquele para o qual será empregado, como a prospecção de bioativos em sistemas aquáticos para uso na agricultura, com ênfase em algas, em primeiro momento, e mais tarde geoprópolis e própolis.



Partindo-se dessas diretrizes, os primeiros estudos envolveram o uso de diferentes frações das plantas doadoras, como folha, colmo, cascas, raízes, sementes, flores, frutos e vagens. A hipótese inicial era que se precisava determinar qual a fração mais ativa, que concentrava a maior porção dos princípios ativos da planta. Nessa fase, basicamente, usavam-se extratos aquosos brutos, os quais têm quatro vantagens: 1) é fácil e relativamente rápido de se obter o extrato; 2) os custos são praticamente zero; 3) os testes biológicos são rápidos; e 4) não há grandes exigências quanto a equipamentos. A lógica que permeava essa tomada de decisão estava no fato de simular o que teoricamente pode ocorrer na natureza, ou seja, as chuvas lavando as folhas e outras partes das plantas, arrastando os compostos químicos para o ambiente. O problema nesse caso é que nem todos os compostos estão disponíveis na superfície das folhas ou de outras partes das plantas, prontos para serem deslocados para o solo e, mesmo se estivessem, muitos compostos não são solúveis em água, embora se saiba que a formação de micélio e de outras estratégias favorece o arraste de substância.

## As pesquisas no estado do Pará

Ao longo dos últimos 30 anos, algo em torno de 200 espécies de plantas passaram pelo escrutínio da prospecção da atividade alelopática pelo grupo de pesquisadores do estado do Pará. Desse contingente, as principais famílias estudadas foram Leguminosae e Poaceae, havendo ainda outras famílias relevantes como Apocynaceae, Asteraceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Hypericaceae, Malvaceae, Myrtaceae e outras (Tabela 1). Entretanto, outras merecem menção, como as espécies florestais *Parkia pendula*, *Inga alba*,





*Cassia multijuga*, *Cassia fastuosa*, *Calycophyllum spruceanum* e *Virola michelli*; plantas forrageiras, como *Stylosantes guianensis* e *Brachiaria decumbens*; plantas daninhas de pastagens, como *Desmodium adscendens*, *Sida rhombifolia*, *Vernonia polyanthes*, *Imperata brasiliensis*, *Paspalum maritimum*, *Senna obtusifolia*, *Senna alata* e outras.

**Tabela 1.** Exemplos de plantas produtoras de compostos de alta polaridade.

Espécie	Parte da planta	Nome comum	Composto químico
<i>Deguelia urucu</i>	Raiz	Timbó-vermelho	Rotenona, tefrosina, rotenolona e deguelina
<i>Deguelia utilis</i>	Raiz	Timbó-branco	Rotenona, tefrosina, rotenolona e deguelina
<i>Deguelia rufescens</i> var. <i>urucu</i>	Folhas	Timbó-vermelho	Dehidroflavonas (urucuol A, B e C)
<i>Brachiaria brizantha</i>	Folhas + colmos	Capim-marandu	Fridelina e epifridelinol
<i>Tachigali myrmecophila</i>	Folhas	Taxi-preto	Catequinas
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Folhas + talos	Calopogônio	Ácidos clorogênico, ferúlico, cafeico; campferol, quercetina
<i>Canavalia ensiformis</i>	Folhas e sementes	Feijão-de-porco	Ácidos clorogênico, ferúlico, cafeico; campferol, quercetina
<i>Myrcia guianensis</i>	Folhas	Pedra-ume	Ácido gálico e ácido protocatecuico
<i>Virola surinamensis</i>	Folhas	Ucuuba	Surinamensina e virolina

Continua...



**Tabela 1.** Continuação.

<b>Espécie</b>	<b>Parte da planta</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Composto químico</b>
<i>Digitaria decumbens</i>	Folhas + colmos	Digitária	Ácido ferúlico, p-cumárico, p-hidroxibenzoico
<i>Paspalum repens</i>	Folhas + colmos	Paspalum	Ácido ferúlico, p-cumárico, p-hidroxibenzoico
<i>Leucaena leucocephala</i>	Parte aérea e sementes	Leucena	Ácidos fenólicos e flavonoides
<i>Vigna unguiculata</i>	Folhas + colmos	Feijão-caupi	Ácido p-cumárico, ácido protocatecuico, campferol e quercetina
<i>Tephrosia cinerea</i>	Folhas	Anil-bravo	Ácido cinâmico e rotenona
<i>Eugenia flavescens</i>	Folhas	Não encontrado	Ácido betulínico, quercetrina, catequina, miricitina
<i>Crescentia cujete</i>	Frutos	Cujuba/cabaça	Ácido (E)-cinâmico
<i>Brachiaria humidicola</i>	Parte aérea	Capim-quicuio	Ácido p-cumárico

De forma geral, as análises dos efeitos dos extratos brutos de diferentes frações das plantas doadoras indicaram as folhas como principal fonte de compostos bioativos, havendo destaque para as sementes e raízes de algumas poucas espécies. Já em relação à polaridade dos extratos, aqueles de baixa e alta polaridade foram os que forneceram maior número de substâncias com fitotoxicidade de expressiva magnitude. Embora poucas plantas apresentassem as sementes como principal fonte de aleloquímicos, duas plantas se destacaram nesse aspecto: *Leucaena leucocephala* e *Mimosa pudica*, que possuem como





principal agente inibidor a mimosina, um aminoácido não proteico encontrado em diferentes frações da planta, em concentrações mais elevadas nas sementes do que em outras partes da planta.

Duas espécies chamaram a atenção pela forma com que se expandem e infestam as áreas onde vicejam: *Paspalum maritimum* e *Leucaena leucocephala*. A primeira tem tendência de formar estandes puros, eliminando tanto as plantas cultivadas, como aquelas outras plantas sem interesse agrônômico. Estudos indicam atividade tanto da planta como do solo onde o capim-gengibre se faz presente, o que indica liberação do composto químico envolvido na atividade para o ambiente. A leucena não é uma espécie de formar estandes puros, mas embaixo das árvores ou perto delas poucas plantas apresentam um bom desempenho. Aparentemente, mimosina e outros químicos produzidos por essas plantas têm algum mecanismo eficiente de liberação para o solo.

Outro quantitativo expressivo de plantas foi aquilatado no tocante à atividade fitotóxica e identificação e quantificação dos componentes dos óleos essenciais em diferentes espécies da Amazônia e de outras regiões do Brasil (Tabela 2). Com o avanço da tecnologia, especialmente com o advento das colunas modernas, aproximadamente 99% de todos os componentes dos óleos de uma planta podem ser identificados e quantificados. Compostos como os monoterpenos oxigenados e não oxigenados, diterpenos, sesquiterpenos, triterpenos, hidrocarbonetos e outros já foram encontrados em óleos essenciais de diferentes espécies de plantas. Especialmente para o cipó-de-alho, diferentemente de outras espécies, há predominância de compostos sulfurosos, como os monossulfetos, dissulfetos e trissulfetos. A atividade biológica dos óleos está voltada para diferentes fins de interesse, como limpeza, higiene, beleza, medicinal e ainda para uso na atividade



agrícola, especialmente em relação ao combate de insetos, plantas daninhas e carrapatos bovinos. Para melhor aquilatar a atividade biológica dos óleos essenciais, passou-se à análise da atividade dos compostos majoritários, o que permite melhor entendimento dos efeitos globais dos óleos.

**Tabela 2.** Plantas produtoras de óleos essenciais com atividade fitotóxica.

<b>Espécie</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Parte da planta</b>	<b>Composto majoritário</b>
<i>Copaifera duckei</i>	Copaíba	Folhas/galhos	$\beta$ -cariofileno
<i>Copaifera martii</i>	Copaíba	Folhas/galhos	$\beta$ -cariofileno
<i>Copaifera reticulata</i>	Copaíba	Folhas/galhos	$\beta$ -cariofileno
<i>Cyperus giganteus</i>	Ciperácea	Rizoma	Cyperotundona, óxido de cariofileno
<i>Cyperus articulatum</i>	Priprioca	Rizoma	Cariofileno
<i>Piper hispidinervium</i>	Pimenta-longa	Folhas/galhos	Safrol/terpinoleno
<i>Pogostemon heyneanus</i>	Oriza	Folhas/galhos	Álcool de patchuli, $\alpha$ -bulneseno
<i>Cymbopogon citratus</i>	Capim-santo	Folhas e colmos	Geranial e $\alpha$ -candinol
<i>Cymbopogon winterianus</i>	Capim-salsar	Folhas e colmos	Citronelal e geranial
<i>Piper divaricatum</i>	Não encontrado	Folhas	Ergosterol, acetato de ergosterol, metilergosterol
<i>Ocimum americanum</i>	Manjerição	Parte aérea	Limoneno e linalol
<i>Lippia thynoides</i>	Alecrim	Parte aérea	Timol





Ponto importante na atividade fitotóxica dos óleos essenciais é a composição química. Óleos essenciais que têm em sua composição constituintes como  $\delta$ -cadineno, um sesquiterpeno considerado um aleloquímico em estado puro e que tem apresentado fitotoxicidade em concentrações tão baixas quanto 1 nM, normalmente apresentam alta atividade biológica. Dois outros componentes relevantes na bioatividade de um óleo são o geranial e o geraniol. O limoneno, o citronelal e o cineol também fazem parte do grupo de constituintes dos óleos que representam possibilidades de altas atividades fitotóxicas, especialmente quando em altas concentrações.

Espécies frutíferas também foram alvo de estudos com vistas à produção de fitoquímicos, entre essas estão espécies de *Annona*, como *Annona montana*, *Annona squamosa* e *Annona muricata* (Figura 1), cuja composição química dos óleos essenciais indicou (E)-cariofileno e  $\beta$ -elemeno como os componentes majoritários nas três espécies, com variações no quantitativo entre as espécies:

*Annona montana*:  $\beta$ -elemeno – 14,6% e (E)-cariofileno – 7,4%

*Annona squamosa*: (E)-cariofileno – 26% e D-germacremo – 14%

*Annona muricata*: (E)-cariofileno – 41% e  $\beta$ -elemeno – 13%





Fotos: José Edmar Urano de Carvalho



**Figura 1.** Espécies de *Annona* com atividade alelopática: (A) pomar de graviola (*Annona muricata*); (B) biriba (*Annona mucosa*).

Os diferentes tipos de biomas brasileiros são ricos em espécies de plantas, muitas delas produtoras de óleos essenciais e já estudadas ao longo dos anos, apresentando atividade fitotóxica expressiva contra insetos, carrapatos e plantas daninhas (Figura 2). Compostos voláteis exercem importante mecanismo de defesa das plantas contra inimigos naturais e determinar o quanto representam quantitativamente esses efeitos é de crucial relevância para o entendimento das interações que os componentes de cada óleo desempenham. Espécies de plantas de diferentes gêneros e espécies de mesmo gênero possuem óleos essenciais com diferentes composições e concentrações, o que pode ditar em maior ou menor escala a magnitude dos efeitos defensivos que esses compostos exercem. Conhecer e registrar essas diferenças é crucial para se estabelecer as reais potencialidades desses óleos como fonte de novos produtos para uso na agricultura.







Fotos: Antônio Pedro da Silva Souza Filho



**Figura 2.** Espécies amazônicas produtoras de óleos essenciais com atividade biológica: (A) capim-limão (*Cymbopogon citratus*); (B) cipó-de-alho (*Mansoa standleyi*).

Muito se tem especulado quanto ao real potencial de uso dos óleos essenciais no controle de pragas agrícolas. Embora em estudos *in vitro* os resultados se mostrem excepcionais, a possibilidade real de uso em grandes áreas merece prudência, em primeiro lugar porque há nítida dificuldade em sintetizar os óleos em seu todo, uma vez que seus constituintes são em grande número; há ainda uma questão importante que é a alta volatilidade, o que torna a permanência no ambiente de curta duração; e finalmente o rendimento dos óleos é muito baixo, raramente superior a 2%, o que inviabiliza o plantio para extração. Há algumas plantas produtoras de óleos essenciais de alta atividade bioerbicida.

No Brasil, as primeiras substâncias químicas só foram isoladas, identificadas e testadas quanto ao potencial alelopático em 1996. A partir dessa data, número crescente de aleloquímicos vieram a fazer parte do escopo desse trabalho. Atualmente estima-se que mais de cem substâncias químicas com polaridade variando de média a alta já foram isoladas, identificadas e



testadas, sendo a grande maioria oriunda de espécies da flora nativa brasileira, especialmente da região amazônica. Desse total, quatro substâncias inéditas foram extraídas das folhas de timbó (*Deguelia urucu*), denominadas de urucuol A, B, C e D. A obtenção desse total envolve processos de extração seletiva, uso de coluna, cromatografia em camada delgada comparativa (CCDC) e demais equipamentos.

Timbó está entre as espécies de plantas mais exaustivamente estudadas. Estima-se que estejam disponíveis mais de mil trabalhos sobre a espécie em todo o mundo. Na maioria das espécies de timbó já foram isolados e identificados vários rotenoides nas raízes, porém em folhas e cipó não há registro da sua presença. Em folhas foram encontradas alguns diidroflavonoides, os quais também não foram registrados nas raízes. Foi levantada a hipótese de que a produção dos rotenoides poderia ocorrer nas folhas durante o período noturno, sendo transportados para as raízes ainda durante a noite. Para testar essa hipótese, folhas de duas espécies de timbó (nicou e urucu) foram coletadas de 2 em 2 horas das 18h às 6h, porém nenhum traço de rotenoides foi encontrado. Tanto os rotenoides como os diidroflavonoides se originam da biossíntese do ácido chiquímico. O que leva essa via a fornecer diferentes produtos é uma questão a ser respondida.

Conforme já mencionado, as raízes de diferentes espécies de timbó são ricas em rotenoides. Basicamente quatro rotenoides são encontrados: rotenona, rotenolona, tefrosina e deguelina. Dois fenômenos aparentemente estão envolvidos no mecanismo de transformação de rotenona em rotenolona e tefrosina em deguelina: fototransformação e termotransformação. Em muitos casos, esses dois termos são confundidos com foto e termodegradação, porém, transformação resulta em duas possibilidades: substância mais complexa em sua estrutura e de maior bioatividade ou substância mais simples em sua estrutura





e de menor atividade biológica; já degradação deve ser vista como perda da identidade da molécula, ou seja, resultado é sempre CHO.

Outras espécies que são cultivadas na região amazônica também foram alvo de estudos de prospecção com vistas à análise do potencial bioativo. Nesse contexto, a seleção de espécies de gramíneas e leguminosas forrageiras que apresentassem especificidades para compor pastagens consorciadas e que ao mesmo tempo fossem produtoras de substâncias que pudessem exercer certo controle sobre as plantas daninhas mereceu especial atenção. Nessa lógica, estudos envolvendo a interação entre gramíneas e leguminosas forrageiras e plantas forrageiras e plantas daninhas revelaram a possibilidade de se estabelecer estratégias vantajosas para compor pastagens cultivadas mais persistentes e mais produtivas ao longo do tempo, de tal forma que gramíneas e leguminosas possam conviver sem que uma comprometa o desempenho da outra e, ao mesmo tempo, que tivessem a capacidade de produzir e liberar para o ambiente compostos químicos que afetam apenas as plantas daninhas, reduzindo dessa forma a competição entre plantas de interesse agrônomo e plantas daninhas. Bom exemplo disso são as gramíneas do grupo das braquiárias e as leguminosas leucena, puerária e calopogônio.

Espécies de braquiárias foram exaustivamente cultivadas na região amazônica e ainda ocupam extensas áreas. Capim-braquiara e quicuí-da-amazônia foram as mais plantadas. As interações químicas entre essas gramíneas e plantas daninhas em que compostos químicos possam estar envolvidos foram abordadas. Os efeitos de extratos brutos dessas gramíneas sobre plantas daninhas foram, com maior magnitude, para os extratos de capim-marandu. As substâncias isoladas dessas duas espécies também foram testadas e revelaram atividade fitotóxicas sobre plantas daninhas. Quando se compararam extratos brutos





obtidos de material (folhas + colmos) de fases vegetativa e reprodutiva e da imposição de estresse hídrico nas intensidades de 6 e 12 dias, tanto na fase vegetativa como na fase reprodutiva, os resultados obtidos mostraram que a germinação foi reduzida em maior magnitude pelos extratos aquosos preparados a partir de material (folhas e colmos) colhido durante a fase vegetativa do capim-marandu, indicando maior concentração de compostos solúveis em água, nesta fase do desenvolvimento da planta, em relação à fase reprodutiva. A imposição do estresse hídrico nas intensidades de 6 e 12 dias, tanto na fase vegetativa como na fase reprodutiva, não promoveu interferências nas potencialidades alelopáticas do capim-marandu, o que indica certa capacidade dessa gramínea em tolerar períodos de seca de até 12 dias.

*Calopogonium mucunoides* (calopogônio) é uma Leguminosae que durante muito tempo foi utilizada para compor pastagens cultivadas na Amazônia, em função de especificidades favoráveis ao seu cultivo, como alta capacidade para produzir sementes viáveis, tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade natural e relativa boa aceitação pelos animais em pastejo. O fato de essa espécie apresentar tendência a formar estandes puros (Figura 3) levantou as possibilidades de essa característica estar associada, além da capacidade competitiva da planta, à produção de agentes químicos com potencial para impor restrições a outros membros do sistema. Testes envolvendo o uso de extratos de diferentes polaridades revelaram expressiva atividade fitotóxica sobre plantas daninhas, especialmente os extratos diclorometano e acetato de etila, que foram os mais ativos, com alta vantagem do extrato diclorometano (Tabela 3). Subseqüentemente, testes de eletroforese capilar revelaram a presença de diferentes compostos químicos. O extrato diclorometano apresentou maior presença de compostos químicos com atividade alelopática.





Fotos: Moacyr Bernardino Dias-Filho



**Figura 3.** Espécies com potencial para formar estandes puros: (A) calopogônio e (B) puerária.

**Tabela 3.** Variações químicas em folhas de calopogônio em função da polaridade.

Composto	Acetato de etila	Diclorometano
Quinina	Não detectado	Não detectado
Ácido oxálico	Não detectado	Não detectado
Ácido maleico	Não detectado	Detectado
Ácido malônico	Não detectado	Não detectado
Ácido málico	Não detectado	Detectado
Ácido clorogênico	Não detectado	Detectado
Ácido ferúlico	Não detectado	Detectado
Ácido cafeico	Não detectado	Detectado
Ácido <i>p</i> -cumárico	Detectado	Detectado
Canferol	Não detectado	Detectado
Quercetina	Não detectado	Detectado

*Pueraria phaseoloides* (puerária) foi uma leguminosa exaustivamente cultivada na região amazônica em áreas de pastagens consorciadas em passado recente, especialmente pela



capacidade de cobertura do solo e, em consequência, redução da infestação de plantas daninhas. Os estudos desenvolvidos com essa planta evidenciam produção de bioativos com fitotoxicidade a nível relevante sobre plantas daninhas, o que aponta que, além dos benefícios já consagrados, essa espécie pode desempenhar papel relevante na estabilidade das pastagens. Entre as moléculas identificadas com potencial bioerbicida estão aquelas do grupo dos isoflavonoides.

No atual modelo de exploração envolvendo a formação de agrossistemas ou integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a identificação de espécies florestais com potencial fitotóxico sobre plantas daninhas assume papel relevante para mitigar os seus efeitos. Espécies como *Vouacapoua americana*, *Virola surinamensis*, *Tachigali myrmecophila*, *Leucaena leucocephala*, entre outras, podem contribuir e muito para a estabilidade e produtividade desses sistemas.

Algumas espécies já exploradas quimicamente oferecem oportunidades únicas no sentido de se estabelecer sistemas configurados para proporcionar mais equilíbrio quanto aos seus componentes e maior estabilidade quando às interações mediadas quimicamente entre espécies arbóreas e plantas daninhas, possibilitando, de forma geral, menores custos para manter os sistemas e menores riscos para os recursos naturais. Nos atuais cenários em que a sociedade está cada vez mais imbuída em relação ao binômio produção de alimento e respeito com relação às questões ambientais, esses resultados se inserem de forma positiva e proativa. Não se deve esquecer que as atuais exigências de mercado para produtos sem resíduos de contaminantes e que sejam obtidos de forma limpa representam não só a garantia de mercado, mas também valores monetários favoráveis ao produtor, que em última instância representa mais retornos aos investimentos aplicados.





Uma espécie florestal que revelou grandes possibilidades para compor sistemas agroflorestais foi a tatajuba (*Bagassa guianensis*). Essa espécie revelou alto potencial para a produção de fitoalexinas, grupos de compostos químicos com alto potencial para controle de fungos fitopatógenos. Nos trabalhos de prospecção envolvendo essa espécie, foram identificadas 37 fitoalexinas, notadamente das classes dos estilbenos, moracins, flavonoides, diidroflavonoides e resveratrol. Normalmente, as fitoalexinas não são produzidas pelas plantas, como é o caso das fitotoxinas, apenas quando as plantas são submetidas a algum tipo de estresse, como o ataque de fungos. Dessa forma as fitoalexinas encontradas em tatajuba devem ser vistas como consequência de algum estresse, especialmente biótico, como aqueles provocados por fungos.

Outra espécie arbórea que pode compor sistemas agroflorestais é a *Acacia mangium*, uma espécie de crescimento rápido e que tem por característica marcante invadir rapidamente áreas adjacentes. Muito da facilidade com que essa espécie domina as áreas onde é cultivada pode ser atribuída à produção de compostos químicos presentes nas diferentes frações da planta. Análise das folhas de *A. mangium* foram isolados e identificados diferentes triterpenos, que são compostos de média polaridade, como fridelina, fridelinol, *epi*-fridelina e *epi*-fridelinol. Esses compostos podem ser considerados de média a baixa atividade fitotóxica, entretanto, considerando o tamanho da copa da planta, especula-se que a constante liberação desses compostos para o ambiente pode favorecer altos acúmulos no solo, potencializando os efeitos fitotóxicos em outros componentes do sistema, em especial as plantas daninhas, e favorecendo a redução do uso de herbicidas.

As plantas medicinais podem representar excelente oportunidade para fontes inovadoras de compostos químicos com potencial bioerbicida. Muitas das espécies já estudadas são produtoras de óleos essenciais e já foram abordadas em





tópicos anteriores como aquelas do gênero *Cymbopogon*. Destaca-se a espécie *Artemisia vulgaris* (Asteraceae), conhecida popularmente pelo nome de artemísia. Trata-se de uma espécie de crescimento lento, que se desenvolve em ambiente com pouca luz, em sub-bosques preferencialmente, e que é utilizada no tratamento da malária, indicada para todas as formas, incluindo o *Plasmodium falciparum*, resistente à cloroquina. Bioensaio envolvendo o uso de extratos brutos, acetato de etila e metanólico, na concentração de 1%, preparados a partir das folhas de artemísia, revelou alto potencial inibitório tanto das sementes como do crescimento das plântulas de duas plantas daninhas de folhas largas. Dos dois extratos, foi isolada a substância artemisina, uma sesquiterpenolactona com grandes possibilidades de uso no manejo e controle de plantas daninhas. As poucas evidências disponíveis, entretanto, apontam para as possibilidades de que a ação da artemisina seja a biossíntese do ácido chiquímico.

No contexto do manejo de plantas daninhas, o conhecimento de interações mediadas por agentes químicos entre espécies cultivadas de pastagens e plantas daninhas é de suma importância para o equilíbrio e longevidade das áreas de pastagens cultivadas. O potencial fitotóxico das plantas daninhas pode reduzir o fluxo de novas plantas de gramíneas e/ou leguminosas forrageiras, reduzindo a densidade de plantas forrageiras e, por conseguinte, a capacidade produtiva e competitiva dessas espécies. Duas espécies muito comuns a infestar as áreas de pastagens cultivadas na Amazônia são *Cyperus rotundus* (ciperácea) e *Paspalum maritimum* (capim-gengibre), que têm como características marcantes a rapidez com que infestam e dominam as áreas, formando verdadeiros monocultivos. Essas duas espécies possuem padrão de disseminação semelhante, multiplicando-se tanto por sementes como vegetativamente, além de produzirem substâncias







químicas que favorecem o domínio das áreas. Folhas e colmos de *P. maritimum* contêm tricina e folhas de *C. rotundus* possuem  $\alpha$  e  $\beta$ -selineno e ciperotundona. Tanto tricina como ciperotundona são considerados aleloquímicos potentes. Em outras espécies do gênero *Cyperus*, a ciperotundona já foi isolada e identificada. Vale ressaltar que *C. rotundus* é considerada uma das mais importantes plantas daninhas do mundo, estando entre as dez de maior relevância, e *P. maritimum* é listada na região amazônica como uma das mais importantes, juntamente com *C. rotundus*. Essas duas plantas daninhas merecem atenção especial quanto ao controle e manejo (Figura 4).

Fotos: (Antônio Pedro da Silva Souza Filho (A e C); Izabela Martins (B))



**Figura 4.** Plantas daninhas produtoras de aleloquímicos: (A) *Paspalum maritimum*; (B) *Senna alata*; (C) *Cyperus rotundus*.

Outra espécie com grande potencial para invadir áreas cultivadas, com tendências a formar estandes puros, restringindo o desenvolvimento e reprodução tanto de espécies de pastagens



como de outras plantas cultivadas é a *Senna alata* (Figura 4), conhecida popularmente pelo nome de mata-pasto, tal a sua virulência. Testes com diferentes extratos brutos, variando entre hexano, acetato de etila, diclorometano e metanol, indicaram efeitos fitotóxicos de alta significância para todos os extratos, com destaque para diclorometano e metanol, indicando que os componentes químicos envolvidos na atividade alelopática eram de alta polaridade. Isso foi confirmado pela identificação do kaempferol, um flavonoide com ampla gama de propriedades farmacológicas e agora com potencial bioerbicida.

No mesmo contexto das interações entre plantas cultivadas e daninhas, levantou-se a hipótese de que a pouca ocorrência de plantas daninhas em cultivos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) poderia estar relacionada, entre outros fatores, à produção e liberação para o ambiente de compostos químicos com potencial fitotóxico e que o hábito de crescimento da planta poderia ser determinante. Para testar a hipótese, foram coletadas amostras da parte aérea (folhas + colmo) de dois ecótipos, um prostrado e outro cespitoso. Extratos brutos metanólico e aquoso a 1,0% testados sobre a germinação e o crescimento de duas plantas daninhas – *Senna obtusifolia* e *Mimosa pudica* – não revelaram diferenças na atividade fitotóxica, quer entre as duas fontes de extrato, quer entre as espécies receptoras e fator da planta analisado. Esses resultados mostram que, para as condições estabelecidas, a diferença no porte das duas espécies não é fator decisivo na interação química entre o feijão-caupi e a ocorrência de plantas daninhas. Por análise cromatográfica, foi possível isolar e identificar os ácidos *p*-cumárico, protocatecuico, gálico, *p*-hidroxibenzoico, *trans-p*-cumárico, *cis-p*-cumárico, kaempferol, quercetina e mistura de sitosterol e estigmasterol, todos já consagrados pela expressiva atividade alelopática.





## Interpretação dos resultados e encaminhamentos

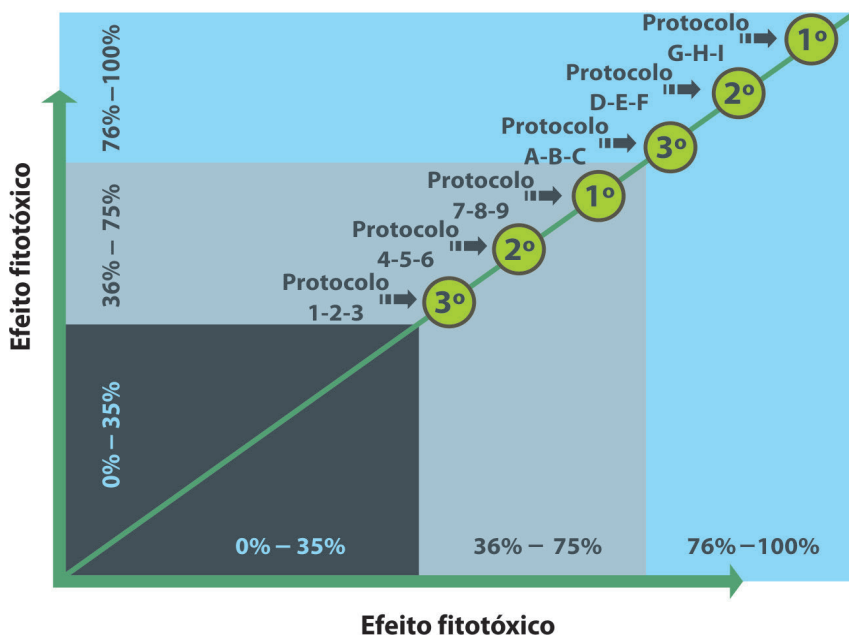
Como os trabalhos envolvendo essa linha de pesquisa partem sempre de testes com extratos brutos, a questão que sempre se impõe é: como selecionar o extrato bruto e substâncias químicas dentro do processo que visa, em médio prazo, ao isolamento e identificação dos agentes químicos com potencial de uso na agricultura? Outra questão importante é: quais são os procedimentos indicados para seguir em frente após a seleção do extrato? E, finalmente, que alternativas estão disponíveis para atingir o máximo de potencial no final dos trabalhos, de tal forma que se possa ter um produto disponível para uso no manejo de pragas? Em muitos casos, parte-se de um extrato aquoso, porém, nesse caso, a dificuldade que se apresenta é a partição de um extrato de polaridade alta, o que pode significar, mais adiante, em dificuldades para os fracionamentos. O que pode ser um bom ponto de partida é o uso de diferentes extratos com polaridades diferentes: hexano, acetato de etila, diclorometano, metanol e água. Nesse caso, os resultados podem oferecer opções de trabalho envolvendo polaridades diferentes, o que facilita o desdobramento do trabalho.

Algumas diretrizes podem redundar em resultados consistentes ao final do processo (Figura 5). Para tanto, são propostos três quadrantes passíveis de resultados: no primeiro quadrante (0%–35% de efeito fitotóxico), os resultados são descartáveis por apresentar baixa magnitude; no segundo quadrante (36%–75%), a substância passa por protocolos para aumentar a atividade fitotóxica, obedecendo estratégias pré-estabelecidas que envolvem o uso de fungos endofíticos ou simplesmente técnicas de manipulação estrutural, como acetilação, metilação e hidrogenação de duplas ligações; por fim, os efeitos acima de 75% passavam por novos processos diferenciados do quadrante





anterior, mas com o mesmo objetivo de elevar o potencial da atividade fitotóxica. Dentre esses, pode-se citar as alterações do pH da solução e adição de uma ou mais moléculas de glicose na substância. Essas técnicas podem redundar em facilidades para a substância transpor a parede celular da planta, o que pode tornar a ação do aleloquímico mais efetiva.



**Figura 5.** Interpretação dos resultados e estratégias a serem utilizadas.

## Pesquisas com toxinas produzidas por fungos

Em fins dos anos 1990 e início dos anos 2000, o enfoque foi ampliado para os estudos da atividade de toxinas produzidas por fungos endofíticos e fungos fitopatógenos produtores de toxinas. Os resultados desses estudos não foram animadores para os fungos endofíticos, especialmente em razão da baixa atividade





fitotóxica das substâncias isoladas, enquanto os estudos com fungos fitopatógenos produtores de toxina não evoluíram como o esperado, embora as expectativas fossem alvissareiras. Isto se deve, em grande parte, pela falta de domínio de certas especificidades que envolvem essas toxinas, notadamente aquelas envolvendo técnicas de produção *in vitro*, extração das toxinas, armazenamento e técnicas de uso em bioensaio.

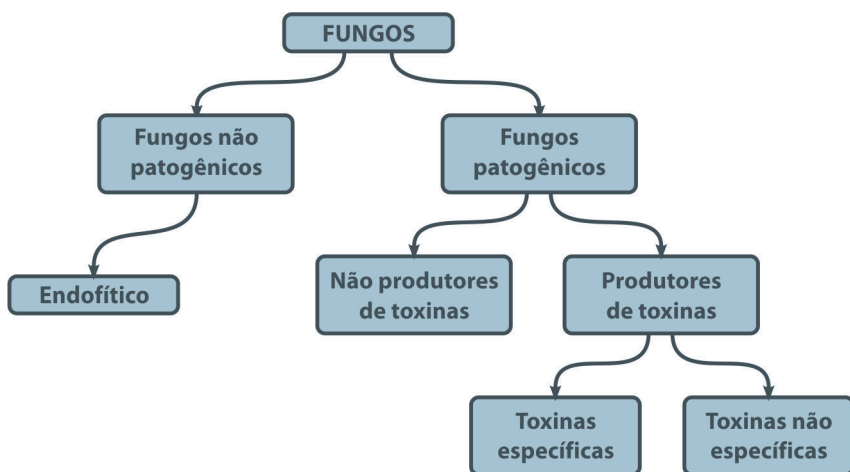
Nos Estados Unidos e em países da Europa e Ásia, as pesquisas nessa linha começaram no início dos anos 1960. Os avanços foram expressivos e muitos compostos químicos produzidos por diferentes espécies de fungos fitopatógenos já foram isolados, identificados e testados quanto ao potencial para controle de plantas daninhas. Muitos dos fungos promotores de doenças em plantas cultivadas têm sua fonte nos solos tropicais, dentre esses, pode-se distinguir o *Fusarium solani*, um fungo causador de importante doença nas pimenteiras-do-reino na região amazônica, a fusariose, que causa sérios prejuízos aos produtores. Normalmente, a ocorrência desse fungo é inevitável e a evolução dos seus efeitos é lenta, mas entre 4 e 5 anos de sua manifestação o resultado é a redução drástica da produção e o abandono do cultivo da pimenteira-do-reino. O fato de as toxinas desse fungo comprometerem processos fisiológicos e metabólitos das plantas é um indicativo de seu potencial para uso no controle de plantas daninhas.

Esses fungos produzem dois tipos de toxinas, as específicas e as não específicas. As primeiras afetam apenas aquela planta que tem relação estreita com o fungo, enquanto as demais atingem outras plantas, mesmo aquelas que não são passíveis de serem atacadas pelo fungo, logo são as de maior interesse para controle de plantas daninhas. A grande questão nesse caso é como identificar se uma toxina é específica ou não específica. O que se tem usado como indicador é o número de espécies de plantas que o fungo ataca: quanto maior for esse número, maior será a possibilidade de a toxina envolvida ser não específica. Quando a



espécie do fungo não for um indicador consistente, pode-se usar o gênero do fungo produtor da toxina como indicador, ou seja, quanto mais diferentes espécies de plantas forem infestadas por dado gênero de fungo, maiores são as possibilidades de a toxina ser não específica.

Os fungos endofíticos guardam uma particularidade: vivem em verdadeira simbiose com o hospedeiro que o abriga, assim a sobrevivência do fungo depende da sobrevivência do hospedeiro. Ao contrário de outros fungos, os endofíticos vivem nos espaços intercelulares, logo não representam qualquer tipo de ameaça às plantas hospedeiras. As toxinas produzidas por eles servem para melhorar e ampliar a defesa das plantas. Muitas das moléculas químicas produzidas pelas plantas são também produzidas pelos fungos endofíticos. Os testes envolvendo a atividade fitotóxica das substâncias produzidas por esses fungos têm apresentado baixo poder inibitório. Aparentemente, esses compostos possuem propriedades antibióticas e seriam muito mais indicados para combater doenças fúngicas ou bacteriológicas, conforme os caminhos adotados de forma clara na prospecção de toxinas produzidas por fungos (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema hipotético de fungos com potencial de uso na agricultura.





Considerando todas essas motivações, diferentes moléculas químicas diversificadas foram isoladas e identificadas a partir de diferentes espécies de fungos endofíticos, isolados de espécies de plantas das mais variadas famílias, como Poaceae e Leguminosae. Em espécies da família Poaceae, os endofíticos encontrados são pertencentes à família Clavicipitaceae e os metabólitos produzidos são da classe dos alcaloides e derivados do ergot, lolinas e diterpenos. Na literatura, pode-se encontrar relatos de espécies de fungos endofíticos e as moléculas produzidas por eles, entre os quais estão *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Colletotricum* sp. e *Xilaria* sp.

Um bom exemplo foi a pesquisa com o fungo *Pestalotiopsis guepinii*, um endofítico comum em diferentes espécies de plantas de várias famílias. Do filtrado desse fungo foram isoladas as substâncias ergosterol e peróxido de ergosterol. Os testes fitotóxicos dessas duas substâncias apresentaram inibição máxima de 35%. Do fungo *A. flavus*, isolado do capim-gengibre, foi isolado o ácido kórjico, cuja análise de fitotoxicidade sobre outras plantas daninhas também evidenciou baixo índice de inibição, não ultrapassando os 30%. Outras substâncias bioativas produzidas por fungos endofíticos são taxol, vincristina, podofilotoxina e camptotecina.

Muitos terpenoides são produzidos por fungos endofíticos, como os monoterpenos, os triterpenos e os sesquiterpenos, entre outros, sendo considerados compostos com alta atividade alelopática, o que conflita com outras informações disponíveis na literatura. Por exemplo, de folhas de *Caesalpinia pyramidalis* (Fabaceae) foi isolado o endofítico *Diaporthe anacardii*, do qual foram isolados os monoterpenos *trans*-piperitol, piperitone epóxido,  $\gamma$ -terpineol e 4-terpineol. Ainda de outra espécie do fungo *Diaporthe* sp., isolado da planta medicinal *Sabicea cinerea*, foram isolados os sesquiterpenos altiloxina A e eremofortina F.





A literatura relata diferentes fungos endofíticos produtores de compostos voláteis orgânicos, entre eles: *Lasiodiplodia theobromae*, *Lasiodiplodia parva*, *Lasiodiplodia citricola*, *Neofusicoccum cordaticola* e outros endofíticos. Foram identificados aproximadamente 24 compostos orgânicos voláteis de diferentes espécies de fungos endofíticos, desse total, 14 eram sesquiterpenos não oxigenados e 10 eram oxigenados. Dos fungos endofíticos já estudados em Belém, não foram identificados compostos voláteis. Entretanto, o fato de muitos endofíticos produzirem substâncias com alta atividade alelopática, como os terpenos, aponta vantagem adicional para a continuidade dos estudos de prospecção de substâncias produzidas por esses fungos.

## Pesquisas com outras fontes de toxinas

A partir de 2010, duas novas fontes de compostos bioativos passaram a fazer parte do desafio de identificar fontes promissoras para o controle de pragas na agricultura: algas e abelhas (própolis e geoprópolis). Dois tipos de algas foram incluídos nos estudos, as marinhas e as de água doce. Para as algas marinhas, um contingente de informações já estava disponível em relação ao isolamento e identificação de substâncias produzidas, com inclusão posterior nos estudos de fitotoxicidade. Já para as algas de água doce, ainda são muito incipientes as informações disponíveis, porém, em face do grande número de espécies, o futuro para essas pesquisas é promissor.

O que motivou a inclusão das algas nos estudos de prospecção foi o grande número de espécies disponíveis tanto em sistemas de água doce como nos mares. As estimativas do número total







de algas existentes nos diferentes ambientes em que habitam é tarefa das mais difíceis, tanto pela plasticidade fenotípica, como pela morfologia muito semelhante entre as espécies. Do total de 40.878 algas descritas, 16.743 são marinhas, enquanto 24.100 são espécies de águas doces ou terrestres. Quimicamente, as algas são constituídas predominantemente por derivados das vias do acetato e do mevalonato, como policetídeos e terpenoides, estando o caminho do ácido chiquímico restrito até fenilalanina e tirosina.

Desde o início do século XX, sabe-se que toxinas produzidas por algas podem afetar as plantas superiores, indicando que se trata de uma fonte promissora para prospecção de moléculas químicas com finalidade específica de produção de novos herbicidas biológicos. Embora em número reduzido, as informações disponíveis mostram que cianotoxinas, as toxinas produzidas por algas, podem afetar o crescimento de diferentes espécies de invasoras aquáticas e de outras espécies terrestres.

Os resultados até o momento apontam efeitos inibitórios de grande potencial de extratos brutos da alga *Plocamium brasiliense* sobre plantas daninhas de folhas largas. Estudos mais avançados revelaram o ácido atomárico, um produto natural isolado da alga marinha *Stypopodium zonale* (Dictyotaceae), que revelou potencial para inibir tanto a germinação como o desenvolvimento das plantas daninhas de folhas largas, *Senna obtusifolia* e *Mimosa pudica*, em diferentes intensidades. Os efeitos foram atribuídos à presença de diterpenos no extrato. Para a alga *Dictyota menstrualis*, foram isolados compostos com grande atividade inibitória como pachydictiol A e o isopachydictiol A.

Outras duas fontes que passaram a fazer parte dos estudos a partir dos anos 2010 foram própolis (*Apis mellifera*) e



geoprópolis (*Melipona* spp.). Essas duas fontes se mostraram promissoras tanto em relação aos compostos de baixa como de alta polaridade. Muitos dos estudos desenvolvidos estão concentrados na atividade biológica e na composição química dos óleos essenciais de própolis de *A. mellifera*. Os dados disponíveis mostram claramente o potencial dos óleos essenciais como importante vetor de propriedades fitotóxicas com efeitos de grande magnitude sobre a germinação de sementes e o alongamento de radículas e hipocótilo de plantas daninhas.

Basicamente, com relação à composição química, já foram relatados mais de cem componentes diferenciados em óleos essenciais de própolis de *A. mellifera*, sendo os compostos majoritários: acetofenona; linalol,  $\alpha$ -pineno, cedrol, nerolidol, decanal,  $\delta$ -calineno e outros. Estudos com óleo essencial de própolis de *A. mellifera* colhido na região amazônica revelaram a seguinte composição majoritária de seus constituintes: (E)-nerolidol, acetofenona, linalol e  $\beta$ -cariofileno. Análises do perfil químico de voláteis componentes do óleo essencial de própolis coletado em sete diferentes lugares (ambientes) revelaram diferenças relevantes não só em relação aos componentes dos óleos mas, também, nos compostos majoritários, indicando que fatores como vegetação e épocas distintas de floração estão envolvidas nessas diferenças.

Testes em concentração de 1,0%, envolvendo extratos de alta polaridade como metanólico e aquoso, revelaram atividade fitotóxica capaz de reduzir tanto a germinação como o crescimento de plantas daninhas em intensidades superiores a 50,0%, com efeitos mais marcantes sobre a radícula, seguido da germinação. Esses resultados podem ser atribuídos à presença de compostos fenólicos como aqueles já isolados e identificados em própolis: ácido *p*-cumárico, ácido gálico, kaempferol, catequina,





quercetina e 3,4-dihydroxibenzoico. Desses componentes, a atividade fitotóxica sobre plantas daninhas já foi amplamente divulgada, especialmente em relação ao ácido *p*-cumárico, catequina, quercetina e kaempferol.

No mesmo sentido, estudos envolvendo a atividade fitotóxica de extratos alcoólicos de geoprópolis obtidos da espécie de *Melipona subnitida* foram desenvolvidos com o objetivo de determinar a efetividade como bioerbicida. Os dados relatados apontam atividade inibitória expressiva e que pode ser atribuída à presença de compostos de alta polaridade, possivelmente do grupo dos polifenóis, no extrato obtido de geoprópolis. A análise por cromatografia confirma que basicamente os mesmos componentes químicos já identificados em própolis, também estão presentes no geoprópolis, tais como: ácido *p*-cumárico, ácido gálico, kaempferol, catequina, quercetina e 3,4-dihydroxibenzóico. Membros do grupo dos polifenóis são descritos como de alta atividade fitotóxica, representando, à semelhança do própolis, excelente oportunidade para obtenção de inovadoras moléculas químicas com potencial de uso na agricultura. Tanto para própolis como geoprópolis, os componentes dos óleos essenciais majoritários são: linalol, acetofenona, (E)-nerolidol,  $\beta$ -cariofileno e  $\alpha$ -eudesmol, enquanto, para os compostos de alta polaridade, as similaridades ficam por conta dos ácidos cinâmico e *p*-cumárico, entre outros.

## Expectativas em relação ao sinergismo e antagonismo

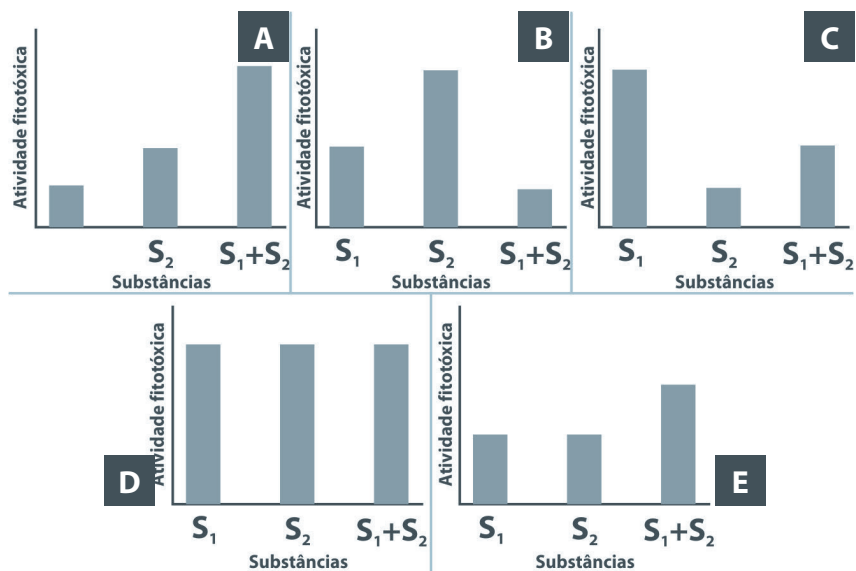
Duas expressões usadas com muita frequência nos últimos anos em estudos envolvendo a atividade alelopática de duas





substâncias avaliadas isoladamente e aos pares são: sinergismo e antagonismo. Teoricamente o termo sinergismo se baseia na possibilidade de duas substâncias interagirem positivamente resultando, assim, em atividade fitotóxica superior à das substâncias isoladamente (Figura 7A), enquanto no antagonismo o resultado seria o oposto, ou seja, redução da atividade fitotóxica em relação à das substâncias isoladas (Figura 7B). Embora sejam dois termos empregados com certa frequência em abordagens científicas, poucos trabalhos analisando essas possibilidades são encontrados na literatura. A questão básica que precisa ser melhor abordada é que muitas vezes os resultados contradizem a teoria que sustenta essa tese. Por exemplo, quando se testam duas substâncias, uma com alta e outra com baixa atividade, nota-se que a junção das duas substâncias pode promover resultado inibitório superior ao da substância de baixa atividade, porém, menor do que aquela de alta atividade (Figura 7C), o que impossibilita uma visão clara sobre sinergismo. Ao mesmo tempo, em testes de duas substâncias de alta atividade fitotóxica (Figura 7D) em altas concentrações (por exemplo,  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) não se verifica diferenças estatísticas em relação às duas substâncias em conjunto, ou seja, não se registra sinergismo ou mesmo antagonismo, que só vai aparecer em baixas concentrações (como  $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Figura 7E). Além desses aspectos, ainda há o problema da concentração: substâncias aplicadas isoladamente em concentração de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , quando testadas em conjunto o são em concentração de  $400 \text{ mg L}^{-1}$ , ou seja,  $200 \text{ mg}$  da substância  $S_1$  mais  $200 \text{ mg L}^{-1}$  da substância  $S_2$ , o que significa muito mais efeito aditivo do que sinérgico propriamente dito.





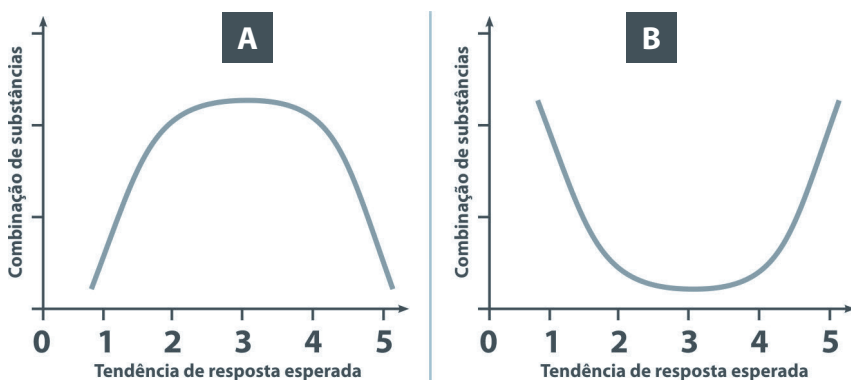
**Figura 7.** Possibilidades de resultados de atividade fitotóxica envolvendo substâncias isoladas e aos pares: (A) interação entre duas substâncias resultando em sinergismo; (B) interação entre duas substâncias resultando em antagonismo; (C) interação entre duas substâncias, uma com alta e outra com baixa atividade, promovendo resultado inibitório superior ao da substância de baixa atividade, porém, menor do que o da substância de alta atividade; (D) interação entre duas substâncias de alta atividade fitotóxica em altas concentrações não registrando sinergismo nem antagonismo; (E) interação entre duas substâncias de alta atividade fitotóxica em baixas concentrações registrando sinergismo.

Para contornar o problema do aumento da concentração quando da análise dos efeitos sinérgicos e antagonísticos, propõe-se uma alternativa que considera sempre a soma de  $S_1 + S_2$  igual para todas as combinações entre as duas substâncias e para as substâncias puras (Tabela 4). Para uma concentração hipotética de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ , por exemplo, teremos sempre em  $S_1 + S_2$ , ou para cada substância isoladamente, as mesmas concentrações.

**Tabela 4.** Combinações percentuais para uma mesma combinação entre duas substâncias para determinação de efeitos sinérgicos e antagônicos.

	1	2	3	4	5
$S_1$	100%	75%	50%	25%	0%
$S_2$	0%	25%	50%	75%	100%

Há duas possibilidades de resposta como resultado do sinergismo entre duas substâncias, expresso pelo fato de que, para todas as combinações entre  $S_1$  e  $S_2$ , os efeitos fitotóxicos são de magnitude superior aos das substâncias isoladas, ou seja, sempre que se acrescenta uma parte de uma substância alelopática, os efeitos fitotóxicos tendem a aumentar em relação às substâncias isoladas (Figura 8A). Em outra situação, os efeitos fitotóxicos promovidos pelas substâncias isoladas são sempre superiores àqueles efetivados por qualquer das combinações, o que significa efeitos antagônicos, ou seja, sempre que se adiciona uma parcela de uma dada substância sobre outra a tendência é de redução da atividade fitotóxica (Figura 8B). Nessa proposta, outros resultados que dificultam o entendimento das questões de sinergismo e antagonismo não se impõem, o que facilita a interpretação dos dados.



**Figura 8.** Proposta para análise de efeitos sinérgicos e antagônicos para combinação de duas substâncias alelopáticas: (A) sinergismo; (B) antagonismo.



# Alterações na estrutura das moléculas

Em meados dos anos 1990 e início dos anos 2000, aconteceu outro redirecionamento das pesquisas, levando em conta o fato de os fungos endofíticos produzirem algumas substâncias correlatas àquelas produzidas pelas plantas, passando-se a considerar a hipótese da utilização desses fungos como promotores de alterações na estrutura de moléculas com atividade fitotóxica, o que poderia redundar em aumento destas, potencializando a atividade de moléculas, mesmo aquelas com potencial relativo médio. Nessa mesma esteira, processos químicos de alteração na estrutura química de moléculas com alguma atividade fitotóxica, mas que apresentam configuração que permitisse alterações por diferentes possibilidades.

## Usando fungos endofíticos

As possibilidades do uso de fungos endofíticos em processos de alterações estruturais surgiram da percepção de que eles produziam agentes químicos muitas vezes correlatos àqueles produzidos pelas plantas, sendo em iguais proporções as mesmas substâncias. Dessa forma, tanto os fungos podiam produzir simplesmente substâncias de interesse para as plantas como aproveitar determinadas estruturas disponíveis no espaço intercelular e transformar em outras estruturas, também de interesse à sobrevivência das plantas. Porém, algumas dificuldades se mostraram complicadas de serem superadas, especialmente por falta de controle do processo. Nem sempre os resultados obtidos eram exatamente o que se perseguia, não havia como induzir determinados efeitos, os fungos endofíticos se mostraram fora desse controle. Na tentativa de melhorar o



processo, tentou-se modificar os meios de culturas do fungo, mas os resultados não foram os esperados.

## Usando técnicas de laboratório

Inicialmente técnicas de modificação na estrutura de substância envolvem processos de acetilação e metilação de carbonos. Os resultados mostram aumentos da atividade fitotóxica da substância, como foi o caso da titonina que, quando acetilada, aumentou em 35% os efeitos inibitórios da germinação e alongamento de radícula e hipocótilo de duas plantas daninhas de folha larga. Entretanto, esse efeito não se reproduziu quando a acetilação foi feita em outros carbonos, pelo contrário, houve redução da atividade. Ao mesmo tempo, substâncias diferentes responderam de forma distinta a esse processo, indicando haver local específico para emprego dessa técnica para uma mesma substância e para substâncias diferentes. Outra técnica que se mostrou promissora foi a metilação de substâncias, porém, à semelhança do observado para a acetilação, os resultados não apresentaram padronização, havendo variações dependentes da molécula e do carbono metilado.

Estudos envolvendo o uso de chalcona, 2,4'-dimetoxichalcona, em função dos precursores, ortoanisaldeído e 4-metoxiacetofenona, e de alterações nestes, com concentrações fixas de 100 mg L<sup>-1</sup>, 200 mg L<sup>-1</sup> e 300 mg L<sup>-1</sup>, indicaram que a atividade alelopática está relacionada, em princípio, ao precursor A, 4-metoxiacetofenona. Mudanças nos precursores indicaram a possibilidade de aumentar a atividade alelopática, em especial no precursor A. Ausência do grupo CH<sub>3</sub>O propiciou redução na atividade alelopática, indicando ser importante para a atividade. A presença de dois grupamentos OCH<sub>3</sub> no precursor da porção B da chalcona aumentou para 62% a atividade do aldeído. Esses resultados indicam que







alterações de substâncias com atividades alelopáticas são uma possível via para enfrentar os problemas atrelados aos processos de isolamento e identificação de moléculas químicas com atividade alelopática, em espécies de plantas.

Embora não envolvesse alterações na estrutura da molécula, foram desenvolvidos estudos com soluções de diferentes valores de pH. Variando entre 3,0, 5,0, 7,0 e 9,0, os resultados não se mostraram consistentes, pois algumas substâncias tiveram seus potenciais inibitórios aumentados em pH ácido, outras em pH neutro e algumas substâncias se mostram imunes ao pH da solução.

Em função dessas dificuldades, optou-se por concentrar todas as técnicas e processos em uma única molécula química. Nesse processo, empregou-se apenas a chalcona, que é uma molécula de estrutura simples, mas com vários pontos passíveis para agregar outras estruturas. Biologicamente, as chalconas possuem baixa atividade fitotóxica, o que permitiria aquilatar melhor os avanços obtidos. Nas várias técnicas empregadas, alguns resultados foram além do esperado, como o aumento da capacidade inibitória da chalcona em 66%. Estruturas fechadas mostraram mais atividades do que aquelas abertas e, por fim, quando glicosiladas, as chalconas tenderam a ser muito mais efetivas em termos fitotóxicos quando comparadas a uma mesma estrutura sem ser glicosilada.

## Desdobramentos nas pesquisas

Em face das enormes possibilidades de uso das moléculas isoladas e identificadas para o manejo de outros agentes biológicos, foram feitos testes no controle de insetos, fungos

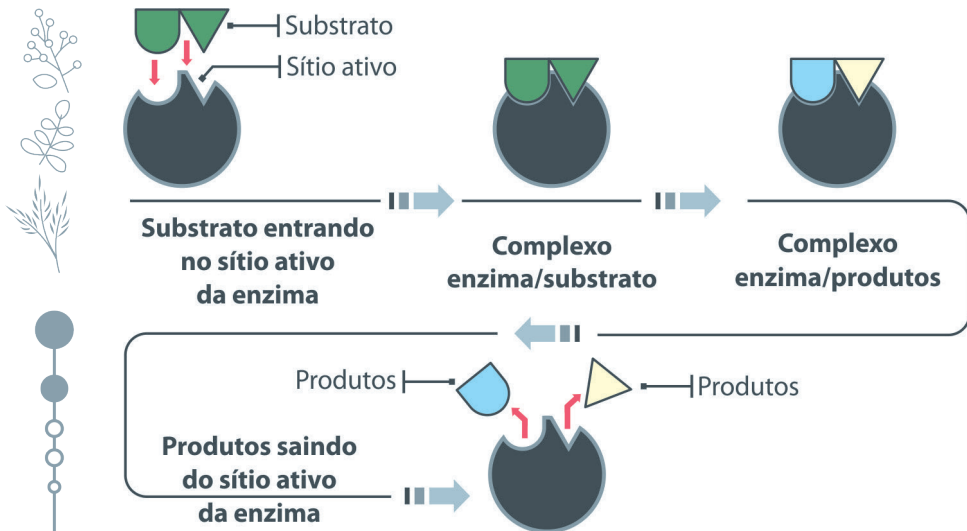


e carrapatos bovinos. Os testes visando o controle de insetos foram especialmente marcantes para os óleos essenciais, notadamente oriundos da espécie pimenta-longa. Outras fontes de óleos também mostraram potencial, como cipó-de-alho e capim-santo. Para o caso dos testes sobre os fungos, as pesquisas não avançaram o suficiente, embora algumas fontes tenham sido testadas, como os óleos de diferentes espécies de copaíba. Os testes visando o controle de carrapato se mostraram extremamente promissores, especialmente para as substâncias isoladas de timbó, cipó-de-alho e óleo de andiroba, obtido de sementes. Independentemente da fonte, os estudos para tais fins precisam evoluir, pois se mostram vantajosos e promissores.

## Atuais pesquisas

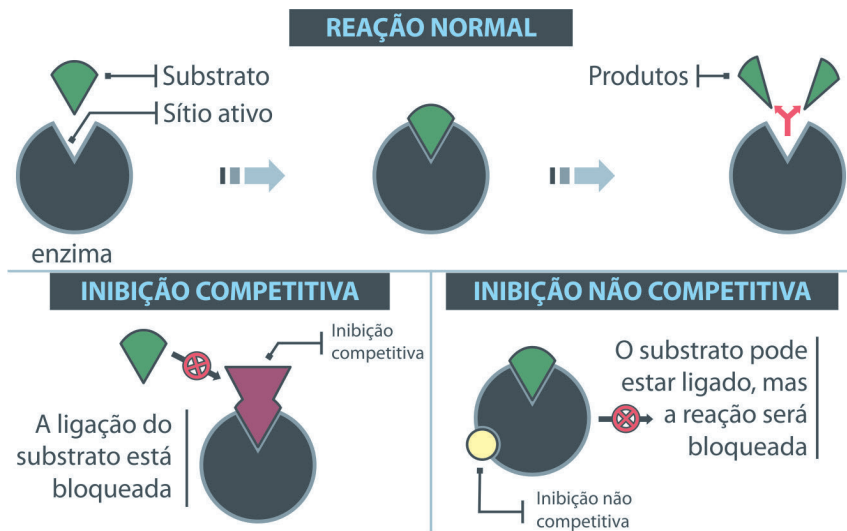
Em termos de fisiologia vegetal, a biossíntese do ácido chiquímico assume papel relevante para a sobrevivência das plantas. Essa biossíntese está atrelada à enzima eritro-4-fosfato, da qual o ácido chiquímico é o substrato e que se encaixa no sítio ativo da enzima, liberando, como resultado, diferentes reações químicas. Há vários subprodutos importantes para a defesa e sobrevivência da planta, como o núcleo fenólico que pode originar tanto a fenilalanina como sofrer polimerização, dando origem à lignina, que exerce papel primário tanto na sustentação como defesa das plantas. É apresentado um resumo da relação entre uma enzima e seu substrato, com os subprodutos resultantes (Figura 9).





**Figura 9.** Mecanismo de funcionamento de uma enzima com seu substrato. Fonte: Adaptado de Enzimas... (2022).

As enzimas possuem dois sítios importantes, o sítio ativo, que é formado por uma verdadeira sopa de aminoácidos e peptídeos, e o sítio alostérico ou paralelo, que é a parte da enzima na qual um inibidor alostérico, também denominado de inibidor não competitivo, pode ligar-se à enzima inibindo seu funcionamento. Existem duas possibilidades para se quebrar a relação entre a enzima eritro-4-fosfato e o substrato, o ácido chiquímico. A primeira é a inibição competitiva, que se baseia na construção de um produto químico que possa se encaixar no sítio ativo da enzima, ou seja, uma substância que possa competir com o substrato preferencial da enzima, evitando a produção de compostos desejáveis pelas plantas. O segundo é um fator inibitório não competitivo, nesse caso, envolveria a síntese de uma substância que ocupasse o sítio alostérico da enzima e, mesmo que o substrato ocupasse o sítio ativo da enzima, a reação seria bloqueada, evitando-se dessa forma, a liberação dos subprodutos (Figura 10).




**Figura 10.** Mecanismos competitivo e não competitivo entre substrato e enzima.

Fonte: Adaptado de Enzimas... (2022).


No atual nível de pesquisa envolvendo essa tese, algumas dificuldades precisam ser superadas, como:

- 1) Estabelecer metodologia que garanta a obtenção, conservação e identificação dos sítios ativo e aleostérico da enzima eritrose-4-fostato.
- 2) Identificar os dois sítios da enzima.
- 3) Determinar a estabilidade entre os sítios da enzima e a substância testada.
- 4) Estabelecer metodologia para identificar o local onde a molécula está acoplada, se no sítio ativo ou no alostérico.
- 5) Determinar o grau de permeabilidade da substância na membrana da célula vegetal.



- 
- 6) Implantar programas de computação para simular o que acontece com a substância tanto na enzima como na membrana da célula.

## Dificuldades a serem superadas



Isolamento, identificação e testes de substâncias são processos longos, caros e incertos e, por isso, pouco atraentes para muitos pesquisadores com problemas de recursos financeiros. Para contornar muitas das dificuldades enfrentadas, é tomada a decisão de testar substâncias padrões que estão disponíveis no mercado, o que, de alguma forma, gera resultados que acabam por ser publicados em revistas especializadas. Uma alternativa encontrada para superar determinadas dificuldades envolve o teste de fitotoxicidade de extratos brutos e o uso de padrões de algumas substâncias que são injetadas em cromatografia líquida, junto com o extrato bruto, na expectativa de verificar se aqueles padrões estão presentes nos extratos brutos e, assim, justificar resultados obtidos.

Outra dificuldade a ser superada está relacionada à pequena quantidade de substância obtida ao fim do processo de extração. Muitas vezes a quantidade obtida não é mais do que suficiente para obtenção dos espectros de ressonância magnética nuclear (RMN) e identificação da substância, sobrando pouco ou quase nada para os preparos das soluções para os testes biológicos *in vitro* e, na maioria dos casos, inviabilizando os testes de campo.

Na mesma linha, muitas substâncias com grande potencial fitotóxico são abandonadas pela presença de carbono quiral. Um, dois ou mais desse carbono é o suficiente para inviabilizar a síntese da molécula e, dessa forma, todo o esforço envidado

é perdido. Avanços nessa técnica de síntese precisam evoluir rápido para que se possa aproveitar melhor todo esse manancial disponível.

Nota-se com certa frequência a falta de estudos sequenciais com a mesma planta. Muitas vezes, isola-se e identifica-se uma ou algumas substâncias e a planta é abandonada, deixando para segundo plano outras possibilidades a serem exploradas. Essa lógica dificulta muito o bom andamento dos estudos nessa linha, que permanece sempre no início. Não é à toa que as plantas de girassol e nim são aquelas com maior número de substâncias isoladas e identificadas, sendo a segunda estudada pelos indianos desde 1928.

Outra questão a ser equacionada é o processo de isolamento usando colunas abertas. Além de ser de longa duração e ter a implicação do uso de solventes que, de alguma maneira, podem prejudicar a saúde do pesquisador e contaminar o ambiente, há, ainda, o fato de envolver grandes quantidades de solvente, o que encarece o processo. O uso de CO<sub>2</sub> supercrítico soluciona em parte esse problema. No entanto, o equipamento, quando disponível nos laboratórios, é pequeno e só pode processar pequenas quantidades de amostras, além da possibilidade de seu custo inviabilizar a aquisição.

## O que esperar do futuro

Muito já se avançou nos estudos de bioativos, porém o caminho ainda é longo e difícil. Em que pesem todos os esforços para montar equipes multidisciplinares e dotar os laboratórios com equipamentos modernos e em quantidades suficientes, nota-se certa morosidade nos avanços, embora o aumento no número de trabalhos publicados seja claro. Entretanto, tal peculiaridade ainda não é uniforme nas diferentes regiões do Brasil, conquanto





seja claro que vieses que possam redundar na aceleração dos estudos estejam em franco processo de instalação.

A partir de 2019, adotaram-se novas estratégias envolvendo o uso de substâncias modificadas por diferentes processos sobre células cultivadas em meio *in vitro*, visando à obtenção de resultados mais próximos da realidade. Essa nova linha de ação caminhou muito pouco e passa por novas análises visando abordagem mais realista. As expectativas atuais estão voltadas para testes sobre enzimas envolvidas em processos metabólicos e fisiológicos vitais para a planta, os quais, uma vez bloqueados, possam redundar na morte das plantas, oferecendo a oportunidade de produção de um bioerbicida. A exemplo disso, a descoberta de bloqueadores do sítio ativo de uma dada enzima ou de sítios alostéricos, que possam competir com o substrato daquela enzima ou então produzindo modificações no sítio ativo, via ocupação de sítios alostéricos, têm grandes perspectivas nesse caminho.

Aumentar a permeabilidade de um dado composto químico à membrana celular, facilitando a passagem do composto, é uma alternativa que ganha corpo. Processos de modificações na estrutura, por exemplo, hidrogenação de duplas ligações, glicosilar a substância com uma ou mais moléculas de açúcar, podem facilitar esse processo, potencializando os efeitos dos compostos químicos. Outra possibilidade nessa mesma linha é reduzir a seletividade da membrana celular, o que facilitaria o movimento de passagem do agente químico com atividade herbicida. Nesse sentido, o cálcio pode assumir importante papel nesse processo, em face de seu envolvimento na seletividade da membrana. Associar a um princípio ativo um componente com a finalidade específica de retirar cálcio da membrana plasmática pode acelerar a descoberta de um bioerbicida.





Outra vertente que, mais cedo ou mais tarde, será explorada é o melhoramento genético visando à potencialização da produção de metabólitos envolvidos na defesa das plantas. Um bom exemplo disso seria aproveitar a variação genética da mandioca, procurando-se identificar os metabólitos envolvidos na defesa daquelas plantas que são resistentes à podridão da raiz, mas que têm produtividade relativamente baixa. Uma vez identificado o grupo de metabólitos envolvidos na resistência, as ações de melhoramento estariam voltadas a aumentar a concentração ou inserir os metabólitos nas plantas de alta produtividade mais sensíveis ao problema.

Conquanto os resultados das atividades fitotóxicas das substâncias químicas isoladas a partir da biomassa de fungos endofíticos serem de baixa magnitude, outras informações disponíveis na literatura apontam que esses fungos produzem terpenoides como mono, di, tri e sesquiterpenos cujas atividades fitotóxicas são de alta magnitude, o que justifica mais estudos. Muitos desses terpenoides isolados de endofíticos ainda não foram aquilatados quanto à fitotoxicidade em plantas daninhas, o que pode sugerir grandes expectativas.

Buscar alternativas nas diferentes fontes já prospectadas com vistas ao controle de outros agentes bióticos de importância econômica para a agricultura, como são os casos de fungos, insetos e carrapatos, deve merecer, também, especial atenção, pois as possibilidades até esse momento vislumbradas são de grande relevância. Óleos essenciais e substâncias químicas podem oferecer oportunidades para a obtenção de produtos inovadores para uso direto no manejo dessas pragas.







## Considerações finais

O mundo, em geral, e o Brasil, em particular, passam por novos tempos, com valores e ética social regidos pelo comprometimento da valorização dos recursos naturais e qualidade dos alimentos, sem resíduos que comprometam a saúde humana. Muitos desses valores afetam diretamente a atividade agrícola, mormente em relação ao uso de defensivos agrícolas e de estimulantes de crescimento, dois dos principais pilares de sustentação da agricultura moderna em áreas tropicais. Paralelamente, barreiras comerciais foram impostas, o que afetou sobremaneira a exportação dos ativos agrícolas.

Diante desse cenário, nos últimos anos, a ciência buscou novas alternativas para garantir a produção e a rentabilidade do setor agrícola que, ao mesmo tempo, não redundasse nos mesmos problemas decorrentes do uso dos atuais agroquímicos disponíveis no mercado. A ação conjunta de todos esses fatores levou à necessidade de formação de grupos de pesquisa e implantação de laboratórios que pudessem assegurar o bom desempenho da pesquisa, em institutos e universidades.

Inicialmente, a alternativa estabelecida para repaginar o modelo de produção se concentrou nas plantas, com forte enfoque nos óleos essenciais e compostos de alta polaridade. Num segundo momento, foram incluídos os fungos e, posteriormente, algas e geoprópolis e própolis. Ao todo, cerca de 200 espécies de plantas foram estudadas, abordando-se diferentes frações, como folhas, sementes, colmos, cascas, frutos e vagens. O resultado de todos os esforços feitos nos últimos 30 anos propiciou o isolamento e a identificação de compostos de diferentes polaridades com auspiciosas perspectivas. Um sem-número de grupos de substâncias das classes dos terpenoides, flavonoides, alcaloides, taninos, entre outras, têm hoje suas atividades fitotóxicas





documentadas e disponíveis na literatura.

Nas informações aqui apresentadas, encontram-se diferentes vertentes de possibilidades que podem desaguar no objetivo maior e finalístico que é a produção de um bioerbicida. Nota-se pelo volume de informações compiladas que muito se avançou nesse sentido, mas que ainda há bom caminho a ser percorrido. Novos protocolos e novos equipamentos virão se juntar ao que se tem disponível e a somatória de todos esses esforços possibilitará avanços mais expressivos e aceleração nos processos inovadores.

Os próximos anos vão exigir cada vez mais esforços, mais recursos financeiros e recursos humanos bem treinados, mesmo porque muitos daqueles que vinham atuando na área já se retiraram e outros estão muito próximos disso. Muitos dos laboratórios ativos precisam de aporte para a aquisição de equipamentos mais modernos. Algumas das metodologias precisam ser refinadas. Ao mesmo tempo, há questões que envolvem métodos apropriados para propósitos distintos e mais simples e eficientes, por exemplo, para a síntese de moléculas promissoras, como aquelas com a presença de um ou mais carbono quiral. No mesmo sentido, a prospecção química de compostos de alta polaridade em fontes como própolis, geoprópolis e algas precisa avançar para que se possa aquilatar melhor as reais possibilidades de uso no manejo e controle de plantas daninhas.

## Literatura recomendada

AL-SHERIF, E.; HEGAZY, A. K.; GOMAA, N. H.; HASSAN, M. O. Allelopathy effect of black mustard tissues and root exudates on some crops and weeds. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 11-19, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000100002>.

AMAGASA, T.; PAUL, R. N.; HEITHOLT, J. J.; DUKE, S. O. Physiological effects of cornexistin on *Lemna pausicostata*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 49, n. 1, p. 37-52, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1006/pest.1994.1032>.





ANAYA, A. L. Allelopathy as a tool in the management of biotic resources in agroecosystems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 6, p. 697-739, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689991309450>.

ANDERSON, K. I.; HALLETT, S. G. Herbicidal spectrum and activity of *Myrothecium verrucaria*. **Weed Science**, v. 52, n. 4, p. 623-627, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-03-101R1>.

ANKE, H.; ZÄHNER, H.; KÖNIG, W. A. Metabolic products of microorganisms: on the antibiotic activity of cladosporin. **Archives of Microbiology**, v. 116, n. 3, p. 253-257, 1978. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00417848>.

BAIS, H. P.; WEIR, T. L.; PERRY, L. G.; GILROY, S.; VIVANCO, J. M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, p. 233-266, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159>.

BALL, O. J.-P.; TAPPER, B. A. The production of loline alkaloids in artificial and natural grass/endophyte associations. **Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference**, v. 52, p. 264-269, 1999. DOI: <https://doi.org/10.30843/nzpp.1999.52.11583>.

BANKOVA, V.; POPOVA, M.; TRUSHEVA, B. Propolis volatile compounds: chemical diversity and biological activity: A Review. **Chemistry Central Journal**, v. 8, p. 1-8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-28>.

BANSAL, G. L.; BHAN, V. M. Status of research on allelopathy and future scope of work in Indian. **Indian Journal of Agricultural Science**, v. 63, n. 12, p. 769-776, 1993.

BELLÉ, R. B.; FONTANA, D. C. Patógenos de solo: principais doenças vasculares e radiculares e formas de controle. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 779-803, 2018. DOI: [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2018B65](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B65).

BITENCOURT, H. R.; PINHEIRO, J. C.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; MOREIRA, S. G.; AYALA, A. P.; REMÉDIOS, C. M. R. Monocristais de 1-(2'-hidroxifenil)-3-hidoxi-3-(4-metoxifenil)-propan-1-ona: síntese, estrutura e propriedades vibracionais. **Research Society and Development**, v. 11, n. 9, e10311931433, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.33448/rsd.v1119.31433>.

BITENCOURT, H. R.; ANJOS, M. L. dos; SOUZA FILHO, A. P. da S.; ALMEIDA, L. L.; MARINHO, P. S. B.; MARINHO, A. M. do R.; RODRIGUES, S. M. S.; PINA, J. R. S.; PINHEIRO, J. C. Análise por HPLC e espectrometria de massas do extrato alcaloídico hexânico das folhas de *Annona muricata*. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1720-1729, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34115/basrv4n3-078>.



BITENCOURT, H. R.; SANTOS, L. S.; SOUZA FILHO, A. P. S. Atividade alelopática de chalcona sintética, de seus precursores e de cetonas e aldeídos relacionados.

**Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 747-753, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000400011>.

BITTENCOURT, H. von H.; TREZZI, M. M.; TEIXEIRA, S. D.; BONOME, L. da S.; VARGAS, A. G. de; SOUZA FILHO, A. da S.; OLDONI, T. C. Chemical ecology of *Eragrostis plana* helps understanding of the species' invasiveness in an agrossystem community. **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 10, p. 1050-1060, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP18339>.

BORGES, F. C.; SANTOS, L. S.; CORREA, M. J. C.; OLIVEIRA, M. N.; SOUZA FILHO, A. P. S. Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Virola surinamensis* (Myristicaceae). **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 51-59, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/So100-33582007000100006>.

BUSH, L. P.; WILKINSON, H. H.; SCHARDL, C. L. Bioprotective alkaloids of grass-endophyte symbioses. **Plant Physiology**, v. 114, n. 1, p. 1-7, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.114.1.1>.

CARMICHAEL, W. W. Cyanobacteria secondary metabolites – the cyanotoxins. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 72, n. 6, p. 445-459, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1992.tb01858.x>.

CATANHEDE FILHO, A. J.; SANTOS, L. S.; GUILHON, G. M. S. P.; ZOGHBI, M. das G. B.; PORTS, P. S.; RODRIGUES, I. C. S. Triterpenoides, fenólicos e efeitos fitotóxico das folhas de *Eugenia flavescens* DC (Myrtaceae). **Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 252-259, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160190>.

CAVALCANTI, M. A. de Q.; OLIVEIRA, L. G. de; FERNANDES, M. J.; LIMA, D. M. Fungos filamentosos isolados do solo em municípios na região Xingó, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 20, n. 4, p. 831-837, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000400008>.

CHENG, X.; RUYTER-SPIRA, C.; BOUWMEESTER, H. The interaction between strigolactones and other plant hormones in the regulation of plant development. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 199, p. 1-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00199>.

CHOU, C.-H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 609-636, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689991309414>.

CLAY, K. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. **Ecology**, v. 69, n. 1, p. 10-16, 1988. DOI: <https://doi.org/10.2307/1943155>.





CLAY, K. Fungal endophytes of grasses. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 21, p. 275-297, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.001423>.

COLE, R. J.; DORNER, J. W.; COX, R. H.; HILL, R. A.; CLUTER, H. G.; WELLS, J. M. Isolation of citreoviridin from *Pinicillium charlesii* cultures and molded pecan fragments. **Applied Environmental Microbiology**, v. 42, n. 4, p. 677-681, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.42.4.677-681.1981>.

CORRADO, M.; RODRIGUES, K. F. Antimicrobial evaluation of fungal extracts produced by endophytic strains of *Phomopsis* sp. **Journal of Basic Microbiology**, v. 44, n. 2, p. 157-160, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.200310341>.

CRUZ, J. N.; SILVA, A. G. da; COSTA, W. A. da; GURGEL, E. S. C.; CAMPOS, W. E. O.; SILVA, R. C. e; OLIVEIRA, M. E. C.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; PEREIRA, D. S.; SILVA, S. G.; ANDRADE, E. H. de A.; OLIVEIRA, M. S. de. Volatile compounds, chemical composition and biological activities of *Apis mellifera* bee propolis. In: OLIVEIRA, M. S. (ed.). **Essential oils: bioactive compounds, new perspectives and applications**. [S.l.]: IntechOpen, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/interchopen.92130.2020.p.1-15>.

CRUZ, J. N.; SILVA, S. G.; PEREIRA, D. S.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; OLIVEIRA, M. S. de; LIMA, R. R.; ANDRADE, E. H. de A. In Silico evaluation of the antimicrobial activity of thymol—major compounds in the essential oil of *Lippia thymoides* Mart. & Schauer (Verbenaceae). **Molecules**, v. 27, n. 15, 4768, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27154768>.

DEKHUIJZEN, H. Endogenous cytokinins in healthy and diseased plants. In: HEITFUSS, R.; WILLIAMS, P. H. (ed.). **Physiological Plant Pathology**, New York: Springer-Verlag, 1976. p. 526-559.

DAYAN, F.; ROMAGNI, J.; TELLEZ, M.; RIMANDO, A.; DUKE, S. Managing weeds with natural products. **Pesticide Outlook**, v. 5, p. 185-188, 1999.

DESJARDINS, A. E.; HOHN, T. M. Mycotoxins in plant pathogenesis. **Molecular Plant-Microbe Interaction**, v. 10, n. 2, p. 147-152, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI.1997.10.2.147>.

DHAR, T. K.; SIDDIQUI, K.; ALI, E. Structure of phaseolinone, a novel phytotoxin from *Macrophomina phaseolina*. **Tetrahedron Letters**, v. 23, n. 51, p. 5459-5462, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-4039\(82\)80157-3](https://doi.org/10.1016/0040-4039(82)80157-3).

DIAS, A. P. C.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Atividade potencialmente alelopática em extratos hidroalcoólicos de *Cymbopogon* sp. (Poaceae). **Revista de Ciências Agrárias**, n. 44, p. 37-48, 2005.



DORTA, E.; CUETO, M.; DÍAZ-MARRERO, A. R.; DARIAS, J. Stypolactone: an interesting diterpenoid from the brown alga *Styopodium zonale*. **Tetrahedron Letters**, v. 43, n. 50, p. 9043-9046, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-4039\(02\)02279-7](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(02)02279-7).

DUDAI, N.; POLIAKOFF, A.; MAYER, A. M.; PUTIEVSKI, E.; LERNER, H. R. Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. **Journal of Chemical Ecology**, v. 25, n. 5, p. 1079-1089, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1020881825669>.

DUKE, S. O. Naturally occurring chemical compounds as herbicides. **Reviews of Weed Science**, v. 2, p. 15-44, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00076-4).

DUKE, S. O.; ROMAGNI, I. G.; DAYAN, E. E. Natural products as sources for new mechanisms of herbicidal action. **Crop Protection**, v. 19, n. 8-10, p. 583-589, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00076-4).

ENZIMAS e o sítio ativo. In: KHAN ACADEMY. **Biblioteca de Biologia**: Unidade: Energia e enzimas. Disponível em: <https://pt.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes/introduction-to-enzymes/a/enzymes-and-the-active-site>. Acesso em: 5 fev. 2022.


FINDLAY, J. A.; LI, G.; JOHNSON, J. A. Bioactive compounds from an endophytic fungus from eastern larch (*Larix laricina*) needles. **Canadian Journal of Chemistry**, v. 75, n. 6, p. 716-219, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1139/v97-086>.

FONSECA, R. R. da; ORTIZ-RAMÍREZ, F. A.; CAVALCANTI, D. N.; RAMOS, C. J. B.; TEIXEIRA, V. L.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Allelopathic potential of extracts the from marine macroalga *Plocamium brasiliense* and their effects on pasture weed. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, n. 4, p. 850-853, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000065>.

FONSECA, R. R.; SOUZA FILHO, A. P. S.; VILLAÇA, R. C.; TEIXEIRA, V. L. Inhibitory effects against pasture weeds in brazilian Amazonia of natural products from the marine brown alga *Dictyota menstrualis*. **Natural Product Communications**, v. 8, n. 12, p. 1669-1672, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1300801202>.

FRANCO, C. de J. P.; FERREIRA, O. O.; CRUZ, J. N.; VARELA, E. L. P.; MORAES, A. A. B. de; NASCIMENTO, L. D. do; CASCAES, M. M.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; LIMA, R. R.; PERCÁRIO, S.; OLIVEIRA, M. S. de; ANDRADE, E. H. de A. Phytochemical profile and herbicidal (Phytotoxic), antioxidants potential of essential oils from *Calycolpus goetheanus* (Myrtaceae) specimens, and in silico study. **Molecules**, v. 27, n. 15, 4678, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27153678>.





FUERST, E. P.; PUTNAM, A. R. Separating the competitive and allelopathic components of interference: theoretical principles. **Journal of Chemical Ecology**, v. 9, n. 8, p. 937-944, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00982203>.

GROVE, J. F. New metabolic products of *Aspergillus flavus*. Part I. Asperentin, its methyl ethers, and 5'-hydroxyasperentin. **Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 1**, n. 0, p. 2400-2406, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1039/P19720002400>.

GURGEL, E. S. C.; ILKIU-BORGES, F.; RODRIGUES, S. T.; CARVALHO, L. C. N. "Timbó": *Lonchocarpus* Kunth., *Derris* Lour. ou *Deguelia* Aubl. (Leguminosae, Papilionoideae Millettieae)? In: SOUZA FILHO, A. P. da S.; NASCIMENTO, J. L. M. (ed.). **Timbó: aspectos botânicos e moléculas bioativas**. Brasília, DF: Embrapa; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2012. p. 17-38.

GURGEL, E. S. C.; OLIVEIRA, M. S. de; SOUZA, M. C.; SILVA, S. G. da; MENDONÇA, M. S. de; SOUZA FILHO, A. P. da S. Chemical compositions and herbicidal (phytotoxic) activity of essential oils of three *Copaifera* species (Leguminosae-Caesalpinoideae) from Amazon-Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 142, Article 111850, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111850>.

HAMNER, C. L.; TUKEY, H. B. The herbicidal action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on bindweed. **Science**, v. 100, n. 2590, p. 154-155, 1944. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.100.2590.154>.

HARPER, J. R.; BALKE, N. E. Characterization of the inhibition of K<sup>+</sup> absorption in oat roots by salicylic acid. **Plant Physiology**, v. 68, n. 6, p. 1349-1353, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.68.6.1349>.

HUANG, S.; ZHANG, C.-P.; WANG, K.; LI, G. Q.; HU, F.-L. Recent advances in the chemical composition of própolis. **Molecules**, v. 19, n. 12, p.19610-19632, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules191219610>.

INOUE, M. H.; SANTANA, D. C.; SOUZA FILHO, A. P. S.; POSSAMAI, A. C. S.; SILVA, L. E.; PEREIRA, M. J. B.; PEREIRA, K. M. Potencial alelopático de *Annona crassiflora*: efeitos sobre plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 489-498, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300005>.

LEE, I. K.; MONSI, M. Ecological studies on *Pinus densiflora* forest 1. Effects of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. **Botanical Magazine**, v. 76, p. 400-413, 1963. DOI: <https://doi.org/10.15281/jplantres1887.76.400>.

LI, J. Y.; STROBEL, G. A. Jesterone and hydroxy-jesterone antioomycete cyclohexenone epoxides from the endophytic fungus *Pestalotiopsis jesteri*. **Phytochemistry**, v. 57, n. 2, p. 261-265, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00021-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00021-8).

LOBO, L. T.; CASTRO, K. C. F.; ARRUDA, M. S. P.; SILVA, M. N. da; ARRUDA, A. C.; MÜLLER, A. H.; ARRUDA, G. M. S. P.; SANTOS, A. S.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Potencial alelopático de catequinas de *Tachigali myrmecophyla* (leguminosae). **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 493-497, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000300005>.

LOBO, L. T.; SILVA, G. A. da; FREITAS, M. C. C. de; SOUZA FILHO, A. P. S.; SILVA, M. N. da; ARRUDA, A. C.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S.; SANTOS, A. S.; ARRUDA, M. S. P. Stilbenes from *Deguelia rufescens* var. *urucu* (Ducke) A.M.G. Azevedo. Leaves: effects on seed germination and plant growth. **Journal of the Brazilian of Chemical Society**, v. 21, n. 10, p. 1838-1844, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532010001000007>.

LUZ, S. M.; SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILOHN, G. M. S. P.; VILHENA, K. S. S. Atividade alelopática de substâncias químicas isoladas de *Acacia mangium* e suas variações em função do pH. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 479-487, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300004>.

MACIAS, F. A.; MOLINILLO, J. M. G.; VARELA, R. M.; GALINDO, J. C.G. Allelopathy: a natural alternative for weed control. **Pest Management Science**, v. 63, n. 4, p. 327-348, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1342>.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.

MASON, C. P.; EDWARDS, K. R.; CARLSON, R. E.; PIGNATELLO, J.; GLEASON, F. K.; WOOD, J. M. Isolation of chlorine-containing antibiotic from the freshwater cyanobacterium *Scytonema hofmanni*. **Science**, v. 215, n. 4531, p. 400-402, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.6800032>.

MAULI, M. M.; NOBREGA, L. H. P.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; ROSA, D. M.; MENEGHETTI, A. M.; LIMA, G. P. de. Agricultural waste management of winter cover crops on weeds and soybean. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 117, n. 2, p. 185-195, 2018.


MAULI, M. M.; NOBREGA, L. H. P.; SOUZA FILHO, A. P.; MENEGHETTI, A. M.; ROSA, D. M.; TONINI, M. Soil moisture on emergence and initial development of *Bidens pilosa*. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 21, n. 2, p. 141-149, 2018.

MIZUTANI, J. Selected allelochemicals. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 18, n. 5, p. 653-671, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689991309432>.

MIZUTANI, J. Plant ecochemicals. **Journal of Pesticide Science**, v.16, n. 4, p. 679-686, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1584/jpestics.16.679>.







MÜLLER, C. H. The role of chemical inhibition (allelopathy) in vegetation composition. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 93, n. 5, p. 332-351, 1966. DOI: <https://doi.org/10.2307/2483447>.

NAKAJIMA, M.; ITOI, K.; TAKAMATSU, Y.; SATO, S.; FURUKAWA, Y.; FURUYA, K.; HONMA, T.; KADOTANI, J.; KOZASA, M.; HANEISHI, T. Cornexistin: a new fungal metabolite with herbicidal activity. **Journal of antibiotics**, v. 44, n. 10, p. 1065-1072, 1991. DOI: <https://doi.org/10.7164/antibiotics.44.1065>.

NORDLUND, D. A.; LEWIS, W. J. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interespecific interactions. **Journal of Chemical Ecology**, v. 2, n. 2, p. 211-220, 1976. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00987744>.

OLIVEIRA, M. S. de; CRUZ, J. N.; FERREIRA, O. O.; PEREIRA, D. S.; PEREIRA, N. S.; OLIVEIRA, M. E. C.; VENTURIERI, G. C.; GUILHON, G. M. S. P.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; ANDRADE, E. H. de A. Chemical composition of volatile compounds in *Apis mellifera* propolis from the Northeast region of Pará state, Brazil. **Molecules**, v. 26, n. 11, Article 3462, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules26113462>.

OLIVEIRA, M. S. de; SOUZA FILHO, A. P. da S. (ed.). **Terpenoids: recent advances in extraction, biochemistry and biotechnology**. Sharjah: Bentham Books, 2022. 351 p.

OSBOURN, A. E. Tox-boxes, fungal secondary metabolites, and plant disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 25, p. 14187-14188, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.261573598>.

PEREIRA, D. S.; HOLANDA-NETO, J. P. de; OLIVEIRA, M. S. de; PEREIRA, N. S.; MARACAJA, P. B.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Phytotoxic potential of the geoprópolis extracts of the Jandaira stingless bee (*Melipona subnitida*) in weeds. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 876-884, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n407rc>.

PEREIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. S. de; CRUZ, J. N.; BEZERRA, P. do N.; SILVA, A. G. da; PEREIRA, N. S.; PORTS, P. S.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; MARACAJÁ, P. B.; FREITAS, M. O.; FREITAS, C. I. A. Herbicidal potential (phytotoxic) of honey bee propolis extracts of the Brazilian northeast on weeds of cultivated pastures. **Journal of Apicultural Research**, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1080/00218839.2021.1957611>.

PEREIRA, J. C.; PAULINO, C. L. de A.; GRANJA, B. da S.; SANTANA, A. E. G.; ENDRES, J.; SOUZA, R. C. de. Allelopathic potential and identification of secondary metabolites in extracts of *Canavalia ensiformis* L. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 243-252, 2018. DOI: [10.1590/0034-737x201869030004](https://doi.org/10.1590/0034-737x201869030004).

PEREIRA, S. G.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. da S.; PACHECO, L. C.; CANTANHEDE FILHO, A. J.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Fitotoxicidade da fase orgânica e do composto majoritário obtidos da polpa dos frutos de *Crescentia cujete* L. (Bignoniaceae).

**Biotemas**, v. 28, n. 4, p. 51-59, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n4p51>.

PINHEIRO, W. B. S.; PINHEIRO NETO, J. R.; BOTELHO, A. S.; SANTOS, K. I. P. dos; SILVA, G. A. da; MURIBECA, A. J. B.; PAMPLONA, S. G. S. R.; FONSECA, S. S. S.; SILVA, M. N.; ARRUDA, M. S. P. The use of *Bagassa guianensis* Aubl. forestry waste as an alternative for obtaining bioproducts and bioactive compounds. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 6, Article 103813, 2022. DOI: <https://doi.org/101016/j.arabjic.2022.103813>.

RAMOS, C. J. B.; FONSECA, R. R.; SOUZA FILHO, A. P. S.; TEIXEIRA, V. L. Inhibitory effects of the lipophilic extracts and an isolated meroditerpene of brown alga in pasture weeds in the eastern amazon region. **Planta Daninha**, v. 37, Article e019214201, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100127>

POKORMY, R. Some chlorophenoxyacetic acids. **Journal of the American Chemical Society**, v. 63, n. 6, p. 1768, 1941. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja01851a601>.

PUTNAM, A. R. Allelochemicals from plants as herbicides. **Weed Technology**, v. 2, n. 4, p. 510-518, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0890037X00032371>.

RICE, E. L. **Allelopathy**. New York: Academic Press, 1974. 353 p.

RODRIGUES, I. M. C.; SOUZA FILHO, A. P. S.; FERREIRA, F. A.; DEMUNER, A. J. Prospecção química de compostos produzidos por *Senna alata* com atividade alelopática. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 1-12, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000100001>.

RODRIGUES, K. F.; STUART, R. J. Uso de substâncias químicas produzidas por fungos endofíticos no controle de doenças de interesse agrônômico. In: SOUZA FILHO, A. P. da S. (ed.). **Ecologia química: a experiência brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. p. 207-238.

SANTOS, L. S.; SANTOS, J. C. L.; SOUZA FILHO, A. P. S.; CORREA, M. J. C.; VEIGA, T. A. M.; FREITAS, V. C. M.; FERREIRA, I. C. S.; GONÇALVES, N. S.; SILVA, C. E.; GUILHON, G. M. S. P. Allelopathic activity of chemical substances isolated from *Brachiaria brizantha* cv. Marandu and their variations in function of pH. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 531-538, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1500/SO100-63582008000300008>.





SANTOS, L.; PINTO, F.; RIBEIRO, W.; CORRÊA, M.; RIPARDO-FILHO, H.; SOUZA-FILHO, A.; LOPES-JUNIOR, M.; ARAUJO, R.; GUILHON, G. Atividade fitotóxica de di-hidrochalconas obtidas pela biorredução de chalconas promovidas pelo fungo endofítico *Aspergillus flavus*. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 6, p. 35-41, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200107>.

SANTOS, L. S.; BORGES, F. C.; OLIVEIRA, M. N.; FERREIRA, I. C. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SOUZA FILHO, A. P. S.; SANTOS, A. S.; ARRUDA, M. S. P.; MOLLER, A. H.; ARRUDA, A. C. Allelochemicals isolated from the leaves of *Virola michelli* Heckel. **Allelopathy Journal**, v. 20, n. 1, p. 235-241, 2007.

SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, M. N.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, A. S.; FERREIRA, I. C. S.; LOPES JUNIOR, M. L.; ARRUDA, M. S. P.; SAILVA, M. N.; SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES FILHO, E.; OLIVEIRA, M. C. F. Potencial herbicida da biomassa e de substâncias químicas produzidas pelo fungo endofítico *Pestalotiopsis guepinii*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 3, p. 539-548, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582008000300009>.

SANTOS, L. S.; RIPARO FILHO, H. S.; ARAÚJO, R. N. M.; GUILHON, G. M. S. P. Fungos endofíticos em espécies da família Poaceae. In: SOUZA FILHO, A. P. da S. (ed.). **Poaceae Barnhart**. Belém, PA: Editora Marques, 2017. p. 123-143.

SANTOS, R. A.; SOUZA FILHO, A. P. S.; CANTANHEDE FILHO, A. J.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Analysis of phenolic compounds from cowpea (*Vigna unguiculata*) by HPLC-DAD-MS/MS. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981.6723.07720>.

SANTOS, S.; MORAES, M. L. L.; REZENDE, M. O. O.; SOUZA FILHO, A. P. E. Potencial alelopático e identificação de compostos secundários em extratos de calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) utilizando eletroforese capilar. **Eclética Química**, v. 36, n. 2, p. 51-72, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702011000200003>.

SANTOS, S.; MORAES, M. L. L.; REZENDE, M. O. O. Allelopathic potential and systematic evaluation of secondary compounds in extracts from roots of *Canavalia ensiformis* by capillary electrophoresis. **Eclética Química**, v. 32, n. 4, p. 13-18, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702007000400002>.

SANTOS, S.; MORAES, M. L. L.; REZENDE, M. O. O.; SOUZA FILHO, A. P. S. Allelopathic potential and systematic evaluation of organic extracts from *Canavalia ensiformis* leaves (Jack Beans). **Journal of Environmental Science and Health**, part B, v. 40, n. 1, p. 72-84, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1081/PFC-200034234>.

SCHREINER, O.; REED, H. S. The production of deleterious excretions by roots. **Bulletin of Torrey Botanical Club**, v. 34, n. 6, p. 279-303, 1907. DOI: <https://doi.org/10.2307/2479157>.

SCOTT, P. M.; WALBEEK, W. van; MACCLEAN, W. M. Cladosporin, a new antifungal metabolite from *Cladosporium cladosporioides*. **Journal of Antibiotics**, v. 24, n. 11, p. 747-755, 1971. DOI: <https://doi.org/10.7164/antibiotics.24.747>.

SILVA, E. A. S. da; LOBO, L. T.; SILVA, G. A. da; SOUZA FILHO, A. P. da S.; SILVA, M. N. da; ARRUDA, A. C.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S.; ARRUDA, M. S. P. Flavonoids from leaves of *Derris urucu* assessment of potential effects on seed germination and development of weeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 881-889, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000300004>.

SILVA, S. G.; COSTA, R. A. C.; CRUZ, J. N.; OLIVEIRA, M. S.; NASCIMENTO, L. D.; COSTA, W. A.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; CARVALHO JUNIOR, R. N.; MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. A. Efeito fitotóxico do óleo essencial de *Lippia thymoides* Mart. & Schauer (Verbenaceae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 58., 2018, São Luis. **Trabalhos**. Rio de Janeiro: ABQ, 2018.

SILVA, G. A. da; LOBO, L. T.; SOUZA FILHO, A. P. S.; ARRUDA, M. S. P.; SILVA, M. N. da; GUILHON, G. M. S. P.; ARRUDA, A. C.; SANTOS, L. S. Novos diidroflavonoides isolados das folhas do timbó (*Derris urucu*) e avaliação de seus potenciais como aleloquímicos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. **Químicos para uma potência emergente**: resumos São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2009.

SOUZA FILHO, A. P. da S. **Alelopatia e as plantas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 159 p.

SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M.; DUTRA, S. Estádio de desenvolvimento e estresse hídrico e as potencialidades alelopáticas do capim-marandú. **Planta Daninha**, v. 20, n. 1, p. 21-31, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000100004>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; BAYMA, J. C.; GUILHON, G. M. S. P.; ZOGHBI, M. G. B. Atividade potencialmente alelopática do óleo essencial de *Ocimum americanum*. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 499-505, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000300010>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; BORGES, F. C.; SANTOS, L. S. Análise comparativa dos efeitos alelopáticos das substâncias químicas titionina e titionina acetilada. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 205-210, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000200001>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; DUARTE, M. L. R. Atividade alelopática do filtrado de cultura produzido por *Fusarium solani*. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 227-230, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000100026>.





SOUZA FILHO, A. P. S.; FONSECA, M. L.; ARRUDA, M. S. P. Substâncias químicas com atividade alelopáticas presentes nas folhas de *Parkia pendula* (Leguminosae).

**Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 565-573, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000400002>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; ZOGHBI, M. G. B.; CUNHA, R. L. Análise comparativa do potencial alelopático do extrato hidroalcoólico e do óleo essencial de folhas de cipó-d'alho (Bignoniaceae). **Planta Daninha**, v. 27, n. 4, p. 647-653, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000400002>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório: Revisão Crítica. **Planta Daninha**, v. 28, n. 3, p. 689-697, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300026>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; PEREIRA, A. A. G.; BAYMA, J. C. Allelochemical produced by the forage grass *Brachiaria humidicola*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 25-32, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000100004>.

SOUZA FILHO, A. P. da S.; PEREIRA, D. S.; CRUZ, J. N. da; MODESTO, S. C. Potencial fitotóxicos de extratos de geoprópolis de meliponas nativas da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 59., 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABQ, 2019. Disponível em: [https://abq.org.br/cbq/trabalhos\\_aceitos\\_detalhes.574.html](https://abq.org.br/cbq/trabalhos_aceitos_detalhes.574.html). Acesso em: 11 abr. 2023.

SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Potencial alelopático de forrageiras tropicais: efeitos sobre invasoras de pastagens. **Pasturas Tropicais**, v. 15, n. 1, p. 45-50, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581997000100007>.

SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Effects of aqueous extracts of leucaena on germination and radicle elongation of three forage grasses. In: MACIAS, F. A.; GALINDO, J. C. G.; MOLINILLO, J. M. G.; CUTLER, H. G. **Recent advances in allelopathy: a science for the future**. Cadiz: International Allelopathy Society, 1999. p. 399-396.

SOUZA FILHO, A. P. S.; SANTOS, R. A.; SANTOS, L. S.; GUILHON, G. M. P.; SANTOS, A. S.; ARRUDA, M. S. P.; MULLER, A. H.; ARRUDA, A. C. Potencial alelopático de *Myrcia guianensis*. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 649-656, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1490/S0100-83582006000400005>

SOUZA FILHO, A. P. da S.; VASCONCELOS, M. A. M. de; ZOGHBI, M. das G. B.; CUNHA, R. L. Efeitos potencialmente alelopáticos dos óleos essenciais de *Piper hispidinervium* C.DC. e *Pogostemon heyneanus* Benth sobre plantas daninhas. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 2, p. 389-396, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000200018>.

SOUZA FILHO, A. P. da S.; ALVES, S. M. **Alelopatia**: princípios básicos e aspectos gerais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 260 p.

STICKNEY, J.; HOY, P. Toxic action of blackwalnut. **Transactions of the Wisconsin State Horticultural Science**, v.11, p.166-167, 1881.

TOZZI, A. M. G. de A. A identidade do Timbó-verdadeiro: *Deguelia utilis* (A.C.Sm.) A.M.G. Azevedo (Leguminosae-Papilionoides). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, n. 3, p. 511-516, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71081998000300016>.

TREMACOLDI, C. R.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Toxinas produzidas por fungos fitopatógenos: alternativa para o controle de plantas daninhas. In: SOUZA FILHO, A. P. da S. (ed.). **Ecologia química**: a experiência brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. p. 239-254.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BITTENCOURT, H. von H.; SOUZA FILHO, A. P. da S. Allelopathy: driving mechanisms governing its activity agriculture. **Journal of Plant Interactions**, v. 11, n. 1, p. 53-60, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/17429145.2016.1159342>.

VILHENA, K. S. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SOUZA FILHO, A. P. S.; ZOGHBI, M. G. B.; SANTOS, L. S.; ARRUDA, M. S. P.; ARRUDA, A. C. Inhibitory activity of essential oil of *Cyperus giganteus* Vahl. on weed species of Amazon. **Allelopathy Journal**, v. 23, n. 1, p. 221-228, 2009.

VOKOU, D.; DOUVLI, P.; BLIONIS, G. J.; HALLEY, J. M. Effects of monoterpenoids, acting alone or in pairs, on seed germination and subsequent seedling growth. **Journal of Chemical Ecology**, v. 29, n. 10, p. 2281-2301, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026274430898>.

YANG, R. Z.; TANG, C. S. Plants used for pest control in China: a literature review. **Economic Botany**, v. 42, n. 3, p. 376-406, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02860162>.

ZOGHBI, M. G. B.; ANDRADE, F. H. A.; CORREIA, L. M. M.; GUILHON, G. M. S. P. Yield and chemical composition of the essential oil of the stems and rhizomes of *Cyperus articulatus* L. cultivated in the state of Pará, Brazil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 18, n. 1, p. 10-12, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699371>.

ZOGHBI, M. das G. B.; ANDRADE, E. H. de A.; OLIVEIRA, J.; GUILHON, G. M. S. P.; VILHENA, K. do S. de S. Analysis of the essential oil of the rhizome of *Cyperus giganteus* Vahl. (Cyperaceae) cultivated in North of Brazil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 18, n. 4, p. 408-410, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699127>.





**Embrapa**

**Amazônia Oriental**



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA  
E PECUÁRIA



**CGPE 018100**